

Investigaciones Geográficas

Instituto Interuniversitario de Geografía

82



INVESTIGACIONES **GEOGRÁFICAS**

La publicación de este número ha sido posible gracias a la obtención de una ayuda otorgada por el Vicerrectorado de Investigación y Transferencia de Conocimiento de la Universidad de Alicante.

EDITORIAL

Instituto Interuniversitario de Geografía. Universidad de Alicante
Carretera de San Vicente del Raspeig, s/n. 03690, San Vicente del Raspeig - Alicante (España)
Tel.: (34) 965903400 Ext. 3380 – Fax: (34) 965909485
investigacionesgeograficas@ua.es – www.investigacionesgeograficas.com

ISSN (hasta 2012): 0213–4691 - ISSN (electrónico): 1989–9890
Depósito legal: A-52-1983 - DOI: <https://doi.org/10.14198/INGEO>



Los trabajos se publican bajo una licencia [Creative Commons de Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/), salvo que se indique lo contrario.

© la autoría

Las opiniones reflejadas en los contenidos publicados en *Investigaciones Geográficas* son responsabilidad exclusiva de sus autores/as.

Índice

Index

ARTÍCULOS | ARTICLES

- El papel de la reflexión epistemológica en la Geografía española actual.
¿Cuál será el pensamiento geográfico del mañana?9
David García-Álvarez
- Spatial variations of runoff thresholds associated with changes in land use
over the period 1990-2018 in the Mediterranean side of Andalusia25
*Héctor Álvarez-García, José Antonio Sillero-Medina, María Eugenia Pérez-González,
José Damián Ruiz-Sinoga*
- Farmers' perception on climate change, soil erosion and adaptation strategies
in small rural communities of Mali: Case study of the rural municipality of Méguétan43
Mahamadou Lamine Katilé, Aboubakar Bengaly, Souleymane Sidi Traoré, Jesús Rodrigo-Comino
- Inundación y cambio climático: multicausalidad en la ciudad de Santa Lucía,
Uruguay entre 1990-202163
Lucía Eluén, Marcel Achkar, Feline Schön
- Variabilidad espacio-temporal de la humedad superficial del suelo
en el sur de la llanura pampeana argentina85
Vanesa Yael Bohn
- Seismic vulnerability, municipality of Toluca: a holistic analysis of the structural, social
and economic aspects105
*Fernando Sánchez Carmona, Alexis Ordaz Hernández, Luis Miguel Espinosa Rodríguez,
Elkin de Jesús Salcedo Hurtado*
- Efectos del cambio de cobertura vegetal en la distribución potencial de la Mosquera
(*Croton wagneri* Müll. arg.) en la cuenca hidrográfica del río Mira, Ecuador127
Gabriel Jácome-Aguirre, Digna Farinango-Guatemala, Mónica León-Espinoza, Oscar Rosales-Enríquez
- Theobroma cacao* L., land use conflict on the Ecuadorian coast145
Diego F. Reyes-Yunga, Mauricio Viera-Torres, Gandhi Pérez, Mónica Galeas
- La reciente migración laboral de población extranjera a los municipios con menor
población con relación a la diversificación económica: el caso de la Comunidad Valenciana167
Juan López-Jiménez
- Enoturismo como elemento de promoción y venta en las Rutas del Vino
de España en Castilla-La Mancha187
Rogelio Jorge-Martín, Julio Fernández Portela
- Complementariedad entre el patrimonio natural y cultural para impulsar la actividad
turística: un caso de estudio en el Parque Natural de Cornalvo, Extremadura209
Rebeca Guillén-Peñañiel, Ana María Hernández-Carretero, José Manuel Sánchez-Martín

ARTÍCULOS
ARTICLES



El papel de la reflexión epistemológica en la Geografía española actual. ¿Cuál será el pensamiento geográfico del mañana?

The role of epistemological reflection in contemporary Spanish Geography: What the geographical thinking of tomorrow look like?

AUTORÍA

David García-Álvarez 

Departamento de Geografía, Universidad Complutense de Madrid, España.

DOI

<https://doi.org/10.14198/INGEO.26309>

CITACIÓN

García-Álvarez, D. (2024). El papel de la reflexión epistemológica en la Geografía española actual. ¿Cuál será el pensamiento geográfico del mañana? *Investigaciones Geográficas*, (82), 9-24. <https://doi.org/10.14198/INGEO.26309>

CORRESPONDENCIA

David García-Álvarez (davidg@ucm.es)

HISTORIA

Recibido: 31 octubre 2023
Aceptado: 30 enero 2024
Publicado: 10 julio 2024
(Publicación anticipada: 21 mayo 2024)

TÉRMINOS

© David García-Álvarez

 Este trabajo se publica bajo una licencia [Creative Commons de Atribución- NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Resumen

Puede considerarse el debate epistemológico como consustancial a la propia Geografía, debido a la constante indefinición de la disciplina y su aludida falta de unidad. La reflexión epistemológica proporciona a la Geografía su identidad y, por tanto, permite defender su posición como campo académico independiente. Sin embargo, en España, la reflexión epistemológica en Geografía ha sido débil. En los últimos años, su papel parece disminuir, con una menor preocupación de investigadores y profesores por las cuestiones relativas al pensamiento geográfico, y un decreciente rol de estos contenidos en la docencia universitaria. A través de este artículo, se revisan las asignaturas de teoría de la Geografía en los grados universitarios españoles y se hace un diagnóstico del debate epistemológico protagonizado por la comunidad de geógrafos españoles en foros y publicaciones académicas. Los resultados revelan una tendencia regresiva, tanto en la enseñanza de contenidos sobre teoría de la Geografía, como en las contribuciones epistemológicas en foros o medios de carácter académico. Lo anterior constituye un riesgo ante los actuales procesos de renovación de profesorado y planes de estudio en Geografía, por cuanto puede suponer la disgregación de la disciplina en numerosos subcampos, de teoría y métodos diferentes, que carecen de un cuerpo teórico común. Cabe plantear nuevos medios que den cabida a esa reflexión epistemológica, y su papel en la docencia universitaria, en tanto se aprecia un interés entre los geógrafos españoles que, sin embargo, no tiene cabida en los medios preferentes de publicación y difusión de conocimiento académico.

Palabras clave: Geografía; pensamiento geográfico; epistemología; teoría de la Geografía; Grado en Geografía y Ordenación del Territorio; investigación en Geografía.

Abstract

The epistemological debate is an inherent part of Geography, given the constant lack of definition and noted absence of unity within the discipline. Epistemological reflection not only shapes Geography's identity, but also enables it to establish its position as an independent academic field. However, in Spain, epistemological reflection in Geography has been weak. In recent years, its significance appears to be diminishing, with researchers and professors showing less concern for matters related to geographical thought, and a reduced emphasis

on these topics in university education. This paper examines the content of Geography theory in Spanish university programs and assesses the epistemological discourse among Spanish geographers in academic discussions and publications. The findings indicate a regressive trend, both in the teaching of the theory of Geography and in the contributions to epistemology within academic discussions and media. This trend poses a risk to the ongoing processes of updating teaching staff and curricula in Spanish Geography. It could lead to the fragmentation of the discipline into numerous subfields, each with different theories and methods, lacking a cohesive theoretical framework. It is crucial to propose new avenues for accommodating this epistemological reflection and integrating it into university teaching. There is interest among Spanish geographers, but this interest lacks a platform in the preferred channels for publishing and disseminating academic knowledge.

Keywords: Geography; geographical thought; epistemology; theory of Geography; Bachelor's Degree in Geography and Spatial Planning; research in Geography.

1. Introducción

La reflexión epistemológica es consustancial a cualquier ciencia o disciplina académica, por cuanto es la tarea que permite constituir la como tal y, por consiguiente, asignarle un objeto y un método de estudio concreto (Cresswell, 2013; Johnston & Sidaway, 2016). A través de ese debate epistemológico se justifica también el lugar que cada ciencia o disciplina juega en el conjunto del conocimiento, en tanto que se entiende que a cada una le corresponde un papel complementario al de otra, lo que valida la existencia de todas ellas (Unwin, 1992).

Para el caso de la Geografía, los trabajos sobre la teoría de la disciplina se remontan al momento de su constitución como disciplina académica moderna en los ámbitos universitarios alemán y francés a finales del siglo XIX (Ortega Valcárcel, 2000). Desde entonces, la reflexión epistemológica ha sido rica y variada, dando lugar a la asimilación de varios paradigmas científicos, que sucesivamente se han ido imponiendo unos a los otros, hasta el momento actual, en el que múltiples paradigmas parecen convivir, a la par que se difumina la unidad de la disciplina y, por consiguiente, resulta más difícil definir qué es Geografía (Capel, 2012; Méndez, 2008; Ortega Valcárcel, 2000).

Para el caso español, el debate epistemológico en el seno de la Geografía tuvo cierta relevancia en el siglo XX, fundamentalmente centrado en trabajos sobre la historia del pensamiento geográfico (Bosque Maurel, 1984; Gómez-Mendoza et al., 1982; Olcina Cantos, 1996). No obstante, son varios los autores que señalan la debilidad de las contribuciones teóricas originales de la Geografía española, siempre a rebufo de corrientes extranjeras, sin personalidad propia (Gómez Mendoza, 2013a; Lois-González et al., 2022; Tapiador & Martí-Henneberg, 2007). En tal sentido, Capel (2012) llegó a hablar de “una mediocridad intelectual bastante acusada y un marcado desinterés por las cuestiones teóricas”. Tapiador y Martí-Henneberg (2007) señalan la rigidez jerárquica del sistema universitario español y la búsqueda de una Geografía crítica en el contexto del franquismo como una de las razones de la débil reflexión epistemológica en España.

Si bien siempre ha sido débil, desde el inicio del nuevo siglo y, especialmente, en la última década, la reflexión teórica sobre la disciplina en España parece haberse pausado (Méndez, 2008). Es escaso el número de trabajos académicos destinados a esta reflexión epistemológica. Además, esta parece haber perdido peso tanto en la docencia que se imparte en la formación de los futuros geógrafos, así como en los principales foros y medios de discusión que actualmente existen entre la comunidad de geógrafos españoles.

Lo anterior puede considerarse un escollo para el progreso y vitalidad de la Geografía española. Sin debate epistemológico, parece difícil encontrar respuestas a los principales desafíos que sufre la disciplina y, especialmente, a la constantemente aludida falta de unidad. Ante un peligro de desintegración creciente, la falta de reflexión teórica puede impedir a los geógrafos encontrar un camino común que les permita buscar lazos de unión y justificar su lugar independiente en el conjunto de las disciplinas académicas.

A través de este artículo, se pretende llevar a cabo un diagnóstico del estado actual del debate epistemológico en la Geografía española, con el objetivo de reflexionar sobre las perspectivas futuras de la disciplina en nuestro país. Para ello, se realiza una revisión del papel que actualmente tienen las asignaturas de teoría de la Geografía o pensamiento geográfico en los grados de Geografía impartidos en las universidades españolas, analizando su peso, contenidos y profesorado. Además, se realiza un breve análisis de la producción académica reciente en este campo, con el fin de vislumbrar el interés que estas temáticas adquieren hoy en día entre la comunidad de geógrafos españoles.

2. Metodología

2.1. Revisión de docencia sobre teoría de la Geografía

Se han revisado los planes de estudio de todos aquellos grados que cuentan con un porcentaje muy significativo de contenidos globales y holísticos de Geografía como disciplina académica independiente: grados de Geografía en sus diferentes denominaciones, grados de Geografía e Historia y dobles grados de Geografía y otras disciplinas.

Para cada caso, se han seleccionado aquellas asignaturas con contenidos que total o significativamente abordan cuestiones epistemológicas de la geografía. Por tanto, no se analizan de forma sistemática aquellas asignaturas que, entre algunos de sus temas o contenidos, abordan cuestiones relacionadas con el pensamiento geográfico, si bien se ha recopilado información sobre las mismas a título informativo.

Para cada asignatura analizada, se ha recogido la siguiente información:

- Título
- Universidad
- Grado en el que se imparte
- Curso
- Créditos
- Tipo: básica, obligatoria u optativa
- Profesorado que la imparte, incluyendo su área de conocimiento, categoría profesional y formación de grado
- Guía docente

Para cuatro universidades, no se ha encontrado ninguna asignatura que concuerde con los criterios de búsqueda indicados con anterioridad: Universidad de Castilla La Mancha, Universidad de la Rioja, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Universidad del País Vasco y Universidad de Valencia.

Para los casos de planes de estudio de reciente implantación, algunas de las asignaturas revisadas no cuentan aún con la información relativa al profesorado y la guía docente, ya que aún no se ha iniciado la docencia de los cursos en los que estas asignaturas se han emplazado. En estos casos, la información que no se encontraba disponible se ha dejado en blanco.

2.2. Diagnóstico de la investigación o reflexión académica sobre teoría de la Geografía

Llevar a cabo una revisión exhaustiva y replicable de la investigación publicada en el campo de la teoría de la Geografía en España resulta una tarea compleja. De esta manera, no existen en España revistas o publicaciones especializadas exclusivamente en estas cuestiones. Por otro lado, esta temática no se ajusta claramente a una serie de términos o palabras clave que la individualicen de forma precisa. Cualquier búsqueda replicable a través de buscadores académicos resultaría bien incompleta o llena de ruido. Además, resulta difícil filtrar a priori las aportaciones realizadas por autores españoles, respecto de las realizadas por autores de otras nacionalidades. Por consiguiente, en este trabajo se pretende llevar a cabo un diagnóstico de la situación, más que una revisión exhaustiva del problema, por cuanto se considera que la primera tarea es suficiente para cumplir con los objetivos previstos en este estudio.

Para proceder al diagnóstico, en primer lugar, se ha revisado la bibliografía de todas las asignaturas analizadas como parte del apartado 2.1. De manera adicional, se ha consultado toda la bibliografía que cita en los últimos 13 años los principales manuales de pensamiento geográfico publicados en España:

- Capel, H. (2012). Filosofía y ciencia en la geografía contemporánea. Una introducción a la Geografía. In *El curso de las ideas científicas* (Vol. 2016, Número 89). Ediciones del Serbal.
- Gómez Mendoza, J., Muñoz Jiménez, J., & Ortega Cantero, N. (1982). *El pensamiento geográfico: estudio interpretativo y antología de textos (de Humboldt a las tendencias radicales)*. Alianza Universidad.
- Ortega Valcárcel, J. (2000). *Los horizontes de la geografía: teoría de la geografía*. Ariel Geografía.

Finalmente, se ha analizado la labor realizada y publicada por la Asociación de Geografía Española (AGE) y por su grupo de trabajo de Pensamiento Geográfico, lo que incluye iniciativas web, publicaciones propias y la organización de congresos o seminarios de discusión sobre cuestiones relativas a la epistemología de la Geografía.

3. Resultados

3.1. Docencia sobre teoría de la Geografía

La mayor parte de las titulaciones de grado o doble grado en Geografía incluyen asignaturas específicas de pensamiento geográfico, si bien varía el curso en el que se imparten, su peso, carácter y el tipo de profesorado encargado de las mismas (Tabla 1).

En la mayor parte de los grados, la docencia en teoría de la Geografía se reduce a una asignatura específica de 6 créditos, junto a su abordaje de manera residual en otras materias del grado, como parte de los temas introductorios y conceptuales. El contenido suele ser siempre similar, centrado en la historia del pensamiento geográfico y, especialmente, en su desarrollo desde finales del siglo XIX hasta el siglo XX. Se trata así, en general, de contenidos bastante estables, con escaso peso de tendencias de pensamiento recientes, y que, por tanto, han experimentado escasa renovación. Las asignaturas que presentan una mayor variación respecto a estos contenidos tradicionales son aquellas que incluyen también contenidos sobre la práctica profesional de la geografía.

La Universidad Autónoma de Madrid es la única universidad que otorga un peso significativo y mayor a la docencia en teoría de la Geografía, con dos asignaturas obligatorias: una centrada en la evolución del pensamiento geográfico hasta la adopción del paradigma regional (*Evolución del pensamiento geográfico*) y una segunda que aborda los desarrollos epistemológicos de la disciplina desde la segunda mitad del siglo XX, incluyendo sus problemas recientes (*Corrientes y métodos de la Geografía reciente*). Como obligatorias, ambas materias se imparten también en el doble grado de la misma universidad, de Geografía y Ciencias Ambientales.

En las universidades de Granada y Málaga, a una asignatura específica de pensamiento geográfico, se une una asignatura de formación básica que incluye contenidos epistemológicos, junto a otros relacionados con la práctica profesional de la disciplina. No obstante, mientras la asignatura de pensamiento geográfico es optativa en Granada, es obligatoria en Málaga.

Aparte de Granada, las únicas universidades que ofertan la asignatura de pensamiento geográfico como optativa son la Universidad de La Laguna y la Universitat Oberta de Catalunya. En la primera, aunque el temario incluye los tradicionales contenidos generales de teoría de la Geografía, el título de la materia (*Teoría y Método de La Región*) hace únicamente referencia a la reflexión epistemológica en el contexto de la Geografía Regional. En la segunda, la materia entra dentro de un amplio abanico de optatividad, junto a la asignatura de historiografía, y se complementa con una asignatura de *Introducción a la Geografía*, que alberga contenidos de pensamiento geográfico de cierto peso.

En la mayor parte de los casos, la asignatura de carácter epistemológico es obligatoria, si bien en cinco universidades forma parte de la formación básica y de primer curso: Cantabria, León, los tres grados / dobles grados de la Pablo de Olavide, Santiago de Compostela y Valladolid. Entre las obligatorias, el curso en el que se oferta es muy diferente entre las universidades, con una preponderancia de las asignaturas ofertadas en tercero y cuarto.

Por áreas de conocimiento, la asignatura se imparte habitualmente por profesorado de Análisis Geográfico Regional y de Geografía Humana, con mayor presencia de este último. El profesorado de Geografía Física que imparte este tipo de asignaturas es por lo tanto excepcional, con solo un par de casos. Además, la docencia suele quedar asumida por profesores con un contrato laboral estable y una continuada trayectoria académica, habitualmente bajo las figuras de Profesor Contratado Doctor y Profesor Titular de Universidad. No obstante, el peso del profesorado novel (Profesor Ayudante Doctor) o en formación es significativo, con cuatro universidades confiando la docencia de la teoría de la geografía a un Ayudante Doctor y un par dando peso en la docencia a profesorado asociado, ayudante o predoctoral.

Finalmente, si bien en la amplia mayoría de los casos el profesorado responsable ha sido formado como geógrafo, en ciertas universidades la docencia recae en manos de licenciados o graduados de Ciencias Ambientales, asignaturas básicas de Málaga y de la Pablo de Olavide, o Turismo, en el caso de la Complutense.

En cuatro grados de Geografía, tres grados de Geografía e Historia y dos dobles grados de Geografía y otras materias, no existe ninguna asignatura específicamente destinada al estudio del pensamiento geográfico (Tabla 2).

Tabla 1. Asignaturas de teoría de la Geografía o Pensamiento Geográfico en los grados universitarios españoles

Uni	Título	Asignatura	Tipo	Curso	Créditos	Área	Cat. prof responsable	Formación prof. responsable
UA	GOT	Teoría y Métodos en G ^a	OB	3	6	AGR/GF	PAD	GEO
UAB	GMPT	Pensamiento Geográfico	OB	3	6	AGR	PCU	FyL
UAM	GOT	Ev. del Pensamiento Geográfico	OB	3	6	GH	PCD	GEO
UAM	GOT	Corrientes y Métodos de la G ^a Reciente	OB	4	6	AGR	PCD	GEO
UAM	DG AMB / GOT	Ev. del Pensamiento Geográfico	OB		6	GH	PCD	GEO
UAM	DG AMB / GOT	Corrientes y Métodos de la G ^a Reciente	OB	5	6	AGR	PCD	GEO
UB	GCG	Pensamiento Geográfico	OB	3	6	GH	PCD	GEO
UNICAN	GOT	Introducción a la G ^a . Sociedad y Territorio	BA	1	6	AGR	PCD	
UCM	GOT	Concepto y Métodos de la G ^a	OB	2	6	GH	PTU/PAY	GEO / TUR
UEX	GOT	Teoría y Métodos de la G ^a	OB	4	6	GF/GH	PTU	GH
UDG	GTMA	Pensamiento Geográfico	OB	4	6			
UDG	DG TUR / GTMA	Pensamiento Geográfico	OB	5	6			
UGR	GGT	Objetivos y Prácticas de La G ^a	BA	1	6	GH	PCD	GEO
UGR	GGT	Ev. del Pensamiento Geográfico Contemporáneo	OP	4	6	GH	PCD	GEO
UIB	GEO	Pensamiento Geográfico	OB	4	6	AGR	PTU	GEO
UJAEN	GH	Concepto y Método de La G ^a	OB	3	6	GH	PS	GEO
ULL	GOT	Teoría y Método de La Región	OP	4	6	AGR	PTU	GH
ULPGC	GOT	Teoría y Métodos de La G ^a	OB	3	6	GH/AGR	PCD/IPRE/PA	GEO / GEO / GH
ULEON	GOT	Teoría e Historia de La G ^a	BA	1	6	GH	PAD/PTU/PTU	GEO / GEO / GH
UDL	GEO	Pensamiento Geográfico. Ev. Conceptual y Metodológica	OB	3	6	GH	PCD	GEO
UMA	GGT	Territorio y Paisaje. Iniciación a Los Métodos de La G ^a	BA	1	6	AGR	PAD	AMB

UMA	GGT	Ev. Del Pensamiento Geográfico	OB	2	6	GH	PAD	GEO
UMA	DG GGT / H	Ev. Del Pensamiento Geográfico	OB	2	6			
UM	CTG	Ev., Estado Actual y Divulgación de la G ^a	OB	4	6	AGR	PTU	
UNIOVI	GOT	Historia Del Pensamiento Geográfico	OB	4	6	AGR	PAD	GEO
UOC	HGHA	Pensamiento e Historia de La G ^a	OP		6			
UPO	GH	Métodos de La G ^a	BA	1	6	GH	PTU/PCD	GEO / AMB
UPO	DG GH / RI	Métodos de La G ^a	BA	1	6	GH	PTU/PCD	GEO / AMB
UPO	DG AMB / GH	Métodos de La G ^a	BA	1	6	GH	PTU/PCD	GEO / AMB
URV	GATS	Reptes i Temes Clau En Geografia	OB	4	3	GH	IPOST/PS	GEO
USAL	GEO	Pensamiento Geográfico	OB	3	6	AGR	PAD	GEO
USC	GOT	Teoría e Historia de La G ^a	BA	1	6	AGR	PTU/PCU	GH / GH
US	GGT	Teorías y Claves para la Interpretación Del Territorio	OB	1	6	GH	PCU/PTU	GEO / GEO
US	DG GGT / H	Teorías y Claves para la Interpretación Del Territorio	OB	2	6	GH	PCU/PTU	GEO / GEO
UVA	GPT	Teoría y Métodos de la G ^a	BA	1	6	AGR	PTU	GH
UNIZAR	GOT	El Pensamiento Geográfico: Ev. Conceptual y Metodológica	OB	1	6	GH	PTU	FyL

Universidad: U. de Alicante (UA); U. Autónoma de Barcelona (UAB); U. Autónoma de Madrid (UAM); U. de Barcelona (UB); U. de Cantabria (UNICAN); U. Complutense de Madrid (UCM); U. de Extremadura (UEX); U. de Girona (UGR); U. de Granada (UGR); U. de les Illes Balears (UIB); U. de Jaén (UJAEN); U. de La Laguna (ULL); U. de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC); U. de León (ULEON); U. de Lleida (UDL); U. de Málaga (UMA); U. de Murcia (UM); U. de Oviedo (UNIOVI); U. Rovira i Virgili (URV); U. de Salamanca (USAL); U. de Santiago de Compostela (USC); U. de Sevilla (US); U. de Valladolid (UVA); U. de Zaragoza (UNIZAR); U. Pablo de Olavide (UPO); U. Oberta de Catalunya (UOC).

Título: Grado en Geografía y Ordenación del Territorio (GOT); Grado en Geografía, Medio Ambiente y Planificación Territorial (GMPT); Doble Grado en Ciencias Ambientales y Geografía y Ordenación del Territorio (DG AMB / GOT); Grado en Geografía y Cambio Global (CGB); Grado en Geografía, Territorio y Medio Ambiente (GTMA); Doble Grado en Turismo y Geografía, Territorio y Medio Ambiente (DG TUR / GTMA); Grado en Geografía y Gestión del Territorio (GGT); Grado en Geografía (GEO); Grado en Geografía e Historia (GH); Doble Grado en Geografía y Gestión del Territorio e Historia (DG GGT / H); Grado en Ciencia y Tecnología Geográficas (CTG); Grado en Geografía, Análisis Territorial y Sostenibilidad (GATS); Grado en Geografía y Planificación Territorial (GPT); Doble Grado en Geografía e Historia y Relaciones Internacionales (DG GH / RI); Doble Grado en Ciencias Ambientales y Geografía e (DG AMB / GH); Grado en Historia, Geografía e Historia del Arte (HGHA).

Tipo de asignatura: Obligatoria (OB); Básica (BA); Optativa (OP).

Área de conocimiento: Análisis Geográfico Regional (AGR); Geografía Física (GF); Geografía Humana (GH).

Categoría del profesorado responsable de la asignatura: Profesor Ayudante Doctor (PAD); Profesor Catedrático de Universidad (PCU); Profesor Contratado Doctor (PCD); Profesor Titular de Universidad (PTU); Profesor Ayudante (PAY); Profesor Sustituto (PS); Investigador predoctoral (IPRE); Profesor Asociado (PA); Investigador postdoctoral (IPOST).

Formación de grado / licenciatura del profesorado responsable de la asignatura: Geografía (GEO); Filosofía y Letras (FyL); Turismo (TUR); Geografía e Historia (GH); Ciencias Ambientales (AMB).

Elaboración propia

Tabla 2. Títulos y universidades sin una asignatura específica de teoría de la Geografía o pensamiento geográfico

Universidad	Título
U. de Castilla la Mancha	Grado en Geografía, Desarrollo Territorial y Sostenibilidad
U. de Castilla la Mancha	Doble Grado en Historia y Geografía, Desarrollo Territorial y Sostenibilidad
U. de la Rioja	Grado en Geografía e Historia
U. Nacional de Educación a Distancia (UNED)	Grado en Geografía e Historia
U. del País Vasco	Grado en Geografía y Ordenación del Territorio
U. de Valencia	Grado en Geografía y Medio Ambiente
U. de Vigo	Grado en Geografía e Historia
U. de Vigo	Doble Grado en Turismo y Geografía e Historia
U. Rovira i Virgili	Grado en Geografía, Análisis Territorial y Sostenibilidad

Elaboración propia

Entre los grados de temática geográfica, los títulos de las universidades de Castilla la Mancha y Rovira i Virgili suponen la actualización de los planes de grado inicialmente aprobados en 2010-2011. Para el caso de Castilla la Mancha, el primitivo Grado de Geografía y Ordenación del Territorio si incluía una asignatura obligatoria de 6 créditos de “*Teoría y método de la Geografía*” (BOE, 2010), de la que el actual plan de estudios ha prescindido. No obstante, las asignaturas introductorias de Geografía Física y Geografía Humana (*Geografía Física y Sostenibilidad: el Sistema Tierra; Geografía Humana y Sostenibilidad: Sociedad y Territorio*) incluyen unos primeros temas de corte teórico-conceptual que, en el caso de la asignatura de Geografía Humana, hace mención directa al pensamiento geográfico, aunque con un peso residual. El anterior plan de Geografía y Ordenación del Territorio de la Rovira i Virgili tampoco incluía, como el actual, una asignatura específica de teoría de la Geografía, si bien contaba con una asignatura de formación básica (*Fundamentos del Análisis Geográfico*), que daba un cierto peso, aunque poco significativo, a las cuestiones relativas al pensamiento geográfico (BOE, 2011; Universidad Rovira i Virgili, s. f.). En el plan actual, la asignatura *Retos y Temas Clave en Geografía* podría asociarse por su título a un cierto debate epistemológico, si bien su planteamiento como una relación de seminarios temáticos por parte de profesionales de distintos temas geográficos no parece indicar tal relación.

Los grados de las universidades del País Vasco y Valencia prescindieron desde el principio de asignaturas específicas de pensamiento geográfico. No obstante, si bien el grado en Geografía de la Universidad del País Vasco no incluye estos temas en el temario de ninguna asignatura, en el caso de Valencia, dos asignaturas de formación básica (*Introducción a la Geografía y Medio Ambiente; Introducción a la Geografía Humana*) incluyen entre sus contenidos cuestiones conceptuales y relativas al pensamiento geográfico, aunque únicamente de manera parcial y con un peso muy limitado.

En los grados de Geografía e Historia de la UNED, La Rioja y Jaén, la ausencia de una asignatura sobre pensamiento geográfico contrasta con el peso adquirido por asignaturas de historiografía, que cuenta con dos optativas en la UNED y una asignatura de formación básica en las otras dos universidades. En Vigo, el plan de estudios incluye también una asignatura obligatoria de *Teoría y Método de la Arqueología*. Por otro lado, los dobles grados sin asignaturas de pensamiento geográfico son herederos de las situaciones descritas para los grados que los componen, que tampoco cuentan con tales asignaturas.

3.2. Investigación sobre teoría de la Geografía

La revisión de la bibliografía asociada a las diferentes materias en teoría de la Geografía impartidas en las universidades españolas revela que la mayor parte de las referencias de autores españoles fueron editadas a finales del siglo XX o principios del siglo XXI. Las referencias bibliográficas más recientes corresponden habitualmente a autores extranjeros, de origen anglosajón o francés, si bien se denota una general falta de referencias actualizadas o renovadas. Una de las ediciones más recientes de los manuales clásicos españoles (*Filosofía y Ciencia en la Geografía Contemporánea*, de Horacio Capel) (Capel, 2012) es tan sólo una reedición de la obra original de 1981, a la que se añade un capítulo adicional y de carácter genérico, que aborda los desarrollos más recientes de la disciplina. Por tanto, ni siquiera se puede entender como una referencia actualizada y reciente que denote nueva reflexión epistemológica de la Geografía.

Una revisión de las principales publicaciones en el campo de la teoría de la geografía publicada en español revela que la mayor parte de lo publicado en la última década se produce en el ámbito latinoamericano. Son así artículos y libros redactados por autores de universidades latinoamericanas los que, en cierta medida, plantean nuevos debates y reflexiones epistemológicas de la Geografía, citando a los manuales clásicos de Capel, Mendoza / Muñoz Jiménez y Valcárcel (Buzai, 2014; Cuadra, 2020; Lindón Villoria & Hiernaux-Nicolas, 2010; Mansilla Quiñones et al., 2019). Uno de los manuales de epistemología geográfica reciente en castellano, que plantea algunos campos emergentes en la práctica de la Geografía, como la globalización, las religiones, la violencia urbana y el ciberespacio, es de hecho editado por dos autores mexicanos (Lindón & Hiernaux, 2016), aunque con una primera edición en el año 2006.

En España, una de las iniciativas más destacadas en este campo ha sido la colección de obras *Espacios Críticos*¹, dirigida por Abel Albet y Núria Benach y publicada en Icaria editorial, que comparte en castellano algunas de las principales teorías internacionales sobre la conceptualización y enfoques de análisis del espacio geográfico. En este sentido, es escasa la producción de autores españoles que se centra en teorías posestructuralistas y contemporáneas de la Geografía, como el propio giro cultural, que ya a principios de siglo Capellà Miternique y Lois González (2002) señalaban como un desconocido en la geografía española.

Entre la escasa producción de origen español sobre teoría de la Geografía, destacan aquellos trabajos centrados en la reflexión epistemológica de ciertas subdisciplinas, entre las que sobresale especialmente por el variado número de autores y propuestas la Geografía Regional (Espejo Marín, 2013; Farinós Dasí, 2001; Otero Varela, 2023). No obstante, se han detectado trabajos epistemológicos que abordan la Geografía de la Percepción (Muñoz Vara, 2010), la Geografía Económica (Alonso-Logroño & Bautista-Puig, 2022; Sánchez Hernández, 2003, 2021), la Edafogeografía (Rodrigo-Comino et al., 2018; Rodrigo-Comino & Senciales González, 2013) o la Geografía Urbana (Bielza, 2011; Delgado Viñas, 2016).

La labor desarrollada por el grupo de trabajo de la AGE en pensamiento geográfico, constituido en 2001², se ha centrado en varias cuestiones, algunas de ellas lejanas al debate epistemológico del conjunto de la Geografía. De esta manera, una línea de trabajo recurrente del grupo ha sido la representación cultural del paisaje y del territorio, que ha constituido el *leitmotiv* de varios de los seminarios o coloquios que han organizado (Ortega Cantero et al., 2006, 2010; Paül i Carril & Tort i Donada, 2007). Recientemente, se han trabajado cuestiones relativas a la geografía social, cultural y política, que se han decidido integrar oficialmente como campos de trabajo del grupo (Farinós i Dasí et al., 2019; Santamaría et al., 2022). De este modo, este grupo de trabajo constituye un ámbito de reflexión geográfica, más que de reflexión epistemológica, si bien da cabida a algunos aspectos relacionados con tales cuestiones. Entre ellos, se organizó un coloquio y se realizó una publicación sobre el papel de la excursión en la Geografía y otro sobre las relaciones entre la sociedad y el medio ambiente en la Geografía moderna (Frolova Ignatieva, 2016; Paneque & Ojeda-Rivera, 2013). En su actividad, aunque sin éxito, también se previó la edición de textos clásicos de Geografía o la discusión sobre los desafíos de los estudios universitarios de Geografía o la situación de las revistas españolas de Geografía (Ortega-Cantero, 2010). En general, se trata de un trabajo centrado en la historia del pensamiento geográfico, más que en la reflexión epistemológica actual de la disciplina, tal y como revela el propio nombre original del grupo (Grupo en trabajo en Historia del Pensamiento Geográfico)³. Es decir, un trabajo que versa sobre las ideas de autores clásicos, pero que no incide en los debates epistemológicos de la Geografía actual, respecto a los cuales no ha realizado ninguna aportación significativa.

Más allá de sus grupos de trabajo, la propia AGE ha desarrollado ciertas iniciativas que han fomentado la ejecución de un diagnóstico y la reflexión sobre el futuro de la disciplina en España. Entre ellas, se encuentran las aportaciones españolas a los congresos de la UGI, que sintetizan la situación de la investigación y docencia en Geografía en España (Comité Español de la UGI, 2004; Olcina Cantos et al., 2022), así como los informes sobre la investigación geográfica en España de principios de siglo XXI (Asociación de Geógrafos Españoles, 2001; Lasanta & Martín Vide, 2013). También son relevantes al respecto los espacios de debate abiertos en la propia web de la asociación, entre los que sobresale el centrado en el impacto de la pandemia de la Covid-19⁴. No obstante, en todos ellos, la reflexión y el debate epistemológico resulta superficial, tratándose más bien de documentos diagnóstico o de ciertas ideas generales que, sin embargo, no constituyen un debate de fondo.

1 <https://icariaeditorial.com/23-espacios-criticos>

2 <https://pensamiento.age-geografia.es/el-grupo-de-trabajo/>

3 <https://pensamiento.age-geografia.es/el-grupo-de-trabajo/>

4 <https://www.age-geografia.es/site/reflexiones-sobre-la-crisis-actual/>

De forma similar, han sido varios los autores que han llevado a cabo trabajos sobre las enseñanzas de la Geografía en España, realizando una revisión de su evolución y una suerte de diagnóstico de la situación actual, sin entrar de lleno en el debate epistemológico y abordar, por ejemplo, qué tipo de Geografía cabría enseñar en el futuro (E. Burriel de Orueta, 2004; Martínez Fernández & Delgado Urrecho, 2017; Pérez & Aguilera, 2012).

4. Discusión de resultados

Tanto la revisión de la docencia en teoría de la Geografía como, especialmente, el diagnóstico de la viveza del debate epistemológico en la producción científica y en los foros de debate de la Geografía española, revelan una clara tendencia regresiva en el interés y relevancia de las cuestiones relativas al pensamiento geográfico entre la comunidad de geógrafos españoles.

Son muchos los retos a los que la Geografía española se enfrenta como disciplina en el futuro. Desde la renovación de la mayor parte de su profesorado, parte de la cual ya se ha empezado a acometer, a la renovación y supervivencia de la mayor parte de los planes de estudios de Geografía, muchos de los cuales se encuentran actualmente en profunda crisis, pasando por la ratificación del papel social de la Geografía y del perfil profesional para el que está capacitado el geógrafo (Almoguera Sallent, 2018; Comité Español de la UGI, 2002; Martínez Fernández & Delgado Urrecho, 2017). Se trata así de un momento de cambio trascendental en la evolución de la Geografía española, similar al producido con la creación de las primeras licenciaturas en Geografía y la multiplicación del profesorado geógrafo.

Parece evidente que, para dar respuesta a todos estos retos, es necesaria una profunda reflexión epistemológica en el seno de la Geografía, que justifique su objeto de estudio y su presencia en el conjunto del conocimiento académico como disciplina independiente. Una reflexión que, en cierta medida, replique el ejercicio llevado a cabo por toda la comunidad de geógrafos españoles en la elaboración del “Libro Blanco del Grado de Geografía y Ordenación del Territorio” (E. L. Burriel de Orueta, 2004; Gómez Mendoza, 2013c). Tal y como planteaba Capel (2003), “la continuidad de la disciplina solo tiene sentido si previamente hay un acuerdo sobre los conceptos y núcleos conceptuales básicos” (Capel, 2003). Sin embargo, a tenor de los datos revisados, esta reflexión epistemológica no se está dando y, lo que es más grave, puede perder fuerza o desaparecer entre las generaciones más jóvenes de geógrafos, que en algunos casos pueden titularse sin formarse en estos contenidos.

En los siguientes apartados, se discute en detalle las implicaciones y causas asociadas a esa tendencia de pérdida de relevancia de la reflexión epistemológica en la Geografía española.

4.1. El papel de la reflexión epistemológica en la docencia de Geografía

La creación de las licenciaturas de Geografía en los años 90 supuso el inicio de una docencia específica en teoría de la Geografía que, en la mayor parte de las ocasiones, se centró en el estudio de la historia del pensamiento geográfico (E. Burriel de Orueta, 2004; Olcina Cantos, 1996). La renovación de los planes de estudio de Geografía como consecuencia de la adaptación del sistema universitario al Plan Bolonia o, recientemente, como respuesta a una baja demanda formativa de los grados en Geografía por parte del alumnado, ha llevado a varias universidades a disminuir el peso de estas asignaturas o, directamente, a eliminarlas, como en los casos de Castilla La Mancha, País Vasco, Rovira i Virgili o Valencia. La crisis de alumnado a la que se enfrenta la práctica totalidad de los grados de Geografía en España, ante la creciente oferta formativa de grados universitarios cada vez más transversales e interdisciplinarios, puede incrementar esta tendencia a medida que se vayan renovando nuevos planes de estudio o como consecuencia de la progresiva desaparición de grados en Geografía.

Tal y como plantean Martínez Fernández y Delgado Urrecho y (2017) y Olcina Cantos et al. (2022), la reunificación de titulaciones de Geografía, su especialización, o la fusión con otras titulaciones, como la tradicional en Historia, son algunas de las oportunidades de supervivencia que habrá que valorar en el mantenimiento de los estudios de Geografía. En ellas, el papel de la docencia en teoría de la geografía puede verse seriamente mermado, hasta llegar a la irrelevancia. De este modo, el análisis que se ha acometido revela como en tres de los seis grados en Geografía e Historia analizados no hay hueco para asignaturas de pensamiento geográfico.

En esa búsqueda de la supervivencia, los recientes cambios en los planes de estudio de Geografía parecen revelar un mayor aprecio de las asignaturas instrumentales y relacionadas con las salidas profesionales del

geógrafo frente a la docencia tradicional en Geografía (Farinós Dasí, 2022), entre la que se sitúa la teoría sobre la propia disciplina. También adquieren cada vez mayor peso y popularidad los contenidos relacionados con los principales desafíos de la sociedad actual, como el cambio global o la sostenibilidad. La denominación de los nuevos grados de Geografía recientemente aprobados por las Universidades de Castilla la Mancha (*Geografía, Desarrollo Territorial y Sostenibilidad*) o Barcelona (*Geografía y Cambio Global*) apuntan en tal dirección. Revelan una cierta huida de denominaciones y enfoques tradicionales, similar a la tendencia apuntada por Valenzuela Rubio (2004) para los estudios de tercer ciclo a principios de siglo. En la búsqueda de contenidos y planes más atractivos, que aumenten el número de estudiantes, se produce un distanciamiento de términos y contenidos tradicionales, como el propio término “Geografía”. Contenidos teóricos como los epistemológicos se encuentran así en peligro, sin que exista un debate claro sobre su utilidad y necesidad, lo que conecta con la asimilación en la Geografía de unos principios, objetivos y valores concretos, que Maurín Álvarez (2014) asocia a un determinado trasfondo ideológico y una concreta valoración de la utilidad social de la disciplina, menos crítica y más profesionalizante.

Si bien en muchas universidades el volumen de contenidos sobre pensamiento geográfico ha permanecido estable con los años, se aprecia en general un decrecimiento de su importancia respecto a las antiguas licenciaturas. En este sentido, en nueve universidades sus licenciaturas de Geografía contaban con dos asignaturas de epistemología geográfica (ANECA, 2004), siguiendo el modelo que hoy en día solo adopta la Universidad Autónoma de Madrid. Además, en ciertas universidades estas enseñanzas han continuado en una posición debilitada, como contenidos de carácter optativo o diluidos en cuestiones más genéricas de la práctica profesional de la disciplina (Cantabria, Granada, La Laguna), en una tendencia ya previamente apuntada por Maurín Álvarez (2014). En otros casos, el tipo de profesorado asignado a estas asignaturas revela una cierta falta de interés por las mismas. De esta manera, son varias las universidades que confían la docencia de estas asignaturas a su profesorado más novel, que parece asumir esta docencia como mandato más que como elección. Una crítica que Farinós Dasí (2022) también comparte para el caso de la docencia en materias de Ordenación del Territorio. En algunos casos, tal profesorado no se ha formado siquiera como geógrafo, lo que puede implicar una cierta falta de interés en estos contenidos y, por consiguiente, en el propio debate epistemológico de la Geografía. Por otro lado, resulta también relevante, en el reparto por áreas de conocimiento, el escaso papel que se otorga al profesorado de Geografía Física en la impartición de estas materias.

La práctica actual de la Geografía revela una creciente especialización en temas concretos, así como una mayor conexión con otras disciplinas afines, desde la Geología o la Biología en el caso de la Geografía Física, al Urbanismo, la Sociología, la Antropología o el Turismo en el caso de la Geografía Humana y las Ciencias Ambientales, como la Ecología, en el conjunto de las tres áreas de conocimiento (Lasanta & Martín Vide, 2013). Además, el preponderante papel que adquieren hoy en día las técnicas, como la Teledetección o el análisis espacial a través de los Sistemas de Información Geográfica, facilitan también la integración de la Geografía con enseñanzas de carácter técnico, como las ingenierías. Estas tendencias apuntan a una disciplina en evolución y renovación; unos procesos que se manifiestan también en los contenidos que se enseñan como parte de los cursos de Geografía e, incluso, en el perfil de profesorado que actualmente se emplea en los departamentos de Geografía. Sin embargo, esta diversidad de enfoques, cada vez más dispares y distanciados, si no va acompañada de una adecuada formación y debate epistemológico, puede generar entre el alumnado una falta de comprensión concreta del objeto y método de la Geografía o de su lugar singular en el conjunto de cuerpos de conocimiento (Méndez, 2008). En este sentido, sería interesante analizar qué entiende actualmente el alumnado titulado de Geografía por tal y la concepción que existe de la disciplina y de su identidad.

Reflexionar sobre el estado actual de la disciplina, sus posibles desarrollos futuros y, en esencia, su identidad en el panorama científico y académico actual, parece ser una de las misiones fundamentales que la docencia en teoría de la Geografía debería desempeñar. Sin embargo, queda en el aire comprender hasta qué punto tal reflexión y debate se produce en el seno de estas asignaturas, a menudo centradas en la historia del pensamiento geográfico y que, por tanto, pueden prestar una menor atención (al menos directa) a los problemas actuales de la Geografía. Paradójicamente, estos son los problemas que el alumnado en su formación puede percibir directamente. Solo en el caso de la Universidad Autónoma de Madrid, con una asignatura específica de teoría de la epistemología reciente y actual de la Geografía, el peso de estos contenidos parece más evidente. Es tal la universidad la única que cuenta con un peso significativo de docencia obligatoria de epistemología de la Geografía. Cabría comprender hasta qué punto esto resulta en un alumnado con mayor conciencia o entendimiento de la disciplina, de su singularidad y sus desafíos.

Por otro lado, resulta interesante, en los estudios de Geografía e Historia, el diferente papel que habitualmente asumen los contenidos sobre teoría de la Geografía y teoría de la Historia. Mientras que las asignaturas de historiografía parecen tener una posición consolidada y poco rebatible, con un peso bastante relevante, los contenidos de pensamiento geográfico muestran una tendencia dispar, según la universidad, con un peso ampliamente variable según el caso. De esta manera, mientras la reflexión epistemológica en el seno de la historia tiene un reconocimiento unánime y de peso, para el caso de la Geografía, se entrevé una menor valoración o relevancia de tales contenidos, lejos de la “apuesta irrenunciable” que Olcina Cantos (1996) reclamaba en su trabajo.

Resulta relevante también la disparidad en el lugar que los contenidos de pensamiento geográfico juegan en los planes de estudios. Aunque en la mayor parte de los planes de estudio forman parte de asignaturas obligatorias de segundo, tercero o cuarto, de forma similar a la posición que ocupaban en las antiguas licenciaturas (Comité Español de la UGI, 2004), en varios títulos forman parte de la formación básica de primero de carrera, cuando la concepción de la Geografía, así como sus subdisciplinas, diversidad de métodos y falta de unidad, puede ser menor. Se trata también del momento en el que la madurez del alumnado puede complicar una reflexión epistemológica efectiva. De este modo, mientras asignaturas introductorias con ciertos contenidos de pensamiento geográfico pueden ser adecuadas, habría que preguntarse hasta qué punto un alumno de primero puede acometer una verdadera reflexión epistemológica sin haber sido previamente formado en las distintas subdisciplinas de la Geografía, sus corrientes recientes, etc.

Finalmente, más allá de la formación de grado que se ha revisado como parte de este análisis, a nivel doctoral, la promoción del sistema de publicaciones y la consiguiente concepción preponderante de la tesis doctoral como compendio de artículos, parece contribuir también a esta falta de formación en pensamiento geográfico. Los nuevos doctores en Geografía no construyen marcos teóricos de calado que les permitan ubicar su línea de investigación en el campo del pensamiento geográfico, justificando su contribución a la evolución de la disciplina. De esta manera, el futuro profesorado de Geografía puede llegar a definir su proyecto investigador y docente sin haberse formado, tanto a nivel de grado como de doctorado, en los aspectos epistemológicos que fundamentarían tal proyecto.

4.2. La reflexión epistemológica del profesorado y personal investigador

El declive del interés en las cuestiones de teoría de la Geografía es más patente aún en el caso de la investigación. Frente a una cierta producción académica en cuestiones de historia del pensamiento geográfico especialmente destacada en la segunda mitad del siglo XX, nos encontramos actualmente en España con lo que podríamos considerar como un páramo, con la ausencia de contribuciones relevantes y de manuales de referencia actualizados que, su vez, alimenten la docencia previamente revisada. No se han detectado en la bibliografía española referencias similares al manual editado, por ejemplo, por Yeung (2024), centrando en la geografía de las relaciones, la globalización y desarrollos teóricos recientes como la geografía cultural, feminista o postcolonial. Se trata de un retroceso definitivo sobre la débil posición de la epistemología de la Geografía española ya señalada por varios autores (Gómez Mendoza, 2013a; Lois-González et al., 2022; Tapiador & Martí-Henneberg, 2007), evidenciada en el escaso número de tesis y proyectos financiados sobre estos temas a principios del siglo XXI (Canosa Zamora et al., 2004).

El diagnóstico realizado en este trabajo evidencia como, frente a lo que ocurre en algunos países latinoamericanos, la reflexión epistemológica es hoy en día muy limitada en España. Cuando existe, es elaborada por autores clásicos o se reduce a abordar el sustento teórico de ciertas subdisciplinas dentro de la Geografía, en un intento de sus autores por significarlas y dotarlas de mayor relevancia y protagonismo en el conjunto de los estudios geográficos. De esta manera, más que defender el objeto y papel de la Geografía como disciplina unitaria renovada, con objetivos y métodos actualizados, se opta por consolidar ciertas subdisciplinas, con objetos y métodos específicos, en una concepción interdisciplinar y heterogénea de los estudios geográficos. Se trata de una tendencia ya previamente apuntada por Méndez (2008) y que coincide con el diagnóstico de Ortega Valcárcel (2000), que hablaba de múltiples geografías y llegaba a plantear la unidad de la disciplina como un ideal o un mito de difícil consecución. De este modo, el papel de esa reflexión epistemológica parece afianzar la concepción de la Geografía como un conjunto de subdisciplinas de carácter espacial o territorial, pero con objetos y métodos complementarios que, por tanto, carecen de un núcleo teórico común.

El debate iniciado por Horacio Capel en 2003 sobre las competencias a evaluar en los concursos de profesorado de Geografía (Capel, 2003) se puede considerar como uno de los últimos y quizás únicos debates

epistemológicos que han tenido lugar en la Geografía española (Tapiador & Martí-Henneberg, 2007), lo que permite diagnosticar de manera evidente el problema actual. La contribución de Capel tiene hoy dos décadas de vigencia. En ella, se planteaba, entre otras cuestiones, el papel que las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) habrían de jugar en el proyecto investigador y docente del futuro profesorado en Geografía; ya fuese como herramientas sustentadoras de un conocimiento geográfico asentado en un determinado paradigma epistemológico o bien como núcleo propio de la disciplina, asumiendo los contenidos metodológicos como propiamente geográficos. Este debate podría considerarse actualmente aún más pertinente, dado el rol adquirido por las nuevas tecnologías en la docencia, investigación y en los perfiles profesionales de los geógrafos. Se trata de un debate especialmente relevante en el contexto de renovación y actualización de la disciplina y de los planes de estudio impartidos en las principales universidades. Sin embargo, no hay hoy en día en el conjunto de la Geografía española aportaciones significativas que proporcionen a las TIG su núcleo epistemológico dentro de la Geografía. El debate iniciado por Capel parece haberse cerrado en falso, a partir de la reivindicación de las TIG como herramientas tradicionalmente asociadas al trabajo geográfico y en cuyo uso los geógrafos han destacado frente a otras disciplinas, abriendo nuevas perspectivas laborales y competitivas a la comunidad de geógrafos (Chuvieco Salinero et al., 2005). Sin embargo, más allá de estas afirmaciones basadas en la utilidad práctica de las TIG en la competitividad de la disciplina, no se ha detectado un verdadero debate que dote a la investigación y docencia específica de las TIG de su fundamentación epistemológica en el contexto de la Geografía (Tapiador & Martí-Henneberg, 2007).

Lo anterior encaja con las reflexiones realizadas por Maurín Álvarez (2014), quién habla de una “táctica silenciosa de la Geografía contemporánea” para adaptarse a las demandas de la sociedad actual y, con ello, sobrevivir primero como disciplina y, posteriormente, ampliarse y afianzar su propio campo científico y práctico. Sin debate epistemológico de relevancia, plantea Maurín que la Geografía ha ido mutando y adaptándose a un conocimiento que busca reconocer las demandas de la sociedad y del sistema científico actual. Esto conecta con ese creciente rol de la TIG y, en general, de las técnicas, en el aprendizaje y la investigación de carácter geográfico, así como la aproximación de la Geografía a los grandes retos y discursos de actualidad, asumiendo el paradigma del cambio climático o, más ampliamente, del cambio global o, en general, los discursos sobre la sostenibilidad.

A nivel docente, esa tendencia de adaptación busca reconocer la demanda social y del mercado laboral, ante la permanente pérdida de alumnos que habitualmente sufren los grados de Geografía (Olcina Cantos et al., 2022). A nivel investigador, esa adaptación coincide con las demandas de un sistema científico que prima la producción académica en revistas internacionales de prestigio, y otorga menos peso a la producción de monografías o de artículos en revistas nacionales o de menor rango. Tales parámetros parecen haber incentivado la investigación especializada (Méndez, 2008), en la que los autores llegan a resultar más competitivos. En ella, sobresalen las líneas de investigación centradas en el caso del estudio y el análisis de datos (Gómez Mendoza, 2013a), la cual tiene especial cabida en revistas de carácter científico y técnico y, por consiguiente, no puramente geográficas (Gómez Mendoza, 2013a). En tal contexto, la reflexión cualitativa y epistemológica resulta más ardua y compleja, además de requerir mucho más tiempo y, por tanto, ser lenta. Adaptada al caso de la Geografía española, puede adquirir menos interés en medios de difusión internacional. Se trata así de una investigación menos competitiva y “rentable” en el contexto actual de valoración de la de producción científica.

Pese a lo anterior, sí parece existir un interés real de la comunidad de geógrafos y geógrafas de España en la reflexión teórica y el devenir de la Geografía. De esta forma, iniciativas promovidas por la AGE, como el espacio de debate abierto durante la pandemia de la Covid-19, han sido exitosas, contando con la participación de un buen número de geógrafos, no sólo docentes universitarios, sino con otros bagajes profesionales e, incluso, de estudiantes. Esto pone de evidencia que, quizás, la reflexión epistemológica sigue suscitando interés entre los geógrafos, pero tiene menos cabida en los foros académicos y en la producción bibliográfica competitiva actual. De esta forma, cabría buscar espacios alternativos en los que dar cabida a este tipo de debates, que aviven la reflexión y justificación de la propia disciplina, de manera similar a las recientes contribuciones que, relativas a estos temas, ha realizado Josefina Gómez Mendoza en su blog personal⁵. A través de estos medios digitales, se podría promover un debate público sobre el papel que la disciplina ha de jugar en el sistema universitario del mañana, de manera similar al debate público que Capel (2003) reclamaba para acordar qué tipo de perfil debería buscarse para cubrir las plazas de profesorado de Geografía o en relación a la división de la Geografía en tres ámbitos de conocimiento, o de forma similar a la labor llevada a cabo

5 <https://josefinagomezendoza.com/blog/>

por toda la comunidad de geógrafos y geógrafas españolas en la elaboración del “Libro Blanco del Grado de Geografía y Ordenación del Territorio”, que supuso quizás el gran hito en la reflexión común sobre los estudios de Geografía en España (E. L. Burriel de Orueta, 2004; Gómez Mendoza, 2013c). La AGE debería ser la entidad encargada de liderar esta búsqueda, en tanto ha sido el actor clave que ha conseguido promover la poca reflexión epistemológica que se ha realizado en las últimas décadas (Gómez Mendoza, 2013b).

5. Conclusiones

La reflexión epistemológica se encuentra hoy bastante debilitada en la Geografía española. Varias son las causas que permiten explicar esa situación: la debilidad histórica del debate epistemológico de la Geografía en España; la progresiva profesionalización de los estudios de Geografía, cada vez más conectados con las demandas del mercado laboral y, por tanto, cada vez más distanciados de los contenidos teóricos clásicos de la disciplina, en la búsqueda de un mayor atractivo para los futuros matriculados; y los actuales criterios de evaluación de la actividad científica del personal docente e investigador, que prima los estudios de caso y el análisis de datos sobre la reflexión teórica y epistemológica, menos “rentable” en términos de productividad académica.

El futuro no parece ser halagüeño para los estudios de pensamiento geográfico. Los futuros geógrafos parten de una formación en cuestiones epistemológicas inferior a la de sus generaciones precedentes. La renovación o fusión futura de los planes de estudio en Geografía, como respuesta necesaria ante una incesante caída del número de matriculados, puede fortalecer esta tendencia. Asimismo, no existen hoy en día importantes incentivos que promuevan la investigación y el debate epistemológico. De hecho, los principales referentes españoles en pensamiento geográfico son ya geógrafos o geógrafas jubiladas o en un estado avanzado de su carrera académica, sin que exista una nueva generación de geógrafos generadora de nuevas ideas y debates sobre la disciplina. Una idea que puede tener también traslado, en general, al conjunto de la reflexión académica y teórica en Geografía, de la que parecen existir cada vez menos aportaciones, ante el abultado crecimiento en trabajos técnicos y de carácter aplicado.

La Geografía se enfrenta a un futuro incierto, marcado por la supervivencia de los planes de estudio de Geografía, la creciente disgregación de la disciplina en un abultado número de subcampos de conocimiento y, en relación con ello, una creciente apertura disciplinar de los y las investigadores/as y profesores/as de Geografía, en muchos casos con una formación de primer y segundo ciclo en otras disciplinas distintas de la Geografía.

Si bien lo anterior da prueba de la transformación que sufre la disciplina y su rápida evolución reciente, la falta de debate epistemológico que ahonde en la construcción de un proyecto común y de futuro para la Geografía española, genera una importante fuente de incertidumbre sobre su futuro. Sin reflexión teórica, parece ser difícil determinar cuáles serán las bases epistemológicas que justifiquen la independencia de la disciplina en el conjunto de saberes del conocimiento, así como la existencia de estudios en Geografía y la formación de profesionales geógrafos. Independientemente del camino por el que se opte, resulta necesario ahondar en un debate y reflexión epistemológica que permita trazar las bases sobre las que se asiente la Geografía del mañana. La propia apertura disciplinar de la Geografía, a partir de su disgregación en numerosas disciplinas de especialidades distintas, puede ser el punto de partida de una nueva reflexión epistemológica que, desde otras escuelas, justifique el objeto y método de la disciplina. Sin embargo, para ello es necesario potenciar el debate y la formación teórica, actualmente en declive, y sobre la que no se reconoce la suficiente importancia.

Los medios digitales nos proporcionan nuevas herramientas que facilitan la comunicación y flujo de ideas entre la comunidad de geógrafos, facilitando el debate en tiempo real y en formas menos encorsetadas que las tradicionales publicaciones académicas, que requieren de un mayor esfuerzo y tiempo. La promoción del debate epistemológico a través de medios digitales de prestigio, patrocinados por instituciones como la propia Asociación de Geografía Española, puede favorecer el intercambio de ideas y la generación de importantes debates inclusivos en el seno de la comunidad de geógrafos y geógrafas españolas, capaces de proporcionar un diagnóstico y, finalmente, un proyecto común de futuro para la Geografía española. En este sentido, este artículo pretende servir de primera piedra en la construcción de una discusión que, para lograr un resultado eficaz y significativo, ha de ser inclusiva, larga y continuada en el tiempo.

Referencias

- Almoguera Sallent, P. (2018). Enseñanza universitaria y docencia de la geografía en la España actual. *REDU. Revista de Docencia Universitaria*, 16(1), 50-68. <https://doi.org/10.4995/redu.2018.6072>
- Alonso-Logroño, M. P., & Bautista-Puig, N. (2022). Tendencias de investigación en Geografía Económica. Estudio bibliométrico de la Web of Science (1920-2020). *Revista de Estudios Andaluces*, 43, 188-207. <https://doi.org/10.12795/rea.2022.i43.10>
- ANECA. (2004). *Libro Blanco del Título de Grado en Geografía y Ordenación del Territorio*.
- Asociación de Geógrafos Españoles. (2001). *Geografía 21*.
- Bielza, V. (2011). El tema de la morfología urbana en la historia del pensamiento geográfico. *Geographicalia*, 59(60), 27-46. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3937995>
- BOE. (2010). *Resolución de 28 de octubre de 2010, de la Universidad de Castilla-La Mancha, por la que se publica el plan de estudios de Graduado en Geografía y Ordenación del Territorio*. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2010-17422
- BOE. (2011). *Resolución de 25 de julio de 2011, de la Universidad Rovira i Virgili, por la que se publica el plan de estudios de Graduado en Geografía y Ordenación del Territorio*. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-13768>
- Bosque Maurel, J. (1984). Los estudios de Historia de la Geografía en España. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 4, 229-245.
- Burriel de Orueta, E. (2004). La base formativa común en la enseñanza universitaria de la geografía en España. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 38, 47-71.
- Burriel de Orueta, E. L. (2004). La Geografía en la universidad española actual. En *La Geografía española ante los retos de la sociedad actual*. In *Aportación española al XXX Congreso de la U.G.I.* (pp. 19-46). Comité Español de la UGI.
- Buzai, G. D. (2014). Neogeografía y sociedad de la información geográfica una nueva etapa en la historia de la geografía. *Boletín del Colegio de Geógrafos del Perú*, 1, 1-12.
- Canosa Zamora, E., Frochoso Sánchez, M., & Muñoz Jiménez, J. (2004). Los departamentos universitarios de Geografía y su producción científica. En *La Geografía española ante los retos de la sociedad actual*. *Aportación española al XXX Congreso de la U.G.I.* (pp. 121-144). Comité Español de la UGI.
- Capel, H. (2003). Quo vadis Geographia? La geografía española y los concursos para la habilitación del profesorado universitario. *Biblio 3w. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, VIII(469). <http://www.ub.es/geocrit/b3w-469.htm>
- Capel, H. (2012). Filosofía y ciencia en la geografía contemporánea. Una introducción a la Geografía. En *El curso de las ideas científicas* (Vol. 2016, Número 89). Ediciones del Serbal.
- Capellà Miternique, H., & Lois González, R. C. (2002). Geografía cultural: la gran desconocida. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 34, 11-19. <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/424>
- Chuvieco Salinero, E., Pons, X., Conesa García, C., Santos Preciado, J., Bosque Sendra, J., Gutiérrez Puebla, J., Riva Fernández, J., Salado García, M., Ojeda Zújar, J., Martín, M., & Prados Velasco, M. (2005). ¿Son las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) parte del núcleo de la Geografía? *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 40, 35-56.
- Comité Español de la UGI (Ed.). (2002). *La geografía española actual. Estado de la cuestión: aportación española al congreso de la UGI*. Comité Español de la Unión Geográfica Internacional.
- Comité Español de la UGI. (2004). *La Geografía española ante los retos de la sociedad actual. Aportación española al XXX Congreso de la UGI*. Comité Español de la UGI.
- Cresswell, T. (2013). *Geographic Thought: A Critical Introduction*. Willey-Blackwell.
- Cuadra, D. E. (2020). Geografía y geógrafos del siglo XXI: Horizontes y perspectivas. *Revista Huellas*, 24(1), 31-52. <https://doi.org/10.19137/huellas-2020-2403>

- Delgado Viñas, C. (2016). Pensar las ciudades desde la Geografía. In J. F. Vera-Rebollo, J. Olcina, & M. Hernández-Hernández (Eds.), *Libro Homenaje al Profesor Alfredo Morales Gil* (pp. 481-506). Universidad de Alicante. <https://doi.org/10.14198/librohomenajealfredomorales2016-23>
- Espejo Marín, C. (2013). Anotaciones en torno al concepto de región. *Nimbus: Revista de climatología, meteorología y paisaje*, 11, 67-88. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/839169.pdf>
- Farinós Dasí, J. (2001). Reformulación de la necesidad de una nueva geografía regional flexible. *Boletín de la AGE*, 32, 53-71.
- Farinós Dasí, J. (2022). Relaciones entre geografía y planificación territorial: de dudas, recelos y espacios de oportunidad. In Comité Español de la Unión Geográfica Internacional (Ed.), *La geografía española actual. Estado de la cuestión: aportación española al congreso de la UGI* (pp. 50-72). Comité Español de la Unión Geográfica Internacional.
- Farinós i Dasí, J., Ojeda-Rivera, J. F., & Trillo Santamaría, J. M. (2019). España: Geografías para un Estado posmoderno. In *España: Geografías para un Estado posmoderno* (pp. 23-44). Asociación Española de Geografía.
- Frolova Ignatieva, M. (2016). *Relación entre la sociedad y el medio ambiente en la geografía moderna*. Universidad de Granada.
- Gómez-Mendoza, J., Ortega-Cantero, N., & Muñoz-Jiménez, J. (1982). El pensamiento geográfico: estudio interpretativo y antología de textos (De Humboldt a las tendencias radicales). In *Alianza universidad*. (Vol. 45). Alianza Editorial.
- Gómez Mendoza, J. (2013a). La evolución de la investigación en la geografía española durante los últimos decenios. In T. Lasanta & J. Martín Vide (Eds.), *La Investigación Geográfica en España (1990-2012)* (pp. 21-42). Asociación de Geógrafos Españoles, Instituto Pirenaico de Ecología.
- Gómez Mendoza, J. (2013b). La evolución de la investigación Geográfica española durante los últimos decenios. In T. Lasanta & J. Martín Vide (Eds.), *La Investigación Geográfica En España (1990-2012)* (pp. 21-42). Asociación de Geógrafos Españoles.
- Gómez Mendoza, J. (2013c). La geografía y la evaluación científica. *Breves contribuciones del Instituto de Estudios Geográficos*, 24, 34-59.
- Johnston, R., & Sidaway, J. (2016). *Geography and geographers: Anglo-American human geography since 1945*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203523056>
- Lasanta, T., & Martín Vide, J. (2013). *La Investigación Geográfica En España (1990-2012)*. Asociación de Geógrafos Españoles.
- Lindón, A. & Hiernaux, D. (Eds.). (2016). *Tratado de Geografía Humana* (2ª edición). Anthropos Editorial.
- Lindón Villoria, A. & Hiernaux-Nicolas, D. (2010). *Giros de geografía humana. Desafíos y horizontes*. Anthropos: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Lois-González, R. C., Plaza-Gutiérrez, J. I., & Gómez-Espín, J. M. (2022). La geografía rural en España (1940-2020): de la marcada influencia francesa a una creciente diversidad temática y metodológica. In Comité Español de la Unión Geográfica Internacional (Ed.), *La geografía española actual. Estado de la cuestión: aportación española al congreso de la UGI* (pp. 203-228). Comité Español de la Unión Geográfica Internacional.
- Mansilla Quiñones, P., Quintero Weir, J. A., & Moreira-Muñoz, A. (2019). Geografía de las ausencias, colonialidad del estar y el territorio como sustantivo crítico en las epistemologías del Sur. *Utopía y praxis latinoamericana: revista internacional de filosofía iberoamericana y teoría social*, 24(86), 148-161.
- Martínez Fernández, L. C. & Delgado Urrecho, J. M. (2017). La Geografía en las enseñanzas universitarias de Grado en España: docencia y planes de estudios. *Investigaciones Geográficas*, 67, 61-79. <https://doi.org/10.14198/ingeo2017.67.04>
- Maurín Álvarez, M. (2014). Adaptarse para sobrevivir: la táctica silenciosa de la geografía contemporánea. *Ería*, 95, 281-304.
- Méndez, R. (2008). Trayectorias recientes de la Geografía: algunos problemas y potencialidades para su enseñanza. *Huellas*, 12(2008), 128-155.

- Muñoz Vara, J. L. (2010). Un Análisis Necesario: Epistemología De La Geografía De La Percepción. *Papeles de Geografía*, 52, 337-344.
- Olcina Cantos, J. (1996). La Geografía hoy: reflexiones sobre el pensamiento geográfico, la región y la docencia de la Geografía. *Investigaciones geográficas*, 16, 93-114. <https://doi.org/10.14198/INGEO1996.16.06>
- Olcina Cantos, J., González Pérez, J. M., & López Estébanez, N. (2022). Un panorama general de la evolución de la geografía española (1992-2022). In Comité Español de la Unión Geográfica Internacional (Ed.), *La geografía española actual. Estado de la cuestión: aportación española al congreso de la UGI* (pp. 9-27). Comité Español de la Unión Geográfica Internacional.
- Ortega-Cantero, N. (2010). *Acta de la asamblea del Grupo de Historia Del Pensamiento Geográfico de la AGE, celebrada en la sede Antonio Machado de la Universidad Internacional De Andalucía, Baeza, el día 11 de noviembre de 2010*. <https://pensamiento.age-geografia.es/wp-content/uploads/2019/03/133314Acta-asamblea-noviembre-2010.pdf>
- Ortega Cantero, N., García Álvarez, J., & Mollá Ruiz, M. (2010). *Lenguajes y visiones del paisaje y del territorio*. Universidad Carlos III de Madrid, Asociación de Geógrafos Españoles, Universidad Autónoma de Madrid.
- Ortega Cantero, N., López Ontiveros, A., & Nogué i Font, J. (2006). *Representaciones culturales del paisaje. Y una excursión por Doñana*. UAM Ediciones.
- Ortega Valcárcel, J. (2000). *Los horizontes de la Geografía. Teoría de la Geografía*. Ariel.
- Otero Varela, A. (2023). Monografies comarcals gallegues? Al voltant del desenvolupament de la Geografia Regional clàssica a Galícia (anys 1920-1980). *Treballs De La Societat Catalana De Geografia*, 95, 113-142. <https://revistes.iec.cat/index.php/TSCG/article/view/150586>
- Paneque, P., & Ojeda-Rivera, J. F. (2013). *El viaje en la geografía moderna*. Universidad Internacional de Andalucía. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=528170>
- Paül i Carril, V. & Tort i Donada, J. (Eds.). (2007). *Territorios, paisajes y lugares: trabajos recientes de pensamiento geográfico*. Asociación de Geógrafos Españoles.
- Pérez, J. E., & Aguilera, D. S. (2012). De la teoría a la práctica. El proceso de diseño e implantación de los grados de geografía en las Universidades Españolas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 58, 405-428. <https://doi.org/10.21138/bage.2073>
- Rodrigo-Comino, J., & Senciales González, J. M. (2013). La Edafogeografía: la quinta rama olvidada de la Geografía Física. *Cuadernos Geográficos*, 52(1), 6-28.
- Rodrigo-Comino, J., Senciales, J. M., Cerdà, A., & Brevik, E. C. (2018). The multidisciplinary origin of soil geography: A review. *Earth-Science Reviews*, 177, 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.11.008>
- Sánchez Hernández, J. L. (2003). *Naturaleza, localización y sociedad: tres enfoques para la geografía económica*. Ediciones Universidad de Salamanca.
- Sánchez Hernández, J. L. (2021). El desarrollo teórico de la Geografía Económica en el siglo XXI: hacia la hibridación de los proyectos científicos de la disciplina. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 89. <https://doi.org/10.21138/bage.3080>
- Santamaría, J. M. T., López, L., & González, R. C. L. (2022). *Geografía social. Permanencias, cambios y escenarios de futuro*. Asociación Española de Geografía, Universidad de Santiago de Compostela.
- Tapiador, F., & Martí-Henneberg, J. (2007). Best of times, worst of times: A tale of two (Spanish) geographies. *Journal of Geography in Higher Education*, 31(1), 81-96. <https://doi.org/10.1080/03098260601033043>
- Universidad Rovira i Virgili. (s. f.). *Guía Docente. Fundamentos del Análisis Geográfico*. https://guiadocent.urv.cat/docnet/guia_docent/index.php?centre=21&ensenyament=2121&assignatura=21214005&fitxa_apartat=57&any_academic=2010_11&any_academic=2010_11
- Unwin, T. (1992). *El lugar de la geografía*. Cátedra.
- Valenzuela Rubio, M. (2004). La Geografía en los estudios de tercer ciclo de las universidades españolas (1983-2004). In *La Geografía española ante los retos de la sociedad actual. Aportación española al XXX Congreso de la U.G.I.* (pp. 83-104). Comité Español de la UGI.
- Yeung, H. W. chung. (2024). Theory and explanation in geography. En *Theory and Explanation in Geography*. Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119845515>

Spatial variations of runoff thresholds associated with changes in land use over the period 1990-2018 in the Mediterranean side of Andalusia

Variaciones espaciales del umbral de escorrentía asociadas a cambios de usos de suelo durante el período 1990-2018 en el área de la vertiente mediterránea andaluza

AUTHORSHIP

Héctor Álvarez-García 
Instituto Universitario de Hábitat, Territorio y Digitalización, Avda. Arquitecto Francisco Peñalosa, Edificio de Investigación Ada Byron, 29010, Universidad de Málaga, Málaga, España.

José Antonio Sillero-Medina 
Instituto Universitario de Hábitat, Territorio y Digitalización, Avda. Arquitecto Francisco Peñalosa, Edificio de Investigación Ada Byron, 29010, Universidad de Málaga, Málaga, España. Departamento de Geografía, Universidad Complutense de Madrid, c/ Profesor Aranguren s/n 28040, Madrid, España.

María Eugenia Pérez-González 
Departamento de Geografía, Universidad Complutense de Madrid, c/ Profesor Aranguren s/n 28040, Madrid, España.

José Damián Ruiz-Sinoga 
Instituto Universitario de Hábitat, Territorio y Digitalización, Avda. Arquitecto Francisco Peñalosa, Edificio de Investigación Ada Byron, 29010, Universidad de Málaga, Málaga, España.

DOI

<https://doi.org/10.14198/INGEO.25990>

CITATION

Álvarez-García, H., Sillero-Medina, J. A., Pérez-González, M., A., Ruiz-Sinoga, & J. D. (2024). Spatial variations of runoff thresholds associated with changes in land use over the period 1990-2018 in the Mediterranean side of Andalusia. *Investigaciones Geográficas*, (82), 25-42. <https://doi.org/10.14198/INGEO.25990>

 **CORRESPONDENCE**
Héctor Álvarez-García (hectalva@ucm.es)

HISTORY

Received: 28 September 2023
Accepted: 10 May 2024
Published: 10 July 2024

TERMS

© Héctor Álvarez-García, José Antonio Sillero-Medina, María Eugenia Pérez-González, José Damián Ruiz-Sinoga

 This work is published under a license [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Abstract

The runoff threshold is the amount of precipitation that exceeds the infiltration capacity of the soil and from which water begins to flow over the land surface. Its spatial variation will determine the appearance of a series of processes and risks such as soil erosion, sediment transport, water pollution or flooding, all of which are of great interest in the field of land planning and management. This article provides an update of the runoff threshold in the territorial scope of the Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas and evaluates the spatial changes occurred between 1990 and 2018 because of land use dynamics. For this purpose, the methodology described in Regulation 5.2-IC related to surface drainage, of the Instrucción de Carreteras (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo [MOPU], 1990; Ministerio de Fomento, 2016, 2019) was used. The results obtained show very contrasting runoff threshold values, with maximums in the western sector and minimums in the eastern sector. On the other hand, the dynamics of land use changes have led to a significant increase in impermeable surfaces and sclerophyllous vegetation, which has generated a clear reduction in runoff threshold values in different areas, mainly in the eastern region. Specifically, the former forest areas, currently occupied by sclerophyllous vegetation, stand out, with a reduction of 17 mm over an area of approximately 229.1 km². The conversion of agricultural lands into urban areas is also noteworthy, with a decrease in their retention capacity by up to 14 mm of precipitation, covering a total area of 97.1 km².

Keywords: runoff threshold; land uses; andalusian Mediterranean basin; water management; soil moisture; infiltration capacity.

Resumen

El umbral de escorrentía es el valor de precipitación que excede la capacidad de infiltración del suelo y a partir del cual el agua comienza a fluir sobre la superficie del terreno. Su variación espacial va vinculado a la aparición de una serie de procesos y riesgos ambientales como la erosión del suelo, el transporte de sedimentos y contaminantes hacia cuerpos de agua o inundaciones, todos ellos de gran interés en el ámbito de la planificación y la gestión del territorio. Por tanto, vinculado directamente con los conceptos de peligrosidad y riesgo relativos al agua. En este estudio proporcionamos una actualización del umbral de escorrentía en el ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica de las

Cuencas Mediterráneas Andaluzas basado en los cambios espaciales producidos entre 1990 y 2018 como consecuencia de la dinámica de usos del suelo. Para ello, se ha utilizado la metodología descrita en la Norma 5.2-IC del Ministerio de Fomento de 2019 relativa al drenaje superficial. Los resultados obtenidos muestran una variabilidad espacial y temporal de los valores, con máximos coincidentes en el sector occidental y mínimos en el oriental. Y, además, como la dinámica de cambios de usos del suelo ha supuesto un incremento significativo de las superficies impermeables y de vegetación esclerófila rala, lo que ha generado una clara reducción de los valores del umbral de escorrentía en diferentes áreas, especialmente de la mitad oriental, con las consecuentes implicaciones en los riesgos del agua. Concretamente, destacan las antiguas áreas de bosque, actualmente ocupadas por vegetación esclerófila, con una reducción de 17 mm y con una extensión de unos 229,1 km². También es notable la conversión de tierras agrícolas en áreas urbanas, con una disminución en su capacidad de retención de hasta 14 mm de precipitación, cambio que afecta a 97,1 km².

Palabras clave: umbral de escorrentía; usos del suelo; Mediterráneo; gestión hídrica; humedad del suelo; capacidad de infiltración.

1. Introduction

Within the framework of hydrological planning, researching the modelling of runoff processes is considered as a fundamental task, as it provides highly interesting information in terms of environmental risk assessment, water management, agriculture or the conservation of ecosystems, among others (Zhang et al., 2018; Xie et al., 2021). These processes are particularly relevant in the Mediterranean region, where water risks are conceived as one of the principal problems faced by society today (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021; Olcina Cantos, 2017). Specifically, an increase in the recurrence of the number of torrential events, together with an increase in rain erosivity, water erosion, the intensity and frequency of droughts and water stress or the xeric period of the soil have been identified (Sillero-Medina et al., 2019, 2020, 2021). Similarly, it has been found that the water erosion processes of the land constitute one of the principal environmental problems, particularly in recent years, coinciding with the promotion of new international policies for reducing erosion levels and the conservation of the soil. In this respect, we can refer to initiatives of the European Commission within the framework of the 2030 Biodiversity Strategy and the EU soil protection strategy, such as the “4 per 1000” (Minasny et al., 2017) or the “From Farm to Fork” strategy of 2020 (Montanarella & Panagos, 2021; Panagos et al., 2022), both forming part of the EU’s Green Deal. In short, this phenomenon has arisen due to the fact that more than 25% of the European Union’s land is currently at risk of desertification. This situation is particularly critical in the Mediterranean region (European Court of Auditors [ECA], 2018). Here, the specific characteristics of the natural system, such as the physiography, the rainfall pattern, the vegetation cover, the soil properties or the use of the land foster the activation of these processes (Martínez-Murillo & Ruiz-Sinoga, 2006; Nadal-Romero et al., 2019; Bravo-Peña et al., 2020). Therefore, these variables represent a key factor for estimating what is known as the runoff threshold (P_0). This parameter determines the total quantity of water that can be absorbed by the soil before surface runoff occurs and is fundamental in the hydrological study of a basin (Camarasa-Belmonte et al., 2006; Campón et al., 2015). The modifications in the most dynamic variables, such as the use of the land, generate major alterations in the hydrological functioning of the basins (Hundeicha & Bárdossy, 2004; Viramontes-Olivas et al., 2012; Cerdá et al., 2021), which converts them into a fundamental object of study in any territorial water plan.

Over the last few decades, the Mediterranean area has become a space of opportunity. It has a clear pull factor, in which an extraordinary urban development has coincided with a rapid modification of different agricultural and forestry land uses (Cerdá et al., 2007; Pascual & López, 2016). These modifications in land uses constitute one of the principal human alterations that directly influences the hydrological dynamics. Therefore, determining the functioning of the ecosystems in their entirety is a decisive factor when designing an adequate territorial plan (Asmar et al., 2021). It is essential to identify the dynamics of the changes in land uses in recent years and understand how they came about. It is also important to learn about the response of the eco-geomorphological system to these changes (Calvo-Cases et al., 2021; Daneshi et al., 2021). In parallel, there has also been a major process of abandonment of agricultural areas, which, according to the paradigm of the current climate dynamics, is generating direct repercussions on the eco-geomorphological system. In arid and semi-arid conditions, an increase in the land erosion processes can be observed in response to a greater generation of surface runoff (López García et al., 2007; Camarasa-Belmonte et al., 2018). Such areas have become particularly fragile and sensitive to these processes (Puigdefábregas, 2005; Sillero-Medina et al., 2019).

In short, the recent dynamics in the Mediterranean region have given rise to studies focused on determining runoff thresholds (P_0), in which several facets related to this process are addressed. The study by Lucas-Borja et al. (2019) examines the influence of different factors in these processes. The hydrological responses in highly

vulnerable experimental areas have been evaluated (Ruiz-Sinoga & Martínez-Murillo, 2012) and the study by Meléndez-Pastor et al. (2013) proposes different methodologies for estimating these environmental phenomena.

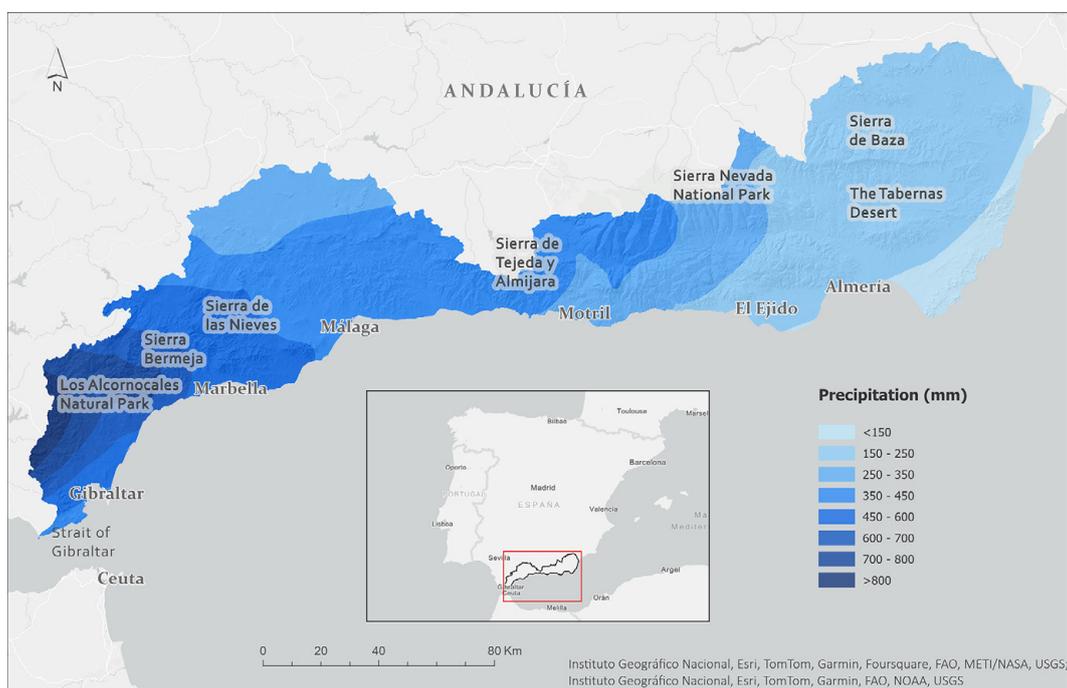
According to these considerations, the principal objective of this study is to provide an update of the P_0 threshold for the territorial area of the Andalusian Mediterranean river basins (Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas) (hereafter, CMA) for different states of soil humidity. The importance of this study resides in the need for updated and precise tools for managing the water resources in Mediterranean areas, where the availability of water is limited and the demand is high. With this objective, the changes in the P_0 threshold occurring due to the variations in land uses in the coastal area of the CMAs over the last few decades have been determined. Specifically, the average P_0 of 1990 and 2018 has been calculated, together with the different levels of humidity in the most recent year. The study also evaluates the surface and uses of the land that has undergone the most alterations in this threshold, both positive and negative, together with their possible incidence on water hazards and risks related to surface runoff and, therefore, the territorial fragility and/or vulnerability. With this objective, the study seeks to provide useful information for water managers and to contribute to a sustainable management of the water resources in the region.

2. Methodology

2.1. Area of study

The area included in the CMAs is made up of a series of river basins, streams and watercourses that originate in the Baetic mountains and flow into the Mediterranean sea (Figure 1). This area of 20,000 km² is particularly interesting because a longitudinal pluviometric gradient occurs in a little over 300 km with implications for the landscape dynamics, as analysed in different studies (Ruiz-Sinoga et al., 2015). Contrasting with the rainfall characteristics of the humid Mediterranean climate, with values of over 1,400 mm/year in the western area, on the eastern side, there is a rainfall of 150 mm/year, characteristic of an arid Mediterranean climate, with a whole series of intermediate situations throughout the territory, with direct effects on the landscapes.

Figure 1. Map of the distribution of average mean precipitation in the CMAs (period 1997-2022)



Source: Red SAIH Hidrosur. Own elaboration

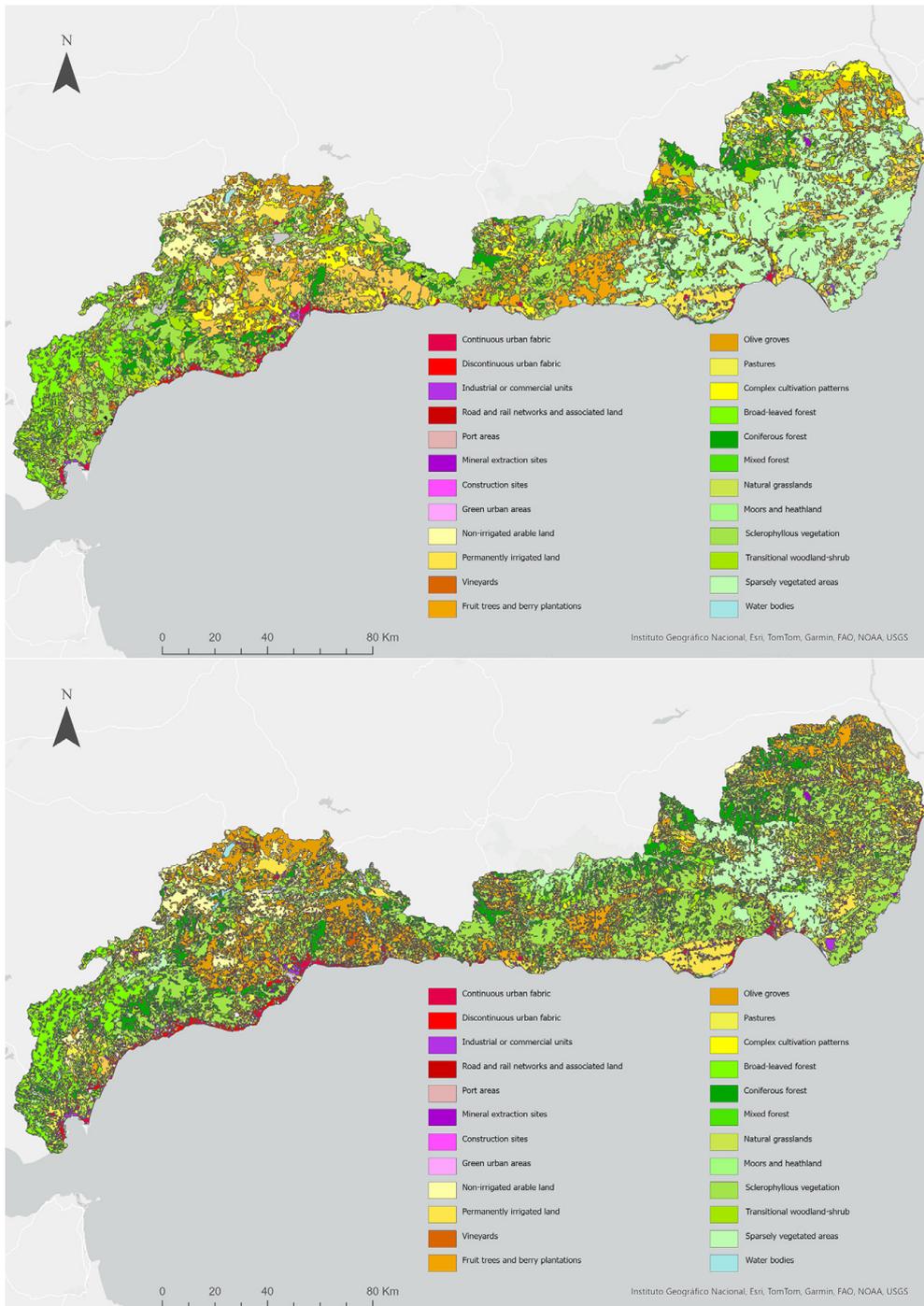
This territory has been modelled by a drainage network that was formed as it sought a connection with the sea level, sculpting a relief very close to the coastline with a short hydrographic network consisting in steep slopes and with rivers that descend sharply between their sources and mouth into the Mediterranean sea. This also gives rise to high solar thermal coefficients due to the exposure of the hillsides and the latitude. Similarly, the land uses are characterised by their special space-time dynamics. It is a traditionally agricultural area, particularly on the valley floors. However, in recent years and due to the expansion of the coastal urbanisation process, there has been a displacement and transformation of the uses of the land caused by the

expansion of artificial and sealed areas, the increase in intensive irrigated agriculture and abandoned crops. In summary, a series of specific characteristics prevail that have made the eco-geomorphological system a territory that is highly sensitivity and/or vulnerability to extreme rainfall events that are becoming increasingly intense and frequent and to floods between long spells of drought within a clear context of climate change.

2.2. Data sources

The data referring to land uses have been obtained from the CORINE Land Cover project for 1990 and 2018 and have been downloaded from the Instituto Geográfico Nacional (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, s. f.). The Digital Elevation Model (DEM) has also been taken from the same source with a resolution of 25 m/pixel/pixel (Figure 2).

Figure 2. Land use maps, CORINE Land Cover project 1990 (top) and 2018 (bottom)



Source: Centro Nacional de Información Geográfica. Own elaboration

2.3. Calculation of the runoff threshold

In order to determine the P_o , the criteria and procedures implemented by Road Regulation 5.2-IC regarding surface drainage have been followed (Ministerio de Fomento, 2019). Meanwhile, in order to calculate net rainfall, the *Soil Conservation Service (SCS) (1956) (Natural Resources Conservation Service --NRCS--)* has been used. The whole process is summarised in Figure 3.

The threshold P_o (mm) is defined as the minimum amount of rain that should fall on the basin for it to initiate a runoff process. Mathematically, it is developed with two variables, P_o^i (mm), representing the value of the initial runoff and β (adimensional), which is the correction coefficient associated with the humidity of the soil through which the rational method with which it is developed is calibrated:

$$P_o = P_o^i \cdot \beta$$

The first value that is required refers to the initial runoff value, which has been estimated through the classifications provided by the Ministerio de Fomento (2019) based on the information derived from: (i) land uses; (ii) cultivation practices; (iii) slope percentage; (iv) hydrological soil group.

Initially the cultivation practices are categorised into three different types (R, N; R/N). Within this context, “N” denotes the crop in accordance with the level curves. This means that the crop is grown following the contour lines of the terrain, seeking to minimise the soil erosion and conserve the humidity as runoff is prevented. On the other hand, “R” denotes that the crop is grown in line with the maximum gradient. This indicates that the crop follows the direction of the steepest slope of the terrain. This approach is usually used on hillsides with steep slopes in order to use gravity in irrigation and water drainage. Due to the large spatial area covered in this study and given that each of these approaches can have advantages and disadvantages depending on the characteristics of the terrain, the farming practices have been generalised as type “N” in areas with gradients of over 3%. This is done under the understanding that the majority of cultivation techniques are aimed at making the most efficient use of water.

In this way, taking as a reference the land use assigned to the terrain, we can obtain the runoff threshold in accordance with the other previously mentioned factors.

Table 1. P_o values assigned to land uses, cultivation practices, slopes and hydrological soil groups

Land use	[1]	Slope (%)	Soil group			
			A	B	C	D
Rainfed land (cereals)	R	≥ 3	29	17	10	8
	N	≥ 3	32	19	12	10
	R/N	< 3	34	21	14	12
Rainfed land (vegetables)	R	≥ 3	23	13	8	6
	N	-	25	16	11	8
	R/N	< 3	29	19	14	11
Abandoned land	-	≥ 3	16	10	7	5
	-	< 3	20	14	11	8
Permanently irrigated land, irrigated arable crops	R	≥ 3	37	20	12	9
	N	≥ 3	42	23	14	11
	R/N	< 3	47	25	16	13

Source: Ministerio de Fomento (2016)

Subsequently, using the DEM, the slope of the terrain was calculated in the area of study. Once the sections corresponding to the area of study were downloaded, a conditional evaluation of the maximum gradient of 3% was carried out. This generated two types of terrain that correspond to the runoff threshold tabulation.

The last factor to be implemented is that of the hydrological soil groups. These are categorised in accordance with a series of characteristics that can be found in Regulation 5.2-IC (Ministerio de Fomento, 2019) and summarised in Table 2. Two categories are included for the area selected, with Group C being the most widespread, with 75% of the total CMA area, followed by Group B.

This procedure for obtaining geographical data has been carried out using the software ArcGIS Pro-2022 (Corporate Licence of the Universidad Complutense de Madrid). In this way, once the information relating to the four previous factors had been obtained, using the Python dictionaries in ArcGIS Pro, a total of four

initial thresholds were generated for all of the Andalusian Mediterranean basins. However, this initial runoff threshold has been obtained with an intermediate degree of soil humidity (prior to precipitation). Therefore, following the instructions for calculating net rainfall using the SCS method, a correction coefficient drawn from the numerical tables of Ferrer (1993) was applied, in accordance with the recommendations for hydro-meteorological calculations of floods of the Centre of Hydrographical Studies (Campón et al, 2015).

Therefore:

- On previous dry days: $P_o = P_o^i \cdot 2.31$
- On previous wet days: $P_o = (P_o^i)^2 \cdot 0.0072 + P_o^i \cdot 0.167$
- In the case of previous days with an intermediate humidity the correction factor is not applied.

Table 2. Properties of the hydrological soil groups in order to determine the P_o threshold

Group	Infiltration	Power	Texture	Drainage
A	Fast	Large	Sand	Perfect
			Loamy sand	
B	Moderate	Medium to large	Silt loam	Good to moderate
			Loam	
			Loam-silt-sand	
			Silt loam	
C	Slow	Medium to small	Loam-clay	Imperfect
			Sand-clay-loam	
			Sandy clay	
D	Very slow	Claypan	Clay	Poor or very poor

Source: Ministerio de Fomento (2016). Own elaboration

The criterion used for considering the soil as dry, intermediate or wet can be found in Table 3 (Singh, 1992, p. 477), understanding that the prior conditions refer to the five previous days:

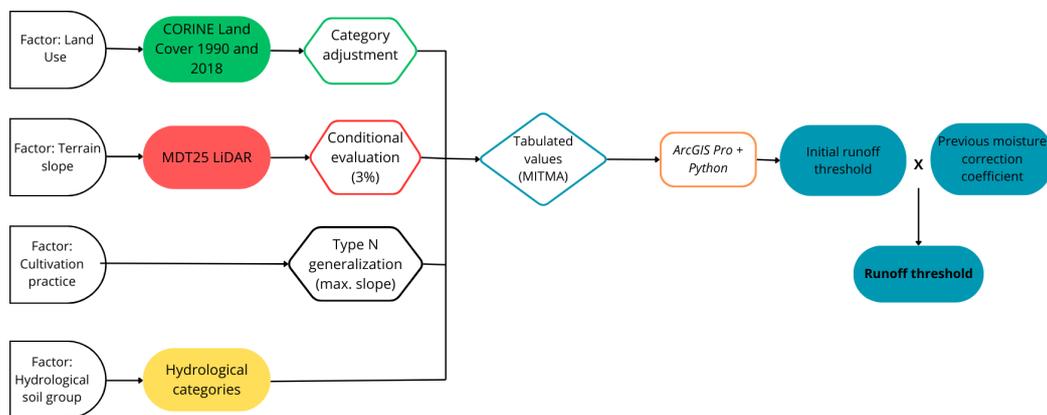
Table 3. Prior humidity conditions to determine the value of P_o

Plants in latent period	Plants in growth period	Previous humidity
< 13 mm	< 35 mm	Dry (I)
13 – 32 mm	35 – 52 mm	Normal (II)
> 32 mm	> 52 mm	Humid (III)

Source: Singh (1992). Own elaboration

The afore-mentioned method refers to the use of correction when procedures are applied to the data of real precipitations. However, if we wish to use statistically calculated rainfall, the Spanish Regulation 5.2-IC provides a specific correction based on the region and return period considered (Ministerio de Fomento, 2019). It is important to take into account that this correction is not appropriate for land without vegetation such as continuous urban land, and in these cases, it is recommended that it is not applied or that the lowest available threshold is used (type I).

Figure 3. Flow diagram of the methodology used to calculate the runoff threshold



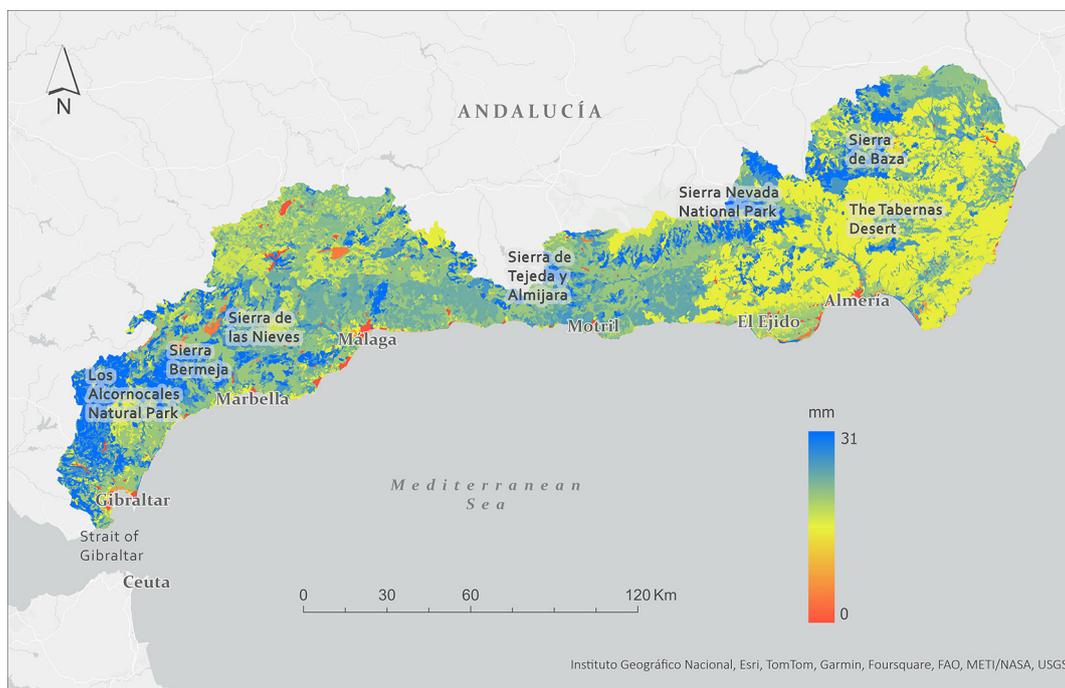
Own elaboration

3. Results

3.1. Average runoff threshold in 1990

The calculation of the average runoff threshold for 1990 obtained using an intermediate land humidity shows the highest values, close to 30-31 mm, in the western Andalusian sector (Los Alcornocales Natural Park, Sierra Bermeja or Sierra de las Nieves National Park), some unique mountains (Montes de Málaga, Sierra de Mijas) and in the Sierra Nevada (Figure 4), which corresponding to broad-leaved forests in the most westerly area of the CMA and coniferous forests in the rest. The small unique mountains are classified as broad-leaved, coniferous or mixed forests. On the contrary, the lowest values, except the water bodies with a zero threshold, are dominant in the eastern sector, where there are sparsely vegetated areas (The Tabernas Desert) and rainfed croplands and natural pastures to the north-west of Málaga (South and West of Antequera). The intermediate runoff values (15-17 mm) are found principally in the centre and far north-east of the area, where there are large areas of sclerophyllous vegetation, agricultural land with large natural vegetation spaces and some complex cultivation patterns.

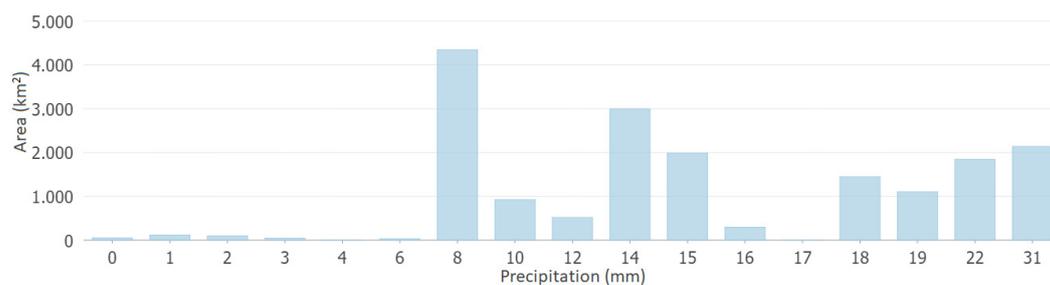
Figure 4. Runoff threshold of the year 1990 with an average prior soil humidity.



Own elaboration

The distribution of the runoff threshold of 1990 in the frequency histogram (Figure 5) shows a range between 31 and 0 mm of precipitation, with a mean value of 15.67 mm and a median of 14 mm. It should be noted that the most frequent runoff threshold is found in the lowest values (8 to 9 mm). This last threshold represents a combination of uses, including areas of discontinuous urban fabric, sparsely vegetated areas, natural pasture and areas under construction. In short, the infiltration capacity of the soils was greater where its level of protection went in the same direction. Finally, a moderate standard deviation of 7.33 can be observed, with a coefficient of variation of 46.74%, which is moderately high in comparison with the mean.

Figure 5. Frequency histogram of the runoff threshold of the year 1990 with intermediate prior soil humidity



Own elaboration

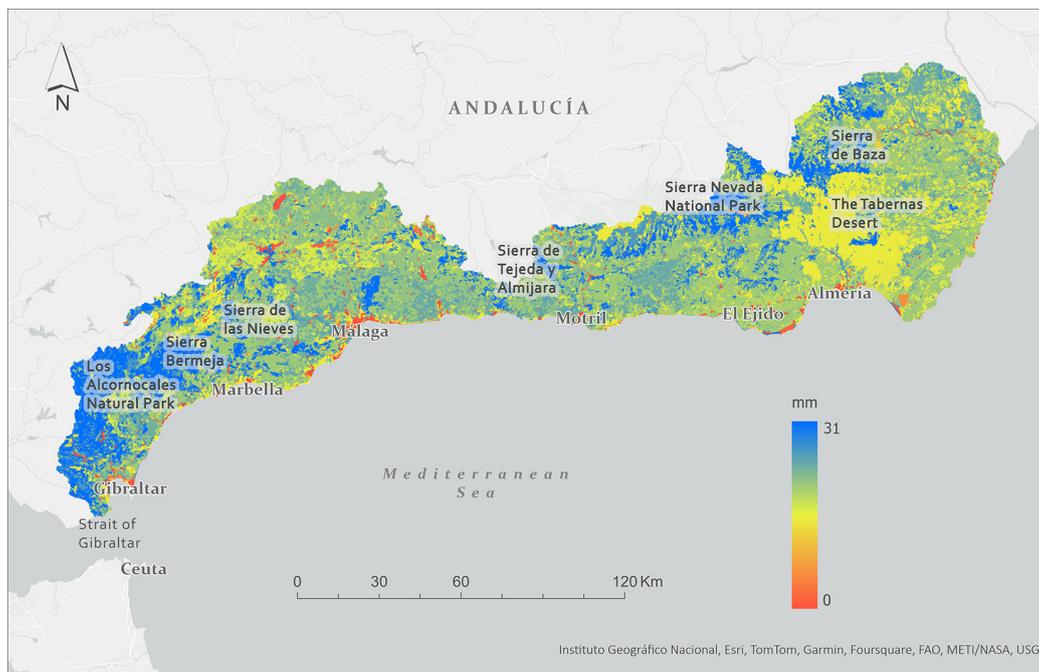
3.2. Runoff threshold in 2018

The mean runoff threshold in 2018 (Figure 6) exhibits changes with respect to the three preceding decades, with a notable reduction in the surface area with lower thresholds (in yellow), which are dominant in the eastern sector and in most of the province of Almería, marked in green tones, denoting a somewhat higher threshold. The land use is characterised by sparse sclerophyllous vegetation and a low spatial coverage with an area of more than 210 km².

The mean value of this threshold is determined in the interval of 14-15 mm and covers 28% of the area of the CMAs. This terrain is principally characterised by sparse sclerophyllous vegetation, olive groves and rainfed complex cultivation patterns and has a gradient of over 3%. It mostly belongs to hydrological group C, with a generally slow infiltration. The second most frequent interval is the 8-9 mm interval, with an occupancy percentage of 15.12% and is mainly composed of sparsely vegetated terrain and natural pastures, with a more significant influence in the eastern sector of the CMAs.

The interval with the highest water retention capacity before the runoff begins (30-31 mm) is still dominant in the western sector and in the land at a higher altitude (Sierra Nevada and Sierra de Baza Natural Parks). It covers 13.93% of the surface area and is formed, as in decades past, by forestry uses, including coniferous, broad-leaved and mixed forests, represented in blue tones (Figure 6). These have a greater influence in the most westerly sector, highlighting the differences in precipitation and temperature existing longitudinally along the whole of the Mediterranean side of Andalusia.

Figure 6. Runoff threshold of the year 2018 with an average prior soil humidity

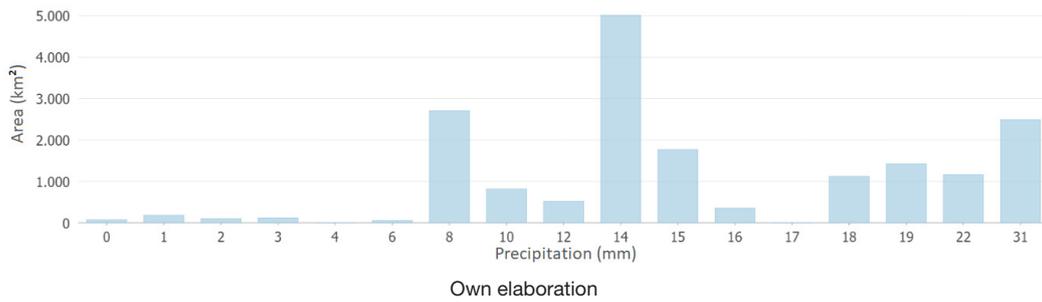


Own elaboration

Finally, the lowest values observed (< 8 mm), in orange tones in Figure 6, affect three different categories of land cover: natural and artificial water bodies, rock forms and mining areas and the land that has been strongly modified by human activity (continuous and discontinuous urban fabric, port areas, sporting spaces, airports, railway infrastructure and areas under construction). These latter sectors with a high percentage of impermeable land have high levels of runoff. In Figure 6 we can observe that this sealed land has a distribution that is on the whole parallel with the coastline or follows natural watercourses, in line with the pattern of the urban and tourism development of the Mediterranean coasts. The area occupied by this latter group affects 673.5 km² and the impact is particularly strong in the western sector of the CMAs (the coast of the province of Málaga).

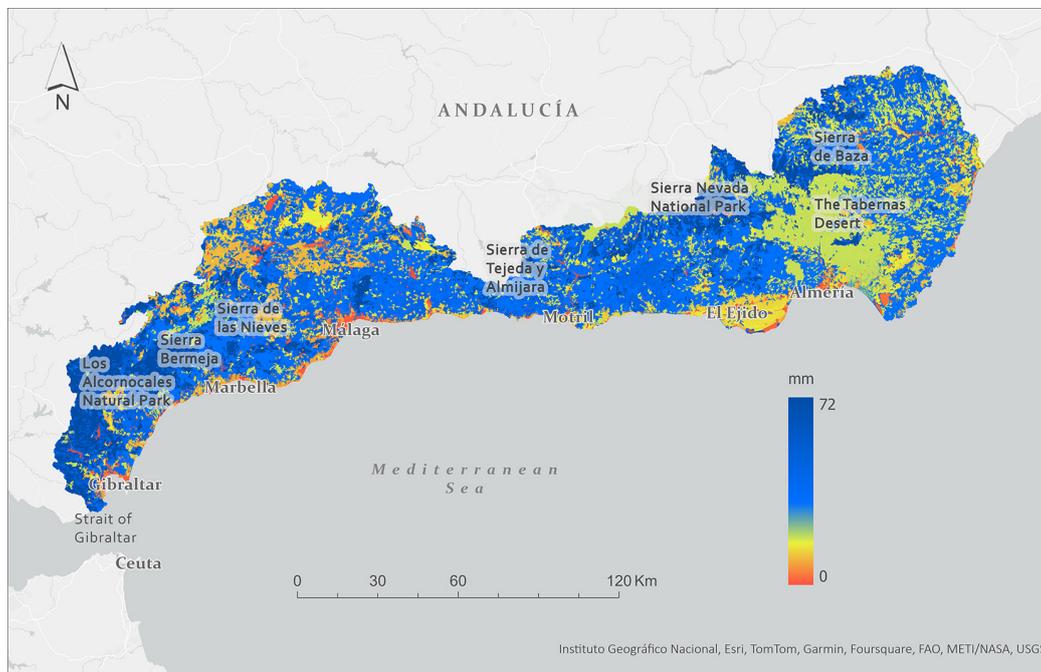
The frequency distribution of the mean runoff threshold in 2018 has the same precipitation range (0 and 31 mm), with an arithmetic mean of 16.17 mm, which constitutes a slight increase with respect to 1990. The standard deviation remains practically unchanged (7.31 mm), which indicates a moderate dispersion around the mean. Furthermore, the coefficient of variation of 45.2% shows a relative variability of the distribution in relation to the mean (Figure 7).

Figure 7. Frequency histogram of the runoff threshold of the year 2018 with an average prior soil humidity



On the other hand, when applying the correction factor of prior humidity β (low or “dry” land humidity) to 2018, we can appreciate that the distribution of the threshold remains almost constant, although there is a greater variability in certain terrains. Therefore, the water retention capacity of dry land (type I or with rainfall lower than 13 mm in the previous 5 days) increases to a value of 72 mm, with the maximum thresholds of the forest soils remaining unchanged (Figure 8).

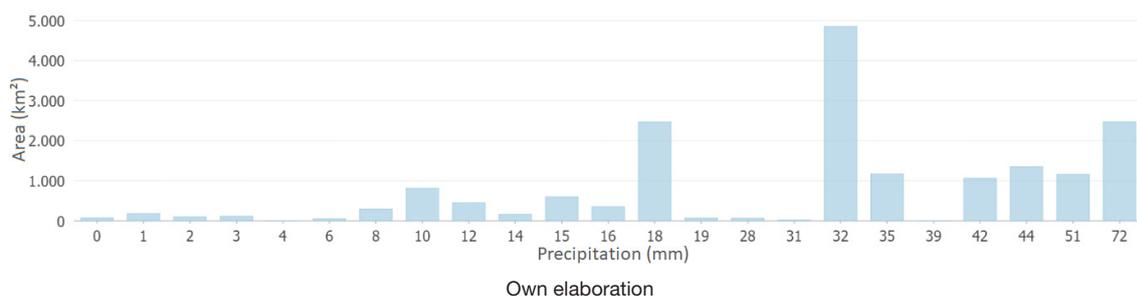
Figure 8. Runoff threshold of the year 2018 with a low prior soil humidity



Own elaboration

The histogram referring to 2018 in conditions of a low prior humidity (Figure 9) shows an arithmetic mean of 34.61 mm, which is more than double that of the precipitation necessary to initiate the runoff when the soil has an intermediate humidity. The standard deviation is also higher, as it increases to 19.2 mm, indicating a higher dispersion around the mean with respect to the threshold obtained with an intermediate humidity. Finally, the coefficient of variation increases to 56.11%.

Figure 9. Frequency histogram of the runoff threshold of the year 2018 with a low prior soil humidity



Own elaboration

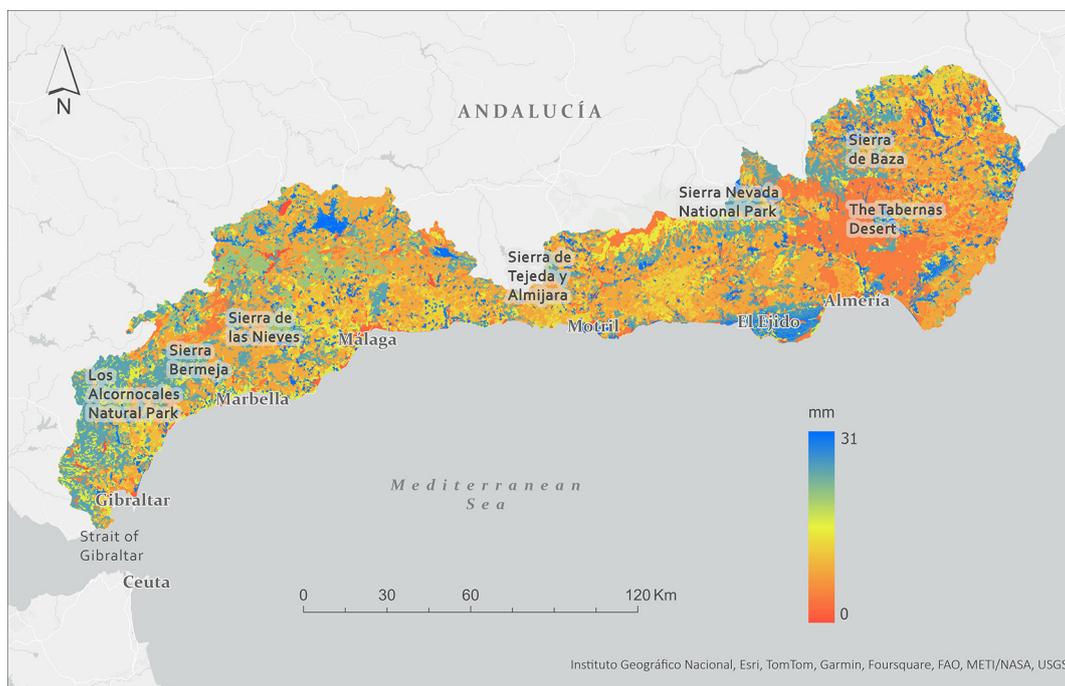
In the current scenario, due to the scarce rainfall, the most frequent runoff threshold is at 32-33, of rainfall, which represents an increase in the water capture of up to 18 mm on land with sclerophyllous vegetation.

It is important to point out that the forest soils have a higher threshold (up to 72 mm), which more than doubles the P_o in a situation of intermediate humidity. Furthermore, the moors, scrubland, meadows and fruit crops, which cover approximately 20% of the total area of the CMAs, have a P_o of between 40-50 mm.

On the other hand, the sparsely vegetated areas, which also occupy a considerable part of the terrain (4.5% of the area), experience a lower increase in their threshold, from 8 to 18 millimetres. This increase is lower in the case of sclerophyllous vegetation (18 mm) and considerably lower than in forest soils (41 mm).

Finally, the P_o in 2018 with a high prior soil humidity (type III) logically reduces considerably with respect to the value under normal humidity conditions (Figure 10). In the areas with latent vegetation, the runoff threshold range decreases to 21 mm. The forest terrain loses a water retention capacity of up to 19 mm and the sclerophyllous vegetation up to 10 mm, while sparsely vegetated areas only reduce their capacity by 6 mm.

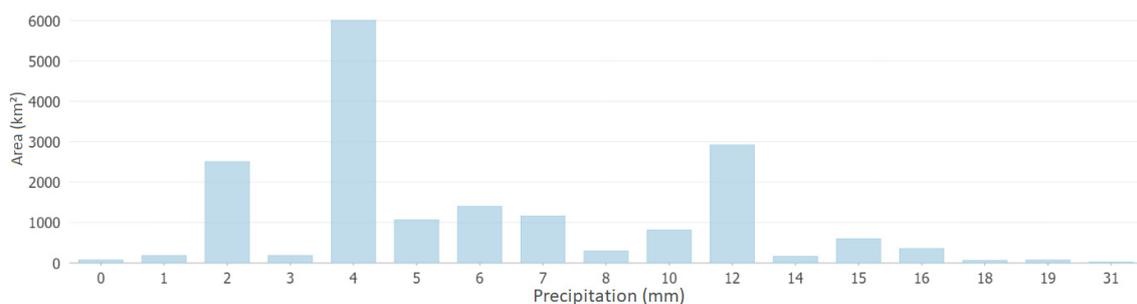
Figure 10. Runoff threshold of the year 2018 with a high prior soil humidity



Own elaboration

The frequency distribution for 2018 in high prior soil humidity conditions shows that the arithmetic mean reduces considerably to 6.55 mm of rainfall, the median decreases to 4 mm and the standard deviation to 4.2 (Figure 11). Finally, the coefficient of variation increases to the maximum value of the three distributions (64.42%). These latter two statistics indicate that, although the absolute variability of the P_o in conditions of low prior humidity is lower, the relative variability is higher than those detected in standard humidity conditions in 1990 and 2018.

Figure 11. Frequency histogram of the runoff threshold of the year 2018 with a high prior soil humidity



Own elaboration

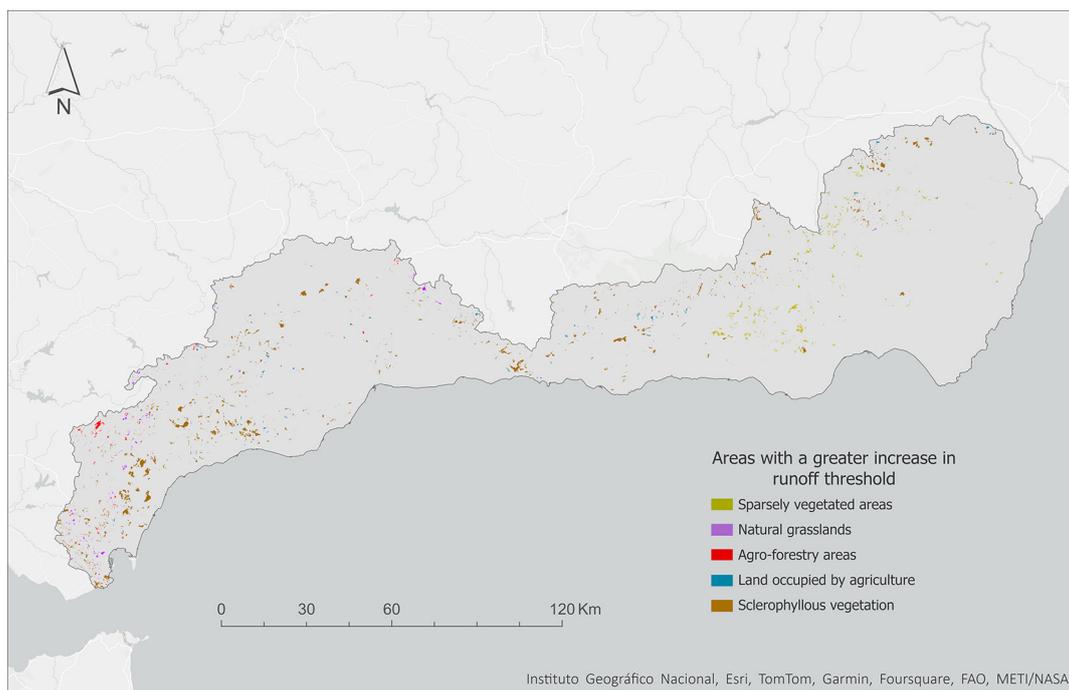
The most frequent runoff threshold is 4-5 mm of rainfall, characteristic of the sparse sclerophyllous vegetation, thin soil cover. On these terrains, we can observe a reduction in the water capture in a soil with an intermediate prior humidity of 10 mm of precipitation.

The complex cultivation patterns have the P_0 with the highest capacity in high prior humidity conditions, except for certain specific dune and sandy areas that record a level of 31 mm. Depending on the gradient of the terrain, in these areas we can observe a threshold of 15-19 mm. Moreover, it is important to note that the retention capacity of the natural forest terrains is reduced to 12-13 millilitres of precipitation.

3.3. Modifications in the runoff threshold between 1990 and 2018

The mean runoff thresholds in 1990 and 2018, in intermediate soil humidity conditions, reveal that 44.6% of the area has not experienced significant changes (Figures 4 and 6). On the contrary, the areas that have experienced the greatest increase in their thresholds are the forest terrains (Figure 12). It is important to note that the eastern sector of the CMAs is currently experiencing an increase in the runoff threshold of up to 6 millimetres with respect to 1990, mainly due to the modification of the spaces with sclerophyllous vegetation (10% of the total area) causing a modification in the hydrological pattern (Figure 12). Furthermore, another important runoff threshold increase is concentrated in the western sector, reaching up to 5 mm more than in 1990. These are areas of natural sclerophyllous vegetation that have been transformed into agricultural land, but conserve large areas of natural vegetation and pastures. In the central sector we can observe a transition from complex cultivation patterns to fruit crops. Finally, it should be noted that in the eastern sector, the sparsely vegetated areas have been transformed into permanently irrigated land. Together, these transitions represent approximately 4.76% of the total area.

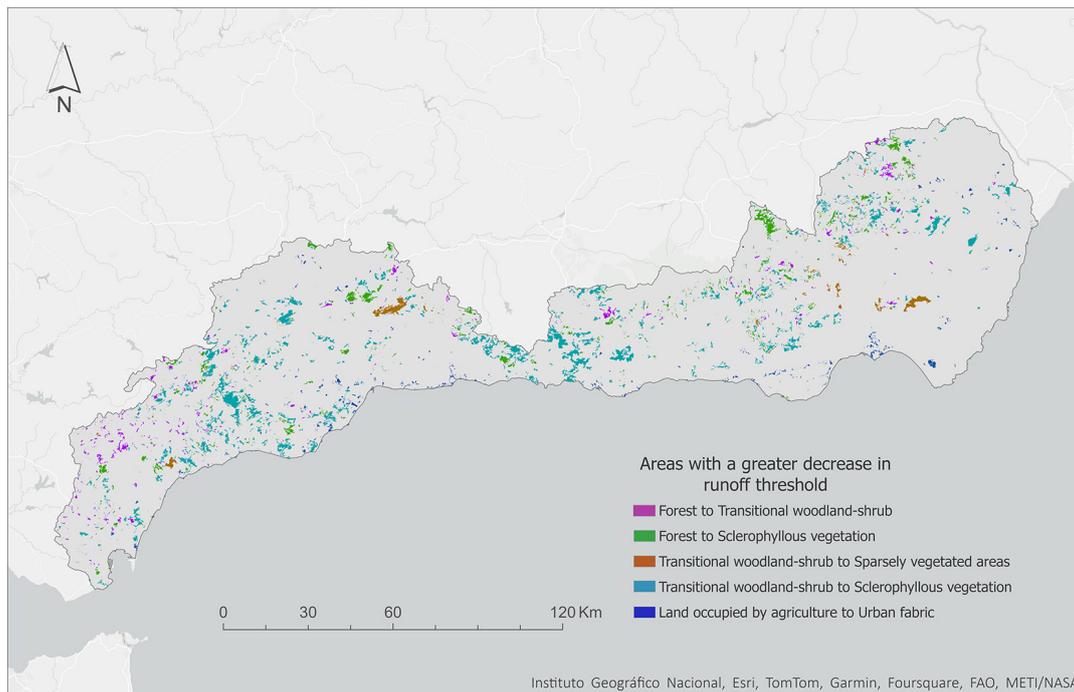
Figure 12. Areas in which the runoff threshold increased between 1990 and 2018



Own elaboration

Moreover, the areas where the P_0 (Figure 13) diminished account for 13% of the area with a broad interval of 2 to 8 mm in the threshold. This means that, currently, a less intense precipitation can potentially generate runoff as it exceeds the defined threshold. These areas correspond mainly to agricultural land that conserves large spaces of natural vegetation, located principally in the central and western sectors of the river basin and are made up of olive groves, vineyards, complex cultivation patterns, agro-forestry systems and sclerophyllous vegetation. It should be highlighted that approximately 3% of the area exhibits considerable losses in the runoff threshold, in an interval of 13 to 18 mm. They are distributed throughout the Mediterranean side of Andalusia analysed and correspond to transitions from broad-leaved, mixed or conifer forests to sclerophyllous vegetation and transitions from woodland scrub to sparsely vegetated areas and discontinuous urban fabric.

Figure 13. Areas in which the runoff threshold decreased between 1990 and 2018



Own elaboration

4. Discussion

When studying hydrological processes and, in particular, when calculating the runoff threshold, it is essential to understand the role of soil humidity as a key factor of the water cycle and soil loss. The soil humidity prior to precipitation determines the part of the rainfall that is prone to infiltrating into the soil and the amount that, as a result, can form part of the surface runoff process (Aubert et al., 2003). This study explores different modellings of the runoff threshold according to different soil humidity conditions and comparing different dates (1990 and 2018) between which considerable changes in the coverage and uses of the land have been found.

The maximum runoff thresholds occur at any date and humidity condition in the forest areas with a good soil cover, although the values change considerably between the two years. For 1990, the forest sectors (Sierra Bermeja or Sierra de las Nieves) recorded the maximum runoff threshold at 30-31 mm. These spaces provide a unique biological and ecosystemic service. They constitute a fundamental element in the regulation of the runoff processes, favouring infiltration, reducing the speed of the water film and, therefore, reducing the erosion dynamics (DeFries et al., 2010). Meanwhile, Martínez-Murillo and Senciales-González (2003) highlight the role of the protection entities in the conservation and regeneration of the territory in response to a dynamic of uses that has sometimes lacked adequate territorial planning. Therefore, the protected natural areas intensify their fundamental role in controlling the runoff and reducing the water-associated risks. Gallegos (2018) indicated the importance of Sierra Bermeja in Málaga for controlling the floods of the coastal area. Therefore, all of these areas record the highest values in the runoff threshold, where the volume of rainfall should be higher to activate these types of hydrological processes.

The areas with the minimum values correspond to the eastern sector (8-9 mm), with values similar to those estimated decades ago by Solé-Benet et al. (1996) for Almería. This is associated, first, with the rainfall patterns with climate conditions corresponding to arid and semi-arid conditions, where the soil protection by the vegetation coverage is very low and where there is clear evidence of soil degradation processes of the surface components (Sillero-Medina et al., 2020). Furthermore, the eco-geomorphological dynamics have led to a reduction in permeability, increasing the probability of crusting processes of the ground and decreasing the infiltration capacity of the soil (Pellegrini et al., 2018). This gives rise to a scenario marked by the presence of surface flow processes rather than infiltrating processes and the most evident manifestation of this can be found in the fact that up to 70% of fluvial networks in south-east Spain are wadis (Gómez et al., 2005).

For 2018, the most notable is the considerable growth in anthropogenic and sealed areas, affecting 673 km², which is a direct response to the major development of coastal areas in Andalusia (Requejo Liberal, 2002;

Ojeda Zújar & Villar Lama, 2007, Pascual-Aguilar, 2004) and has been clearly identified in the large current reduction of the runoff threshold.

The role of soil humidity prior to a precipitation event is also an important factor in calculating the P_0 (Aubert et al., 2003) for the year 2018, with the variations occurring when the prior soil humidity is low or high. It is still the forest environment where in conditions of low humidity, the runoff threshold is higher and where there is a higher growth with respect to an average level of humidity ($P_0 = 72$ mm), indicating a better water management by the soil. These areas where the soils have a greater content of organic material and a better structure also have a higher water retention capacity and an optimum infiltration (Sillero-Medina et al., 2020).

In short, this variability in the runoff thresholds associated with the previous soil humidity, defined at a spatial resolution of 25 m² as in the case of this study, is highly interesting for monitoring the hydrological state of the soil, constituting a fundamental strategy in hydrological planning processes. Furthermore, from the point of view of the management and prevention of environmental risk, it is equally important to understand the soil humidity prior to a precipitation event and its P_0 , as it is a fundamental variable for warning about possible floods (Norbiato et al., 2008).

The results related to the modifications in the runoff threshold identified between 1990 and 2018 show major spatial differences for the area of study, with a clear contrast between the western and eastern sectors of the CMAs in line with the longitudinal rainfall gradient of this Mediterranean sector, but with a disparate incidence depending on the changes in the land coverage. This dynamic and temporal analysis emphasises the need to identify trends in the runoff processes, to serve as a base for designing action measures focused on hydrological management (Camarasa-Belmonte et al., 2018). Therefore, for this study, in the area with the most humid conditions (western sector), there is an increase in this threshold while, on the contrary, arid and semi-arid conditions denote a sharper decrease in the values corresponding to the runoff threshold. This fact is wholly associated with the dynamics of the eco-geomorphological system identified in Sillero-Medina et al. (2020), in which a favourable vegetation coverage trend is identified in the area with sub-humid climate conditions. On the other hand, in areas conditioned by Mediterranean characteristics more related to aridity, Ruiz-Sinoga and Martínez-Murillo (2012) identify erosion, sealing and soil degradation processes, with a considerable increase in the runoff as a result of the changes in the land uses from the second half of the twentieth century. During this period, a major landscape transformation has taken place in the Andalusian Mediterranean area, reflected in the results of Figures 10 and 11. On the one hand, from an agricultural perspective, the transformations of large areas of rainfed crop land into irrigated land have been identified (Cerdà et al., 2007) and there has been a continuous exodus from the countryside, with different responses of each territory depending on the climate conditions (López García et al., 2007; Romero-Díaz et al., 2017). We can observe how in the western region, the P_0 increased as a result of the revegetation of former agricultural and agro-forestry areas, in contrast with the most easterly area, where the degree of vegetation cover has decreased (Figure 11). Along the same lines, there has been an intense sealing processes of the ground due to the major urban expansion processes in different areas (Montanarella, 2007; Pascual & López, 2016), which are shown in yellow in Figure 13, particularly along the coastal strip. Malvárez (2012) and Molina et al. (2019) highlight the extraordinary urban development of the Andalusian Mediterranean coast as one of the fastest in Spain and Europe, specifically on the Costa del Sol (Málaga), where urban development is again more focused on the financial feasibility and profit in detriment to the environment and with no consideration to the quality of the soils (García & Pérez, 2016).

All of this is generating a new scenario of hydrological responses, which, according to the results of this study, reflects the predominance of lower runoff thresholds and, consequently, an increase in the soil erosion processes. In other words, an increase in the hazard and risk factors related to surface runoff processes (De Graaff et al., 2013; Camarasa-Belmonte et al., 2020).

In short, the calculation of the P_0 under the paradigm of the current Mediterranean territorial dynamics could be an efficient management tool. This is particularly relevant within a context of climate crisis, in which the rainfall pattern is displaying a greater concentration and intensity of precipitation events (IPCC, 2021). This same report states that the probability of extreme weather events, such as the serious urban floods, has increased significantly in the twenty-first century.

The current reality in the Mediterranean area has led to the elaboration of these types of studies. In sectors such as the eastern half of the CMA, with a reduction in the runoff threshold, the concentration in time of precipitation, its erosive nature and the scarce soil protection are giving rise to erosive events, with sudden runoffs and floods. This often alternates with long periods of drought, generating a scenario of uncertainty with respect to water management (Benhamrouche, 2014).

5. Conclusions

The space-time variability of the runoff threshold in the Cordilleras Béticas Litorales (or Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, according to its administrative name), has revealed clear differences related to the different land uses, associated with the longitudinal pluviometric gradient observed throughout the territory. First, it is directly related to the characteristics of the eco-geomorphological system in which the greater presence of vegetation cover with higher quality soils favours the infiltration processes and, therefore, reduces the occurrence of surface flows.

The land uses for which the highest values are recorded in any year correspond to forest areas, highlighting the role of the protected natural areas. In conditions of standard humidity, the soil has a water retention capacity prior to the beginning of a precipitation event that is close to 31 mm and reaches up to 72 mm if the ground is dry. On the contrary, the uses most sensitive to runoff processes are those associated with sparsely vegetated and sealed areas, particularly rainfed agricultural areas, where a runoff threshold of barely 8-9 mm is reached.

The dynamics of land uses identified in recent decades have given rise to a significant modification of the values corresponding to the runoff threshold. The western area has followed a trend towards an increase in the runoff threshold, in which an increase in vegetation cover has been detected, principally in abandoned farming areas. Currently, these forest sectors have a variable runoff threshold from dry soil prior conditions at around 28-72 mm of rainfall to humid soil prior conditions with a threshold of 25-31 mm. However, in the former forest areas that are currently occupied by sclerophyllous vegetation, the threshold has reduced to 17 mm, which affects 229.1 km². In the most arid and semi-arid sectors, the situation is different and the threshold rarely exceeds 5 mm. The fragility of these areas makes it more difficult to re-vegetate the abandoned areas, which are subject to erosion and degradation processes and where the runoff threshold is reducing.

Finally, from a water management and environmental risk assessment point of view, we must emphasise the role of the sealed areas, given that significant growth has been detected in these spaces in detriment to agricultural land, with losses in their threshold of 14 mm of rainfall in an area of 97.1 km². Their evaluation from a territorial planning perspective is essential so as to reduce risks based on the implementation of action measures.

Financing

This study has been conducted within the framework of two research projects “Monitoreo y simulación del estado hidrológico del suelo - MOISES” (Monitoring and simulation of the hydrological state of the soil - MOISES) (PDC2021-120768-I00) financed by the Spanish Ministry of Science and Innovation and “Efecto de los cambios de uso del suelo en la dinámica eco-geomorfológica en ambientes mediterráneos, a diferentes escalas, en el contexto de Cambio Global (ECUDES)” (Effect of the changes in land use in the eco-geomorphological dynamics in Mediterranean areas on different scales, in the context of Global Change (ECUDES)) (PID2019-104046RB-100) financed by the Spanish Ministry of Science and Innovation. Moreover, part of this research has been possible thanks to the finance obtained from the Universidad de Málaga, through the 1st Research Transfer and Scientific Dissemination Plan.

References

- Asmar, N.F., Sim, J.O., Ghodieh, A., & Fauzi, R. (2021). Effect of Land use/Land Cover changes on estimated potential runoff in the Nablus mountains watersheds of Palestine: A Case study. *Journal Indian Soc Remote Sens*, 49, 1067–1080. <https://doi.org/10.1007/s12524-020-01278-2>
- Aubert, D., Loumagne, C., & Oudin, L. (2003). Sequential assimilation of soil moisture and streamflow data in a conceptual rainfall-runoff model. *J. Hydrol.*, 280, 145–161. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00229-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00229-4)
- Benhamrouche, A. (2014). *Análisis de la concentración diaria de la precipitación en la cuenca del Mediterráneo Occidental* [Doctoral thesis, Universidad de Barcelona]. TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). <http://hdl.handle.net/10803/286832>
- Bravo Peña, LC., Reyes Gómez, VM., Moreno Murrieta, RL., Alatorre Cejudo, LC., Torres Olave, ME., Granados Olivas, A., & Fuentes Hernández, HA. (2020). Cambios del uso del suelo e impactos en la escorrentía potencial de la cuenca Chuvistar-Sacramento (Chihuahua, México). Modelización con el método de Número de Curva. *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 26, 69–91. <http://dx.doi.org/10.21138/GF.669>
- Calvo-Cases, A., Arnau-Rosalén, E., Boix-Fayos, C., Estrany, J., Roxo, M.J., & Symeonakis, E. (2021). Eco-geomorphological connectivity and coupling interactions at hillslope scale in drylands: Concepts and critical examples. *Journal of Arid Environments*, 186, 104418. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104418>
- Camarasa-Belmonte, A.M., López-García, M.J., & Pascual, J.A. (2006). Análisis mediante SIG de los parámetros de producción de escorrentía. In *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas* (pp. 46-63). Universidad de Granada.
- Camarasa-Belmonte, A. M., Caballero López, M. P., & Iranzo García, E. (2018). Cambios de uso del suelo, producción de escorrentía y pérdida de suelo. Sinergias y compensaciones en una rambla mediterránea (Barranc del Carraixet, 1956–2011). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 78, 127–153. <http://dx.doi.org/10.21138/bage.2714>
- Camarasa-Belmonte, A. M. C., Rubio, M., & Salas, J. (2020). Rainfall events and climate change in Mediterranean environments: An alarming shift from resource to risk in eastern Spain. *Natural Hazards*, 103(1), 423-445. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03994-x>
- Campón, L.F., Rosado, E.Q., & Durán-Barroso, P. (2015). Análisis de la variabilidad en la estimación del umbral de escorrentía en función de las distintas fuentes de información disponibles. Proc., *IV Jornadas de Ingeniería del Agua*, 10. [https://www.researchgate.net/publication/283548050 Analisis de la variabilidad en la estimacion del umbral de escorrentia en funcion de las distintas fuentes de informacion disponibles](https://www.researchgate.net/publication/283548050_Analisis_de_la_variabilidad_en_la_estimacion_del_umbral_de_escorrentia_en_funcion_de_las_distintas_fuentes_de_informacion_disponibles)
- Centro Nacional de Información Geográfica. (s.f.). Centro Nacional de Información Geográfica. <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>
- Cerdá, A., Bodí, M., & Hevilla-Cucarella, E. B. (2007). Erosión del suelo en plantaciones de cítricos en laderas. Valle del Riu Canyoles, Valencia. *Agroecología*, 2, 85–91. <http://revistas.um.es/agroecologia/article/view/11981>
- Cerdá, A., Lucas-Borja, M. E., Franch-Pardo, I., Úbeda, X., Novara, A., López-Vicente, M., & Pulido, M. (2021). The role of plant species on runoff and soil erosion in a Mediterranean shrubland. *Science of the Total Environment*, 799. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149218>
- Daneshi, A., Brouwer, R., Najafinejad, A., Panahi, M., Zarandian, A., & Maghsood, F.F. (2021). Modelling the impacts of climate and land use change on water security in a semi-arid forested watershed using InVEST. *Journal of Hydrology*, 593, 125621, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125621>
- De Graaff, J., Aklilu, A., Ouessar, M., Asins, V. S., & Kessler, A. (2013). The development of soil and water conservation policies and practices in five selected countries from 1960 to 2010. *Land Use Policy*, 32, 165–174. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.10.018>
- DeFries, R. S., Rudel, T., Uriarte, M., & Hansen, M. (2010). Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty first century. *Nature*, 3, 178–181. <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo756>

- European Court of Auditors (ECA). (2018). *Combating desertification in the EU: a growing threat in need of more action*. <https://www.eca.europa.eu/en/Pages/DocItem.aspx?did=48393>
- Junta de Andalucía (2019). Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE).
- Ferrer, F.J. (1993). *Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas*. CEDEX, Ministerio de Fomento.
- Gallegos, A. (2018). *Caracterización y análisis de los riesgos naturales en el planeamiento urbanístico del litoral mediterráneo español*. Ed. Universidad de Málaga.
- García, P., & Pérez, E. (2016). Mapping of soil sealing by vegetation indexes and built-up index: A case study in Madrid (Spain). *Geoderma*, 268, 100-107. 28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.012>
- Gómez, R., Hurtado, I., Suárez, M. L., & Vidal-Abarca, M. R. (2005). Ramblas in south-east Spain: threatened and valuable ecosystems. *Aquatic Conservation*, 15, 387-402. <http://dx.doi.org/10.1002/aqc.680>
- Hundecha, Y., & Bárdossy, A. (2004). Modeling of the effect of land use changes on the runoff generation of a river basin through parameter regionalization of a watershed model. *Journal of Hydrology*, 292(1-4), 281-295. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.01.002>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf
- López García, M. J., Camarasa Belmonte, A. M., & Mateu Bellés, J. F. (2007). Cambios en los usos del suelo y producción de escorrentía en ramblas mediterráneas: Carraixet y Poyo (1956-1998). *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, 44.
- Lucas-Borja, M. E., Plaza-Álvarez, P., Gonzalez-Romero, J., Sagra, J., Alfaro-Sánchez, R., Zema, D., Moya, D., & De Las Heras, J. (2019). Short-term effects of prescribed burning in Mediterranean pine plantations on surface runoff, soil erosion and water quality of runoff. *Science of The Total Environment*, 674, 615-622. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.114>
- Malvárez, G.C. (2012). The history of shoreline stabilization on the Spanish Costa del Sol. In *Pitfalls of Shoreline Stabilization* (pp. 235-249). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4123-2_14
- Martínez-Murillo, J.F., & Senciales-González, J.M. (2003). Morfogénesis y procesos edáficos. El caso de los Montes de Málaga. *Baetica*, 25, 219-257.
- Martínez-Murillo, J.F., & Ruiz-Sinoga, J.D. (2006). Variaciones estacionales en la generación de escorrentía y emisión de sedimentos en una ladera de los Montes de Málaga (provincia de Málaga). *Baetica*, 1(28), 435-465. <https://doi.org/10.24310/baetica.2006.v1i28.268>
- Meléndez-Pastor, I., Almendro-Candel, M.B., Navarro-Pedreño, J., Gómez I., Lillo, M.G., & Hernández, E.I. (2013). Monitoring Urban Wastewaters' Characteristics by Visible and Short Wave Near-Infrared Spectroscopy. *Water*, 5(4), 2026-2036. <https://doi.org/10.3390/w5042026>
- Minasny, B., Malone, B.P., McBratney, A.B., Angers, D.A., Arrouays, D., Chambers, A., Chaplot, V., Chen, Z.S., Cheng, K., Das, B.S., & Field, D.J. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292, 59-86. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>
- Ministerio de Fomento (2016). *Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la norma 5.2 - IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras*. BOE núm. 60 de 10 de Marzo de 2016.
- Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras. (2019). *Norma 5.2-IC de la Instrucción de Carreteras. Drenaje superficial (1º Edición electrónica: noviembre 2019)*. <https://cvp.mitma.gob.es/downloadcustom/sample/1384> (Obra original publicada 2016).
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (s.f.). *Infraestructura de Datos Espaciales de España IDEE*.
- Molina, R., Anfuso, G., Manno, G., & Gracia-Prieto, F. J. (2019). The Mediterranean Coast of Andalusia (Spain): Medium-Term Evolution and Impacts of Coastal Structures. *Sustainability*, 11(13), 3539. <https://doi.org/10.3390/su11133539>

- Montanarella, L. (2007). Trends in Land Degradation in Europe. In Sivakumar, M.V.K., Ndiang'ui, N. (eds) *Climate and Land Degradation. Environmental Science and Engineering*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-72438-4_5
- Montanarella, L., & Panagos, P. (2021). The relevance of sustainable soil management within the European green Deal. *Land Use Policy*, 100, 104950. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104950>
- Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU). (1990). Orden de 14 de mayo de 1990, por la que se aprueba la instrucción de carreteras 5.2-IC "Drenaje superficial". BOE núm. 123, de 23 de mayo de 1990.
- Nadal-Romero, E., Khorchani, M., Lasanta, T., & Beguería, S. (2019). Runoff and Solute Outputs under Different Land Uses: Long-Term Results from a Mediterranean Mountain Experimental Station. *Water*, 11(5), 976. <https://doi.org/10.3390/w11050976>
- Norbiato, D., Borga, M., Esposti, S. D., Gaumé, É., & Anquetin, S. (2008). Flash flood warning Based on rainfall thresholds and soil moisture Conditions: An assessment for gauged and ungauged basins. *Journal of Hydrology*, 362(3-4), 274-290. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.08.023>
- Ojeda Zújar, J., & Villar Lama, A. (2007). Evolución del suelo urbano/alterado en el litoral de Andalucía. *GeoFocus*, 7, 73-99.
- Olcina Cantos, J. (2017). Incremento de episodios de inundación por lluvias de intensidad horaria en el sector central del litoral mediterráneo español: análisis de tendencias en Alicante. *Sémata. Ciencias Sociais e Humanidades*, 29, 143-163. <https://doi.org/10.15304/s.29.4213>
- Panagos, P., Montanarella, L., Barbero, M., Schneegans, A., Aguglia, L. & Jones, A. (2022). Soil priorities in the European Union. *Geoderma Regional*, 29, e00510. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00510>
- Pascual-Aguilar, J.A. (2004). Dinámica reciente de usos del suelo en el continuo metropolitano de Valencia (1956-1998). *Cuadernos de Geografía*, 76, 183-202.
- Pascual, J. A., & López, M. J. (2016). Cambios recientes en los usos del suelo y sus implicaciones ambientales. In J. F. Mateu (Coord.), *El territorio valenciano. Transformaciones ambientales y antrópicas* (pp. 17-20). Universitat de València.
- Pellegrini, S., Agnelli, A.E., Andrenelli, M.C., Barbetti, R., Lo Papa, G., Priori, S., & Costantini, E.A.C. (2018). Using present and past climosequences to estimate soil organic carbon and related physical quality indicators under future climatic conditions. *Agr. Ecosys. Environ*, 266, 17-30. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.015>
- Puigdefábregas, J. (2005), The role of vegetation patterns in structuring runoff and sediment fluxes in drylands. *Earth Surf. Process. Landforms*, 30, 133-147. <https://doi.org/10.1002/esp.1181>
- Requejo Liberal, J. (2002). La segunda residencia lanza una OPA sobre el litoral andaluz. Una grave amenaza sobre el modelo de ordenación territorial para el litoral. In *III Congreso Internacional de Ordenación del Territorio*. Asociación Fundicot.
- Romero-Díaz, A., Ruiz-Sinoga, J.D., Robledano-Aymerich, F., Brevik, E.C., & Cerda, A. (2017). Ecosystem responses to land abandonment in Western Mediterranean Mountains. *Catena*, 149, 824-835. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.08.013>
- Ruiz-Sinoga, J. D., & Martínez-Murillo, J. F. (2012). Respuesta eco-hidrológica de los suelos en campos abandonados (Sur de España). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 38(2), 31-51. <https://doi.org/10.18172/cig.1281>
- Ruiz Sinoga, J. D., Romero Díaz, A., Martínez Murillo, J. F., & Gabarrón Galeote, M. A. (2015). Incidencia de la dinámica pluviométrica en la degradación del suelo. Sur de España. *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, (68). <https://doi.org/10.21138/bage.1858>
- Sillero-Medina, J.A., Hueso-González, P., & Ruiz-Sinoga, J.D. (2019). La precipitación geomorfológica como elemento clave en el modelado del paisaje mediterráneo. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 82, 2780, 1-40. <https://doi.org/10.21138/bage.2780>
- Sillero-Medina, J.A., Pérez-González, M.E., Martínez-Murillo, J.F., & Ruiz-Sinoga, J.D. (2020). Factors affecting eco-geomorphological dynamics in two contrasting Mediterranean environments. *Geomorphology*, 82, 2780. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106996>

- Sillero-Medina, J.A., Rodrigo-Comino, J., & Ruiz-Sinoga, J.D. (2021). Factors determining the soil available water during the last two decades (1997–2019) in southern Spain. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1971. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-021-08265-y>
- Singh, V.P. (1992). *Elementary Hydrology*. Prentice Hall, 973.
- Soil Conservation Service (SCS). (1956). *National engineering handbook*. Supplement A, Section 4, Chapter 10.
- Solé-Benet, A., Vidal, S., Gutiérrez, L., Lázaro, R., & Puigdefábregas, J. (1996). Respuesta hidrológica de una ladera sobre micasquistos en Almería. In *IV Simposio sobre el Agua en Andalucía: Almería, diciembre 1996 (Vol. 1, p. 181)*. IGME.
- Viramontes-Olivas, O. A., Reyes-Gómez, V. M., Rangel-Rodríguez, A., Ortega-Ochoa, C., Soto-Cruz, R. A., Camarillo, J. A., & Lebgue-Keleng, T. (2012). Papel hidrológico-ambiental de pastizales nativos e introducidos en la cuenca alta del río Chuvíscar, Chihuahua, México. *TECNOCENCIA Chihuahua*, 6(3), 181-193.
- Xie, K., Liu, P., Zhang, J., Han, D., Wang, G., & Shen, C. (2021). Physics-guided deep learning for rainfall-runoff modeling by considering extreme events and monotonic relationships. *Journal of Hydrology*, 603, 127043. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127043>
- Zhang, X., Liu, P., Zhao, Y., Deng, C., Li, Z., & Xiong, M. (2018). Error correction-based forecasting of reservoir water levels: Improving accuracy over multiple lead times. *Environmental Modelling & Software*, 104, 27–39. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.02.017>

Farmers' perception on climate change, soil erosion and adaptation strategies in small rural communities of Mali: case study of the rural municipality of Méguétan

Percepción de los agricultores sobre el cambio climático, la erosión del suelo y las estrategias de adaptación en las pequeñas comunidades rurales de Mali: estudio de caso del municipio rural de Méguétan

AUTHORSHIP

Mahamadou Lamine

Katilé 

West African Science Service Center on Climate Change and Adapted Land Use (WASCAL), Mali.

Aboubakar Bengaly 

Rural Polytechnic Institute for Applied Research and Training (IPR/IFRA) of Katibougou, Mali.

Souleymane Sidi Traoré 

University of Social Sciences and Management of Bamako (USSGB), Mali.

Jesús Rodrigo-Comino 

Department of Regional Geographical Analysis and Physical Geography, Faculty of Philosophy and Letters, Cartuja university campus, University of Granada, 18071 Granada, Spain.

DOI

<https://doi.org/10.14198/INGEO.26589>

CITATION

Katilé, M.L., Bengaly, A., Traoré, S.S., & Rodrigo-Comino, J., (2024). Farmers' perception on climate change, soil erosion and adaptation strategies in small rural communities of Mali: case study of the rural municipality of Méguétan. *Investigaciones Geográficas*, (82), 43-61. <https://doi.org/10.14198/INGEO.26589>

CORRESPONDENCE

Jesús Rodrigo-Comino (jesusrc@ugr.es)

HISTORY

Received: 12 December 2023

Accepted: 20 June 2024

Published: 10 July 2024

TERMS

© Mahamadou Lamine Katilé, Aboubakar Bengaly, Souleymane Sidi Traoré, Jesús Rodrigo-Comino

 This work is published under a license [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Abstract

The impacts of climate change and soil erosion are significantly affecting agriculture in non-developed countries. In Mali, a country located in Western Africa, there is a drastic reduction in available fertile arable lands and water scarcity, which is damaging rural communities and affecting the development of vital infrastructures, consequently, decreasing people's incomes. There is a lack of information about the perception of these challenges among the small rural communities and the possible adaptation strategies can be applied. Therefore, the main aim of this study was to determine local farmer perceptions of climate change, soil erosion, and adaptation strategies conducting a survey among 200 farmers in 10 villages within the rural municipality of Méguétan, serving as a representative study case. Our results showed that farmers are aware of the challenges related to climate change and soil erosion and are willing to adopt some measures but conditioned by a range of traditional techniques. The most common strategies are: changing the sowing calendar, diversifying crops, using resistant varieties, having an alternative income, and following weather forecasts on the radio. Stone rows remain the most widely adopted technique to reduce soil erosion, with a knowledge rate of 88% and an application about 29%. The study also highlighted the increasing vulnerability of farmers to climate change and soil erosion due to insufficient material and financial resources. We conclude policies should pay attention to services and partners that invest more funds in technical assistance to strengthen adaptation strategies and teach the population, considering nature-based solutions.

Keywords: climate change; soil degradation; land management; regional studies; adaptation strategies; Méguétan.

Resumen

Los efectos del cambio climático y la erosión del suelo están afectando considerablemente a la agricultura de los países no desarrollados. En Mali, país situado en África Occidental, se está produciendo una drástica reducción de las tierras cultivables fértiles disponibles y escasez de agua, lo que está perjudicando a las comunidades rurales y afectando al desarrollo de infraestructuras vitales, disminuyendo en consecuencia los ingresos de la población. Existe una falta de información sobre la percepción de estos retos entre las pequeñas comunidades rurales y las posibles estrategias de adaptación que se pueden aplicar. Por lo

tanto, el objetivo principal de este estudio era determinar las percepciones de los agricultores locales sobre el cambio climático, la erosión del suelo y las estrategias de adaptación realizando una encuesta entre 200 agricultores de 10 aldeas del municipio rural de Méguétan, que sirve como caso de estudio representativo. Nuestros resultados mostraron que los agricultores son conscientes de los retos relacionados con el cambio climático y la erosión del suelo y están dispuestos a adoptar algunas medidas, pero condicionadas por una serie de técnicas tradicionales. Las estrategias más comunes son: cambiar el calendario de siembra, diversificar los cultivos, utilizar variedades resistentes, disponer de ingresos alternativos y seguir las previsiones meteorológicas en la radio. Los terraplenes de piedra siguen siendo la técnica más adoptada para reducir la erosión del suelo, con un índice de conocimiento del 88% y una aplicación en torno al 29%. El estudio también puso de manifiesto la creciente vulnerabilidad de los agricultores al cambio climático y a la erosión del suelo debido a la insuficiencia de recursos materiales y financieros. Concluimos que las políticas deberían prestar atención a los servicios y socios que invierten más fondos en asistencia técnica para reforzar las estrategias de adaptación y enseñar a la población, teniendo en cuenta soluciones basadas en la naturaleza.

Palabras clave: cambio climático; degradación del suelo; gestión de la tierra; estudios regionales; estrategias de adaptación; Méguétan.

1. Introduction

During his interview on TV5monde in September 2022, Professor Youba Sokona, the Vice-Chairman of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), emphasized that the African continent remains highly vulnerable to global warming (“L’Afrique et le changement climatique,” 2021). Rural inhabitants in Africa between the ages of thirty and forty are particularly vulnerable because they are already experiencing the effects of climate change firsthand, such as the spread of arid zones, desertification, heat waves, floods, and more frequent tropical storms (“L’Afrique et le changement climatique,” 2021).

Mali, like all countries in West Africa, is no exception to these challenges. Mali’s economy is predominantly reliant on the primary sector, with agriculture contributing to over 45% of its Gross Domestic Product and supporting 80% of the population’s livelihoods (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2017; Ministère de l’Environnement de l’Assainissement et du Développement Durable [MEADD], 2020). However, the country faces significant climate-related risks as it heavily relies on agricultural practices carried out on poor and fragile soils (Ministère de l’Agriculture, 2013; Coulibaly & Sissoko, 2021). Approximately 80% of the population is directly or indirectly dependent on agricultural activities. Consequently, the agricultural sector plays a vital role in driving economic growth and ensuring food security in Mali (Ministère de l’Agriculture, 2013), accounting for 3.6% of the average growth rate (Weisz et al., 2014). Even in urban areas, a substantial proportion of the population is engaged in agriculture (Bélières et al., 2014).

The agricultural sector is encountering numerous difficulties, including climatic factors linked to highly variable weather conditions, political instability (such as unfavorable positions in international trade, etc.) and socio-economic challenges (like demographic pressure, intense urban sprawl, soil sealing, etc.) (Sangaré, 2018). Climate change is expected to have a range of adverse effects on agriculture, and these impacts are projected to increase significantly in the near future, leading to a rapid escalation of pressures on agricultural systems and ecosystem services (Bocci & Smanis, 2019). For instance, according to the United Nations Environment Programme (UNEP), Mali could witness a 30% drop in cereal yields by 2040 (Kwasi et al., 2019). The projected 2°C rise in temperature above pre-industrial levels is highly likely to reduce millet, sorghum, (two of the most crucial crops for food security) by a quarter by 2080 (Kwasi et al., 2019).

In Mali, soil degradation due to erosion (which varies in space and time (Mounirou et al., 2022)) has become significant and worrying as in the whole of the Sudano-Sahelian zone of West Africa (Touré et al., 2020). It is prevalent and leads to an enduring environmental and humanitarian crisis. Agricultural land is subjected to immense degradation and the loss of important soil nutrients due to soil erosion (Bengaly, 2009; Sanogo et al., 2023). The highest soil erosion rates are registered in agricultural fields, resulting in a reduction in agricultural land and a loss of nutrients that are useful for plant growth (Sanogo et al., 2023). The growing demand for food production coupled with the lack of knowledge about the limiting attributes of soils induce soil degradation (Kaya et al., 2007). The report on the Economic, Social and Cultural Development Programme from the Ministry of Local and Regional Authorities indicates that the rural municipality of Méguétan is suffering from severe water erosion (Ministère des collectivités territoriales, 2021).

Numerous studies in the scientific literature have examined farmers' perceptions of climate change and adaptation strategies, not only at national level but also at regionally in countries like Nigeria, Namibia, Benin, Ethiopia, Burkina Faso, Ivory Coast, Niger, and at international level in other countries such as France (Albert et al., 2022), China (Zhong et al., 2022), India (Reddy et al., 2022; Datta et al., 2022; Meena et al., 2019), Mexico (Fierros-González & Lopez-Feldman, 2021), Germany (Eggers et al., 2015), Spain (Cerdà & Rodrigo-Comino, 2021), Bangladesh (Ferdushi et al., 2019), Peru (Landaverde et al., 2022), etc. However, in Mali, the focus of studies on farmers' perceptions has been predominantly on sorghum productivity in the Soudanian and Sahelian zones (Traoré et al., 2021), in the urban municipality of Niono (Segou Region) (Reddy et al., 2022), the southern regions (Soumaoro et al., 2022), resources and production systems in the Yélimané district (Penda et al., 2020), livestock farming and adaptation strategies in the rural municipality of Tioribougou (Sanogo et al., 2022) and farming strategies in the municipality of Guihoyo (Kolokani district) (Coulibaly et al., 2020). Yet, limited research has combined the perceptions of small rural communities regarding climate change, soil erosion and possible adaptation strategies. This gap is particularly worrying, given that soil erosion is a serious threat to sustainable development (Gao et al., 2018, 2021) and significantly impacts agriculture due to loss of soil, nutrients, and organic carbon (Bezak et al., 2021; Rodrigo-Comino et al., 2020).

To address this gap, a study was conducted in the rural municipality of Méguétan, which represents a representative rural area within Mali characterized by numerous small rural communities. The primary goal of this study was to contribute to a better understanding of two critical issues that are adversely affecting crop yields and threatening food security: climate change and soil erosion. To achieve this objective, a survey was carried out among 200 farmers in 10 villages within the mentioned rural municipality.

2. Methodology

2.1. Study area

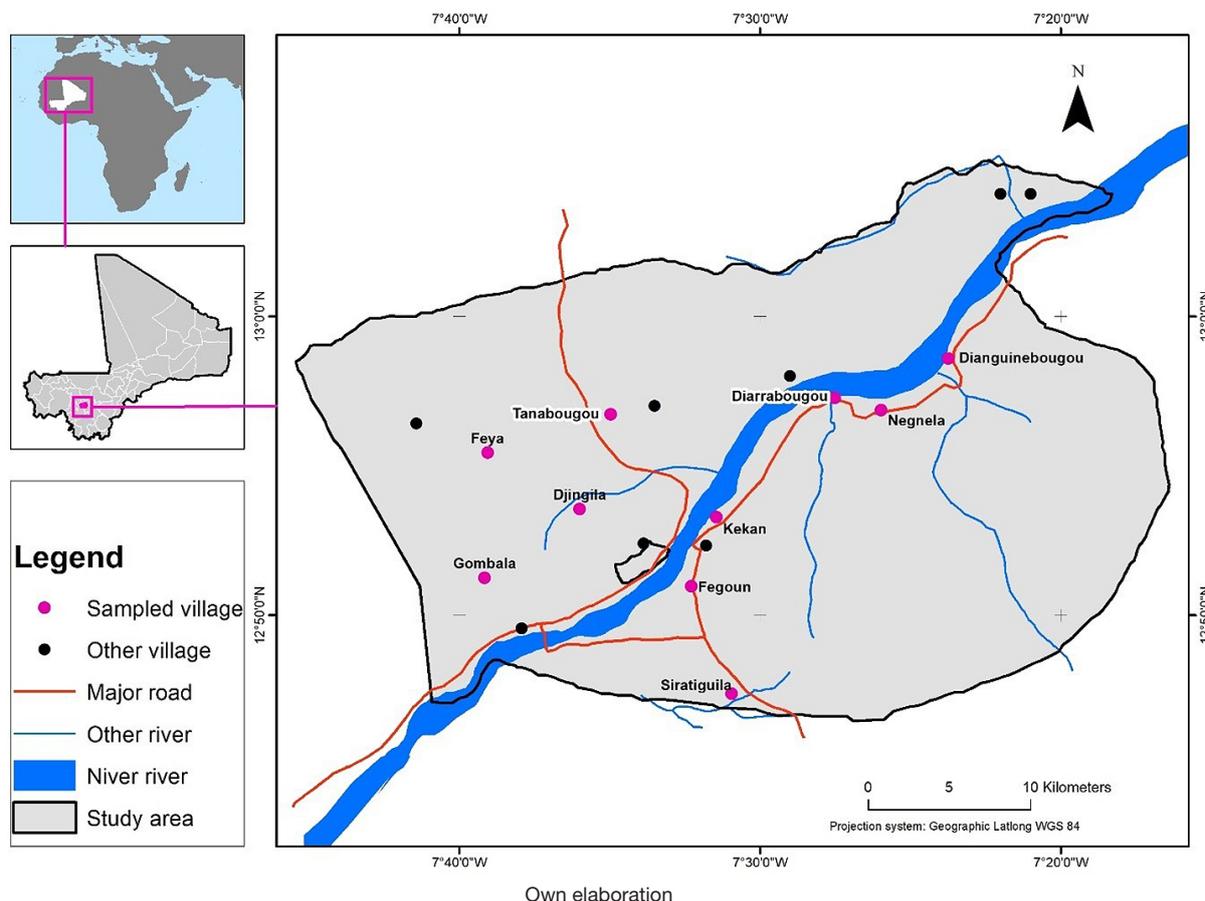
Located on both sides of the urban municipality of Koulikoro, Méguétan is encompassed by a belt of hills and stretches along the Niger River, flowing through it from south to north. The rural municipality of Méguétan experiences a Sudanese-Sahelian climate (Coulibaly, 2022), characterized by three distinct seasons: i) the hot dry season lasts from February to June, marked by winds throughout the day and night. The period is characterized by relatively low humidity and high evapotranspiration; ii) the cool dry season occurs from November to February, with relatively low wind and temperature; and, iii) the wet, warm season from June to October, being the most favorable period for vegetation growth. Throughout the year, the temperature in Méguétan varies between 17 and 45°C, while the average annual rainfall ranges from 700 to 900 mm.

Méguétan is characterized by hydromorphic soils. These have an average depth of about 125 cm at foot slopes and are considered heavy and challenging to work by farmers. Approximately, 41% of Méguétan farmers cultivate this soil. The main crops grown in these soils are sorghum, maize and millet (Coulibaly, 2022). They are also affected by streams or temporary channels, which can be transformed into rills and ephemeral gullies after strong rainfall events. These soils also experience gleyfication in very deep horizons (140 cm) located in the temporary flood zone of the swamps. They cover around 10.3% of Méguétan's area and are used for rice cultivation. Tropical ferruginous soils can be found on spreading pediments with a depth of 140 cm. They account for a significant portion of Méguétan's land and are utilized for cultivating sorghum, cotton, millet, and maize. Soils with high gravel content and crust blocks are less prevalent in the area, constituting only 16.2% of Méguétan's surface. They have a depth of less than 50 cm and are not suitable for mechanization using animal traction. The main crops grown in these soils include cowpeas, sorghum, millet, and groundnuts. Finally, leptosols located in slightly sloping areas have a shallow crust of about 25 cm make up only 2.3% of Méguétan's soils. They are primarily used for rice cultivation (International Union of Soil Sciences- World Reference Base for Soil Resources [USS-WRB], 2022).

In Méguétan, soil management is primarily focused on both food and cash crop, although there are still some underexploited plains. Various food crops cultivated in the region include *Zea mays* (maize), *Pennisetum glaucum* (millet), *Sorghum bicolor* (sorghum), *Oryza sativa* (rice), *Vigna unguiculata* (cowpea) and *Vigna subterranea* (wandzou). Cash crops, on the other hand, consist of *Gossypium spp.* (cotton), *Rachis hypogaea* (groundnut) and *Sesamum indicum* (sesame). Also, some fruit trees can be found such as *Vitellaria paradoxa* (shea), *Parkia biglobosa* (nééré), *Khaya senegalensis* (baobab), *Coccoloba uvifera* (grape) as well as plantations such as *Magifera indica* (mango), orange trees, *Psidium guajava* (guava), *Citrus limon* (lemon) and *Anacardium occidentale* (cashew). However, agricultural sector in the region faces several challenges including: i) non-degradation of plastic waste in nature; ii) loss of land due to erosion and soil poverty; and, iii) the scarcity and

irregular distribution of rainfall. To address these challenges and enhance agricultural productivity, farmers in Méguétan use a combination of agricultural inputs. These inputs include chemical fertilizers like diammonium phosphate, urea, cereal complex, and cotton complex, as well as organic fertilizers like manure and other organic materials (Coulibaly, 2022). By utilizing a mix of these inputs, farmers aim to improve soil fertility and enhance crop yields in the region.

Figure 1. Location of the rural municipality of Méguétan



2.2. Field survey and sampling and data collection

It is well-known that local rural communities in many parts around the world possess valuable knowledge about natural resources, especially soil management (FAO, 2017; Warren, 1992). Integrating this local knowledge with that conventional one produced by academic institutions can lead to a better understanding and appreciation of natural resources (Diallo & Keita, 1995). The data presented in this study were collected through direct observation in various fields and complemented by interviews and ten focus group discussions in 10 different villages within the Méguétan municipality (where 92% of the population lives exclusively from agricultural production (Keita et al., 2023)). Moreover, a total of four moderators have been involved in the interview process. Field observations in each village focused on identifying practices aimed at reducing soil erosion and to efficiently manage the water resources. For the focus group discussions, participants were randomly selected from each village to provide insights into their adaptation strategies and the use of anti-erosion technologies. The questionnaire and interview guide for the focus groups were developed after preliminary analysis of the field. Key terms such as climate change, erosion, soil management, management techniques, style and agricultural productivity were discussed during these sessions. Additionally, field observations were made after each focus group discussion. Surveys were conducted among 200 farmers, all aged 40 years or over, in the middle of the 2022 agricultural season. The aim was to understand rural local knowledge about climate change, adaptation strategies, soil erosion and techniques to combat it. The selection of head farmers was done systematically based on the list provided by the farmer’s leaders of the selected villages. These individuals, identified with the support of village chiefs, were experienced producers with significant knowledge of their environment. The survey actively involved women, with almost 25% of the respondents being women

engaged in agriculture. To validate questionnaires, a simulation was carried out on a sample of four farmers around Katibougou village. The form was improved and validated based on the results of this simulation (find questionnaire in the appendix). Table 1 shows the distribution of the population by gender in the involved villages. These data were provided by the economic, sectoral, and cultural development programs.

Table 1. Population distribution by village involved in survey

Villages	Male	Women	Total
Dianguinebougou	1,177	1,144	2,321
Diarrabougou	707	687	1,394
Djindjila	149	145	294
Feya	1,040	1,011	2,051
Gombala	332	323	655
Kekan	1,139	1,108	2,247
Negnela	691	672	1,363
Siratiguila	241	234	475
Tanabougou	173	168	341
Tonga	265	257	522
Total	5,912	5,751	11,663

Source: Parallel and Distributed Scientific and Engineering Computing (PDSEC), 2020

2.3. Statistical analysis

The responses of the rural inhabitants were analysed using SPSS software version 21.0 (IBM, USA). Data collected from the respondents were carefully reviewed and edited to correct any missing information on the questionnaires, ensuring accurate results. Excel software was utilized for data capture, codification and processing. A database was established to organize the information collected during the survey. For quantitative secondary data, the analysis was conducted using flattening techniques. On the other hand, for qualitative data, a synthesis matrix was developed and employed to better structure the information. Later, the data were coded with the assistance of SPSS v21.0. (IBM). The coding of the data facilitated the categorization of the respondents' views and enabled appropriate data analysis. Statistical analyses, such as averages and frequencies, were utilized to analyze the collected data. Descriptive statistics, including frequency distribution, percentage, mean, and standard deviation, were used to determine the frequency and percentage.

To compare the farmers' perception of climate change with actual conditions, corrected rainfall and temperature data series for Katibougou station (12°56' N, 7°37' W, 326 m a.s.l.) were used. These data were derived from a fusion of gauge and satellite data. Non-parametric trend analysis using the Mann-Kendall test in R software was performed to assess rainfall trends over the last 38 years (from 1983 to 2021). The Mann-Kendall test examines increasing or decreasing trends in a monotonic series based on two hypotheses: i) the null hypothesis, where there is no trend in the time series, and ii) the alternative hypothesis, where there is either an increasing or decreasing trend in the time series. An advantage of the Mann-Kendall test is that it is non-parametric, meaning it does not require the series to be normally distributed or linear (Yue & Wang, 2002).

3. Results

3.1. Impacts of climate change

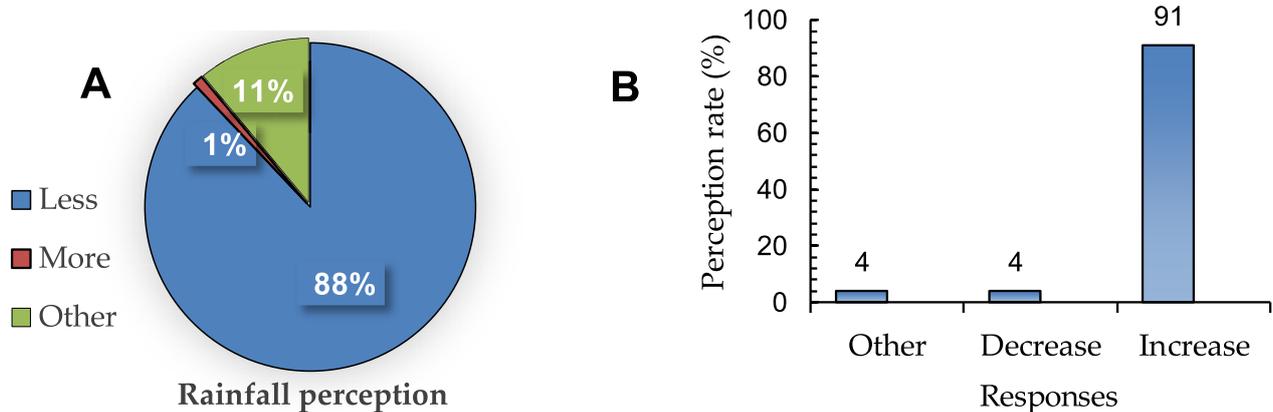
The findings of the study reveal that a significant proportion of farmers, specifically 93% of those interviewed, are already aware of the effects of climate change. This awareness is understandable as agricultural campaigns have become more challenging, and the population has been actively following radio news, which frequently covers information about climate change. These factors contribute to the alignment of the population's knowledge with the ongoing discourse on climate change.

3.2. Rainfall and temperature situation over the last 30 years

Figure 2A shows that nearly all the farmers interviewed (almost 100%) perceived changes in the rainfall trend in their respective areas over the last 30 years. These changes have been experienced not only in the intensity

of the rains, but also in the length of the rainy season and the amount of rainfall. Many farmers specifically noted a significant decline in rainfall, especially during the 2020-2021 season. Although perceptions of rainfall patterns vary among farmers, the most common observation reported by 88% of the farmers is a decrease in annual rainfall amount. Figure 2B indicates that 91% of the farmers interviewed have observed an increase in temperature over the last thirty years. Only 4% of the farmers mentioned that they believed the temperature is getting cooler than before, and another 4% considered the temperature to be unchangeable. However, the consistent observation of an increase in temperature is already a cause for alarm for the majority of farmers.

Figure 2. Rainfall and temperature situation over the last 30 years

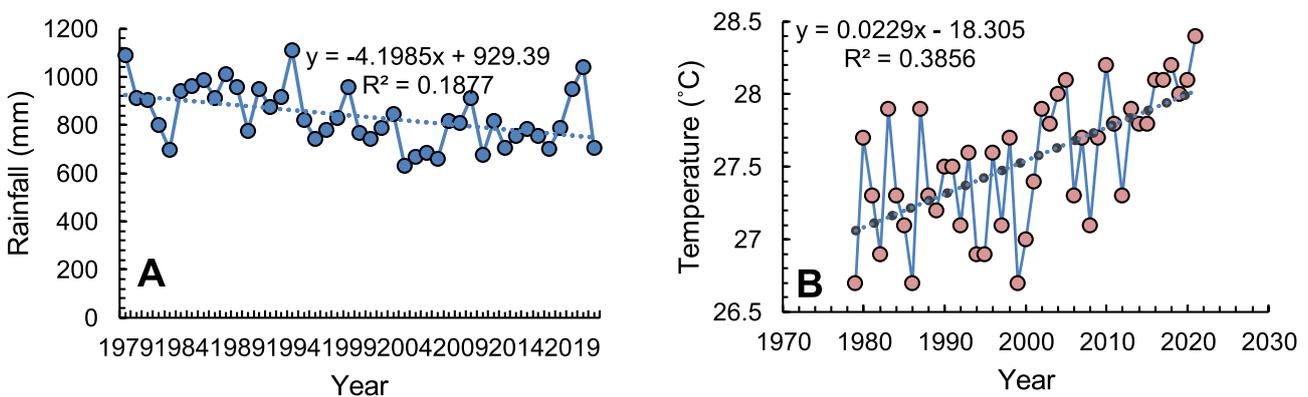


A. Rainfall perception by farmers; B. Temperature trend perception by farmers. Own elaboration

In Figure 3A, the mean plot illustrates the actual data of rainfall variability over the last 30 years. The graph shows that precipitation is subject to significant variations from year to year. This observation aligns perfectly with the farmers' perception of change in the amount of rain that has been recorded in previous years. The variability in rainfall experienced by farmers is consistent with the actual data of rainfall variability shown in the mean plot.

The graph in figure 3B presents an estimate of the average annual temperature data from the Katibougou station. The dotted blue line represents the linear trend of temperature since 1979. Notably, the trend line slopes from left to right, indicating a positive trend in temperature. This trend suggests that the region is experiencing increasing temperatures over time, and it is getting hotter in the area.

Figure 3. Rainfall and temperature in Katibougou station



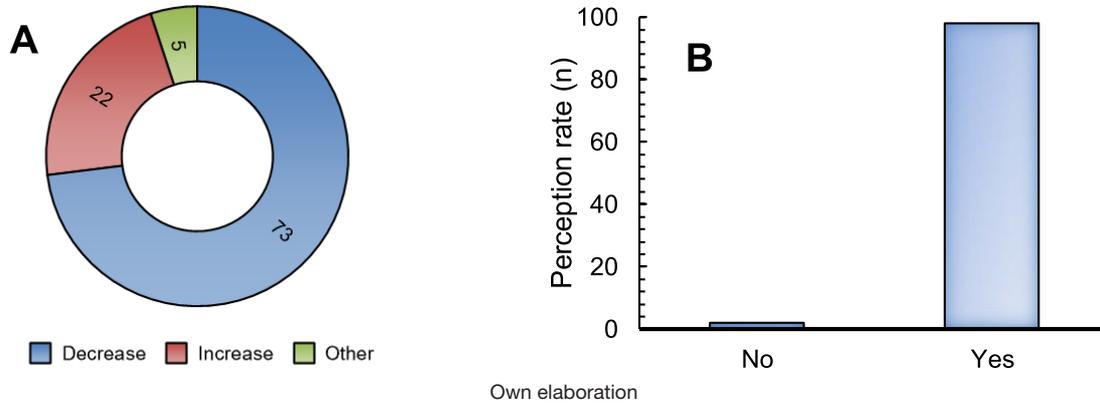
A. Total annual rainfall registered in the study area. B. Mean annual average temperatures in the study area. Own elaboration

3.3. Crops yield and soil erosion

The results presented in Figure 4A indicate that 73% of farmers confirmed a decline in crop yields, mainly millet, sorghum, maize, cotton, sesame, groundnuts, cowpea and vegetable crops (tomatoes, shallots, onions, cucumbers, lettuce, etc).

Additionally, the survey results in Figure 4B revealed that a significant majority of farmers (98%) in Méguétan are aware of soil erosion. They recognize the close link between soil erosion and agriculture, which ultimately leads to food insecurity. Among various types of erosion, water erosion was identified as the most destructive in the fields.

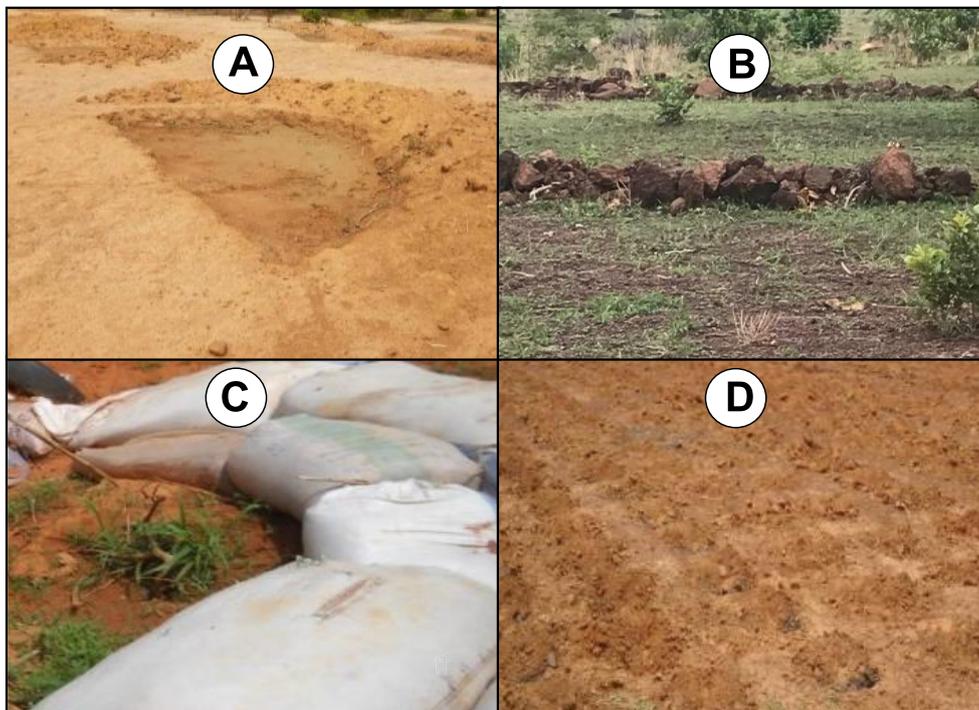
Figure 4. Evolution of crop yields over the last 30 years and soil erosion (A) and human perception (B)



3.4. Government contribution to the fight against soil erosion in cultivated areas and adaptation strategies

The government's contribution to addressing soil erosion in the municipality of Méguétan appears to be minimal, according to 87% of farmers surveyed. Many indigenous people report that the last major support projects aimed at combating soil erosion date back to the 1980s. These interventions involved implementing techniques such as stone rows, filtering dikes, grass strips, and others.

Figure 5. Some indigenous soil management techniques in Méguétan



A: halfmoon; B: stone rows; C: sand bags; D: Zaï.

Own elaboration

3.5. Field inventory of soil erosion reduction techniques

Based on the field inventory and information received from various sources such as World Overview of Conservation Approaches and Technologies technical services (hydraulics, rural engineering, agriculture, water

and forests), NGOs, and farmers, several adaptation techniques and technologies have been identified in the municipality of Méguétan. These techniques are aimed at addressing soil erosion and water control. The inventory includes the following: i) eighty-eight fields with stone rows, covering an area of 29 hectares, located in Diarrabougou, Dianguinebougou, Falan, and Djindjila; ii) two vegetated stone rows, covering an area of 0.25 hectares; iii) a 1-hectare Zai field in Diarrabougou at Negnele; iv) a simple manual dike in Diarrabougou; v) three fields protected by sandbag barriers, covering a total area of 7 hectares; vi) a cyclopean concrete dam in Djindjila; vii) fields protected by tree planting; viii) a field of half-moon at Gombala; and, ix) six fields with hedgerows in Feya, Djindjila, Dianguinebougou, Diarrabougou, Negnele, and Kekan. The government should consider establishing programs that specifically target sustainable development and implement anti-erosion technologies. These techniques are widely used not only in the municipality of Méguétan but also throughout Mali. They are particularly prevalent in arid or semi-arid, Sudanian, and Sahelian regions where there is a significant amount of degraded land. These adaptation practices play a vital role in mitigating the impacts of soil erosion and enhancing water management in agricultural landscapes, contributing to sustainable land use and improving resilience to climate change in the region.

Table 2 provides the situation of water and soil conservation, defence and restoration techniques implemented in the rural municipality of Méguétan. With the exception of the Djindjila micro-dam, which seems to be a government initiative, almost all other structures listed are community-driven initiatives. These results indicate that many local initiatives have been taken and successfully implemented to implement water and soil conservation techniques and water control structures in the region. It is commendable to see the combined use of different types of development, such as agricultural, hydraulic, and forestry approaches, demonstrating a holistic and integrated approach to addressing soil erosion challenges. Furthermore, 48% of the population in Méguétan are engaged in activities other than farming. While this percentage is lower than the rate of people solely engaged in farming (52%), it is still significant and highlights the farmers' proactive approach.

3.6. Credit unions

All the respondents surveyed were aware of the credit unions available in the region, particularly the most active ones such as CAECE JIGISEME and Kafo JIGISEME, which are located in the urban municipality of Koulikoro. These credit unions play a crucial role in assisting farmers in accessing financial resources, enabling them to better prepare for the rainy season and cope with the impacts of climate change (African Financial Alliance on Climate Change [AFAC], 2023). By providing financial services, these credit unions offer an alternative means of adaptation to the effects of climate change. Having financial resources available through credit unions allows farmers to invest in sustainable agricultural practices, acquire improved seeds and inputs, implement soil and water conservation measures, and diversify their income-generating activities.

3.7. Other sources of income

Diversifying income-generating activities is not only a strategy to compensate for the decrease in financial resources resulting from climate change and soil erosion but also a means to cope with the increasing expenses associated with agricultural production. According to the information obtained, fishing, animal husbandry, small-scale trade, and masonry work are among the main income-generating activities undertaken by farmers in addition to agriculture. Having multiple sources of income can provide financial security, opportunities for growth, flexibility, diversification, and personal satisfaction. These factors contribute to strengthening the resilience of farmers and their ability to withstand various challenges, including climate-related ones. In conclusion, the local initiatives to combat soil erosion, combined with the diversification of income-generating activities, demonstrate the proactive and adaptive approach of farmers in Méguétan. Such initiatives are vital in building resilience and sustaining livelihoods in the face of changing environmental conditions and economic challenges.

The diversification of income-generating activities is not only a strategy to compensate for the decrease in financial resources but also to cope with the increase in expenditure. According to the information obtained, fishing, livestock farming, petty trading, and masonry are the main income-generating activities after agriculture, with rates of 11%, 8%, 6%, and 3% of farmers practicing other activities.

Table 2. Inventory of water and soil conservation, defence and restoration techniques implemented in Méguétan

	Description	Location	Crops	Observations	
				Constraints mentioned	Proposed solutions
Stone rows	The stone rows are anti-erosion structures made up of blocks of rubble or stones laid one on top of the other	Djindjila, Feya, Diarrabougou, Dianguinebougou, Negnela, Fegoun, Tanabougou, Gombala, Kekan, Siratiguila	Millet, sorghum, maize, groundnuts, cowpea	Difficulty accessing, collecting, transporting and charging rubble around certain fields, labour.	Material and financial support for transporting the rubble and carrying out the work
Vegetated stone rows	Planted with <i>Anacardium occidentale</i> and <i>eucalyptus globulus</i> trees all along the stone lines				
Zai	Zai is a farming technique for reclaiming/conserving and fertilising the soil, using planting material in the form of potted plants.	Negnele	Millet, sorghum, cowpea	Unavailability of organic matter and difficulty in transporting it to the fields; High demand for labour	Material and financial support; Producing organic manure
Half-moon	The half-moon is a compacted earth or stone structure in the shape of a semicircle, with openings perpendicular to the direction of water flow and arranged in a staggered pattern.	Gombala	Millet, sorghum, maize, groundnuts, cowpea	Requires annual maintenance work, Risk of degradation by trampling animals	Material and financial support for the implementation and annual monitoring of the project
Partitioned ridge	Agronomic method of sowing on permanent mounds (ridges) formed the previous year with the use of a ridger-weeder.	Tanabougou, Kekan, Negnela, Gombala	Millet, sorghum, maize	Insufficient equipment for mounding	Material and financial support to mechanise the construction of partitioned ridges
Simple manual dike	The simple manual bund is a structure built of compacted earth, generally in successive layers to make it impermeable. According to the survey data, this is a purely peasant initiative and is built by hand using muscular effort.	Diarrabougou	Millet, maize, rice	Very high labour costs; Damage to the rows after each winter season caused by heavy run-off.	Material and financial support to mechanise its construction, technical training support for monitoring and regular maintenance of the structure
Barriers in gullies	Dry stone dyke placed perpendicular to the course of the channel	Tanabougou	Maize, millet, cowpea	Collecting, charging and transporting stone.	Material and financial support for collecting, charging and transporting stones
Sandbags	This is a system of bags containing earth or sand to block run-off water, thereby combating soil erosion.	Feyan, Kekan, Fegoun,	Millet, sorghum, maize, cowpea	Insufficient implementation equipment	Material and financial support for the availability and filling of bags and the sand collection process
Planting trees and hedges, windbreaks	These are linear plantations of trees, shrubs or bushes in one or more rows, of one or more species, and generally planted perpendicular to the prevailing wind or the wind most harmful to the crops, villages or even infrastructure (roads, water points, schools, etc.) that they are intended to protect.	Fegoun, Siratigila, Kekan, Diarrabougou, Dianguinebougou, Negnela, Gombala, Djindjila, Tanabougou	Millet, sorghum, maize, sesame	Roaming animals destroying young tree plants, bush fires destroying trees, difficult access to nurseries.	Subsidize tree nurseries, change behavior, weed tree rights-of-way, tree plants Material and financial support to protect young trees until they develop
Cyclopean concrete dam	An anti-erosion measure involving the treatment and protection of banks, built across ravines perpendicular to the direction of water flow.	Djindjila	Rice, maize, cowpea	Lack of construction materials; Difficulty of access to materials	Material and financial support for access to materials and the execution of the dame

Own elaboration

4. Discussion

4.1. Climate change perception

Findings on climate change perception are consistent with those obtained in previous studies, which also demonstrated that climate change is widely perceived by local communities in Mali. For instance, Traoré et al. (2021) observed that all farmers in the Sudano-Sahelian zone of Mali were aware of climate change (Traoré et al., 2021). Similarly, Sanogo et al. (2022) surveyed livestock farmers in the rural commune of Tioribougou and confirmed that they were experiencing climate change and had a good perception of its impacts (Sanogo et al., 2022). Another study conducted by Doumbia & Depieu (2013) among 144 rice producers also indicated that farmers clearly perceived the effects of climate change.

This observation aligns with findings from another study conducted in Tioribougou, where 95.11% of farmers confirmed a change in the rainfall situation (Sanogo et al., 2022). Similarly, in Veá catchment, over 94% of the farmers believed that the amount of rainfall, its duration, intensity and the number of rainy days had decreased (Limantol et al., 2016).

Regarding the temperature situation, the statements made by the farmers align with the findings of another study conducted by Bambara and al. In their study of the socio-environmental consequences of climate change in Tougou and Donsin, they also reported considerable impact of temperature increase on various aspects. These impacts included the drying up of watercourses, the disappearance of low-lying areas, the lowering of the water table and the degradation of plant cover (Bambara et al., 2013). The concurrence between the farmers' observations and the findings of previous research highlights the urgency of addressing the issue of rising temperatures and its implications for the environment and agricultural practices in Mali. Such evidence reinforces the importance of implementing effective climate change mitigation and adaptation strategies to safeguard the livelihoods of rural communities and ensure sustainable agriculture in the face of a changing climate.

Furthermore, a recent study carried out in Mafele village (Traoré et al., 2023) also highlighted the interannual variability of rainfall in the region, dating back to the 1970s. This further confirms the existence of substantial year-to-year fluctuations in rainfall patterns in the area. The demonstrated variability in rainfall emphasizes the challenge that farmers face in planning and managing their agricultural activities (Negash et al., 2023). In their study on evapotranspiration and crop coefficient of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) at Melkassa Farmland, Semi-Arid Area of Ethiopia, Negash et al. (2023), find in the weather characteristics that the total amount of rainfall recorded in 2018 was less than 24.2% of the rainfall amount recorded in 2017. It underlines the need for climate-resilient agricultural practices and adaptive strategies to cope with the uncertainties associated with changing rainfall patterns. Understanding and acknowledging the interannual variability of rainfall is crucial in formulating effective agricultural policies and programs to ensure sustainable food production and livelihoods in the region.

The average annual temperature data from the Katibougou station is consistent with the results of a study that assessed the change trends of daily temperature and precipitation extremes in Bamako and Ségou, Mali, spanning the period from 1961 to 2014. The study emphasized that climate change poses a threat of increased air temperatures and evapotranspiration in the region (Halimatou et al., 2017). Moreover, in a climate trend analysis of Mali conducted by Funk et al., it has been observed since 1975, temperatures have risen by over 0.8 °C across most parts of Mali, with typical warming rates exceeding 0.2 °C per decade (Funk et al., 2012).

4.2. Crop yield and soil erosion

The findings about the evolution of crop yields over the last 30 years align with the results obtained by the Planning and Statistics Unit of the Ministry in charge of Rural Development in 2022, which also emphasized changes in crop yields due to the damaging effects of climate change. The 2022 report indicated a decrease of 10.5% compared to 2020 (Keita, 2022). The consistency between the farmers' observations and the official data highlights the adverse impact of climate change on agricultural productivity and the implications for food security in the region.

Soil erosion perception aligns with the findings of Touré in the chapter entitled "Overview, trends, and factors in land degradation" (Touré, 2020). Moreover, the Ministry of the Environment, Sanitation, and Sustainable Development reported that Mali lost 489,200 hectares of agricultural land over a fifteen-year period (MEADD,

2020). This alarming data supports the farmers' concerns about soil erosion and its detrimental impact on agricultural land and food production in the region. These findings underscore the urgency of addressing soil erosion and implementing sustainable land management practices to safeguard agricultural productivity and food security in Mali. Climate change adaptation strategies and land conservation efforts are essential to mitigate the effects of soil erosion and ensure the resilience of agricultural systems in the face of ongoing environmental challenges.

At the national level, the government's agricultural policies have primarily focused on increasing domestic rice production, reforming the cotton sector, maintaining input subsidy programs, and improving access to land (FAO, 2017). However, there is a need for more comprehensive and sustainable solutions to combat soil erosion in cultivated soils. The government should consider establishing programs that specifically target sustainable development and implement anti-erosion technologies. Mali has committed to defining land degradation neutrality targets (MEADD, 2020), demonstrating its intention to take action and support ongoing initiatives and efforts to achieve land degradation neutrality by 2030. As part of this commitment, it is crucial for the government to prioritize technical measures that promote anti-erosion technologies for cultivated soils. By implementing such measures, the government can contribute significantly to the protection of agricultural lands, the enhancement of food security, and the overall sustainability of agricultural practices in the region.

4.3. Access to credit

Looking at the financial resources, a study conducted by Soumaoro et al., in southern Mali further emphasizes the importance of access to credit in the context of adapting to climate change (Soumaoro et al., 2022). The study highlights how having access to credit is a significant factor that contributes to the ability of farmers to adapt and implement strategies to mitigate the effects of climate change.

Access to credit can significantly enhance the resilience of farmers and rural communities by providing them with the means to invest in climate-resilient practices and resources. It not only empowers farmers to better prepare for the challenges posed by climate change but also offers them opportunities for economic growth and sustainable development. Recent studies in Spain showed that the farmers accept a change in the management only if subsidies are paid (Cerdà et al., 2017; Cerdà & Rodrigo-Comino, 2021). Therefore, credit unions and other financial institutions play a vital role in supporting farmers' adaptive capacity and strengthening their ability to cope with the uncertainties of a changing climate (Soumaoro et al., 2022). Anyway, it appears that access to credit is difficult, mainly due to the lack of guarantees that farmers have to present and the proximity of the agencies.

4.4. Challenges and steps forward to be done

Indeed, while the agricultural sector has been a significant contributor to Mali's Gross Domestic Product, it also faces numerous challenges and weaknesses. One of the primary concerns is its heavy reliance on climatic conditions, making it vulnerable to the impacts of climate change. Soil degradation further exacerbates the sector's vulnerability, leading to decreased productivity and increased fragility of agricultural lands. Obtaining essential inputs and agricultural and financial services is also a significant challenge for farmers in Mali. Limited access to modern agricultural technologies, improved seeds, and financial resources hampers the sector's potential for growth and resilience. However, the most pressing issue in recent years has been the security crisis that has gripped Mali since 2012. The country has faced separatist demands and terrorist attacks, particularly in the northern, central, and southern regions, where agricultural areas have been severely affected. The insecurity has disrupted agricultural activities, displaced farmers, and disrupted supply chains, further adding to the challenges faced by the sector.

According to projections by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the CARD tool (Comprehensive Assessment of Resource Use and Efficiency), the production of major crops in Mali, including barley, beans, cassava, cotton, groundnuts, maize, managed grass, millet, peas, rapeseed, rice, sorghum, soy, sugar beet, sunflower, and wheat, is expected to decline significantly. By 2030, a reduction of 12% in crop production is projected, which is expected to worsen to 25% by 2050 due to the impacts of climate change and other challenges (Keita, 2022). Addressing these challenges and vulnerabilities is crucial for the sustainable development of Mali's agricultural sector and its ability to ensure food security and livelihoods for its population. Implementing adaptation strategies, improving access to resources and financial services, and finding solutions to the security crisis are essential steps in strengthening the resilience and productivity of the agricultural sector in Mali.

The economic growth of Mali must be built on improved performance in all aspects of agriculture. The country's agricultural sector possesses several potential strengths and assets that can contribute to its development and growth. These include: i) agro-ecological diversity: Mali's different regions have diverse agro-ecological zones, offering a wide range of climates and conditions suitable for various crops and farming practices; ii) abundant agricultural land: the country has significant potential for agricultural land, which, if effectively utilized, can boost production and increase food security; iii) exploitable water resources: Mali is endowed with substantial water resources, including rivers and lakes, which can be harnessed for irrigation and agricultural development; iv) rich animal resources: the country possesses a diverse range of animal resources, with ample grazing land for livestock rearing; v) potential for aquaculture: Mali has considerable potential for developing aquaculture activities, which can enhance fish production and contribute to food security; vi) forestry and wildlife resources: The country's forests and wildlife resources present opportunities for sustainable forest management and conservation initiatives; vii) young agricultural population: Mali's population is predominantly young and engaged in agriculture, providing a potential workforce for the sector's development; and, viii) structured professional agricultural organizations: the emergence of structured agricultural organizations can facilitate better coordination and collaboration among farmers and stakeholders in the agricultural value chain.

By capitalizing on these strengths and assets, Mali can foster agricultural innovation, increase productivity, promote sustainable practices, and improve livelihoods for its rural population. Strategic investments and supportive policies can help unlock the full potential of the agricultural sector, contributing to overall economic growth and development in the country (MEADD, 2020; Funk et al., 2012).

The government's allocation of a priority budget to the agricultural sector is a crucial step in recognizing its significance for the country's development and food security. With an allocation of approximately 456 billion CFA francs (735 million US\$) for financing the 2022-2023 agricultural campaign, the government is demonstrating its commitment to supporting and promoting the sector. This ambitious budget allocation can be instrumental in implementing various initiatives and projects aimed at improving agricultural practices, enhancing productivity, and ensuring sustainable agricultural development. It can support investments in modern agricultural technologies, irrigation systems, research and development, extension services, and infrastructure development in rural areas. Furthermore, a substantial budget allocation for agriculture can also foster the adoption of climate-smart agricultural practices and the implementation of measures to adapt to climate change, considering the vulnerabilities faced by the sector due to climate variability and soil degradation. By investing in the agricultural sector, the government can stimulate economic growth, create employment opportunities, and enhance the livelihoods of rural communities. Additionally, a thriving agricultural sector can contribute to food security, reducing dependency on food imports and increasing domestic food production. However, in addition to the budget allocation, the government must also ensure efficient and transparent utilization of funds, proper implementation of agricultural programs, and coordination among different stakeholders to achieve the desired impact and sustainable development in the sector.

The strategies implemented should: i) enable field surveys to be carried out in rural areas (where 75% of the Malian population lives (Keita, 2022)). The studies on farmers' perceptions will make it possible to identify fragile and priority areas, so as to gain a better understanding of the problems they face and envisage sustainable long-term solutions. ii) improve local production by providing farmers with subsidized seed as well as access to credit and microfinance facilities for farm equipment and extension services. iii) improve quality control and ensure the correct application of standards for agricultural inputs, plant products and plant-based foodstuffs. iv) progressively manage land in areas with significant hydro-agricultural potential. v) promote agroforestry, which should make it possible to improve the net productivity of the land, preserve biodiversity and increase the stock of organic carbon in the soil. vi) promote events such as the Environment Fortnight, which are important forums for communicating about the Land Degradation Neutrality process.

4.5. Influence of education

Education is indeed the foundation of progress, and investing in training and applied research institutions is essential for the development of the agricultural sector and the overall progress of the country. Supporting institutions like the IPR/IFRA of Katibougou can help improve the training and capacity building of technicians, engineers, and scientific researchers in various agricultural disciplines. These institutions play a crucial role in providing specialized education, conducting research on agricultural innovations, and disseminating knowledge to farmers and agricultural practitioners.

A study carried out on climate smart agricultural technologies and practices in Nigeria, showed that education and capacity building are crucial in climate change adaptation strategies (Mashi et al., 2022). The education level is found to have a strong influence on the levels of farmers' awareness as shown several study in Mali (Kane et al., 2018), and in Indonesia (Purwanti et al., 2022).

5. Conclusions

Climate change and soil erosion of cultivated soils are not only observed from a scientific point of view but also well perceived by local farmers in the rural municipality of Méguétan. The perceptions of the local population are remarkably consistent with the data obtained from weather stations, thereby validating the accuracy of both the farmers' subjective climate knowledge and the actual meteorological observations. Hot weather, irregular rainfall in terms of quantity, duration and intensity, and the late start and early end of the rainy seasons are all indicators of the changes observed. Farmers use a wide range of traditional techniques to overcome these factors, which drive the food insecurity crisis, and thus keep the soil arable for a long time. Among these measures, the stone rows are the most widely used, due to the extension of the hills around Méguétan. This study could help stakeholders to get significant information and a good understanding of the perception of farmers in Méguétan on erosion control techniques and possible climatic changes they have observed over the last 30 years in particular.

The investigation of the socio-economic aspects of smallholder farmers will enable the Malian government to better understand the pattern of erosion control techniques adopted at the field level to better adapt agricultural production, policy formulation and planning of the cultivated land management and adaptation system to climate change. No aspect of economic, social, political, and cultural development escapes the investigation of rural communities. Therefore, their participation is of utmost importance. The information provide by this study could improve the understanding of policy makers on agricultural adaptation to climate change and soil erosion in Malian Sudano-sahelian zone.

Funding

This study was funded by the German Federal Ministry of Education through the West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land use (WASCAL) within the framework of the PhD scholarship in Climate Change and Agriculture.

Acknowledgments

The authors would like to express their gratitude to the staff of WASCAL, in particular the DRP CC and Agric. Special thanks to Prof. Aboubakar Bengaly (IPR/IFRA), Dr. Souleymane S. Traoré (FHG/USSGB), Dr. Ing. Jesús Rodrigo-Comino (University of Granada, Spain). Sincere thanks and gratitude to the population of the Méguétan municipality in Koulikoro region, without forgetting the management of the IPR/IFRA of Katibougou, USTTB and EDSTM.

Author Contributions

ML. Katilé: Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Investigation, Methodology, Validation, Visualization, Writing - original draft, Writing - review & editing. A. Bengaly: Supervision, Writing - review & editing. S.S. Traoré: Supervision, Writing - review & editing. J. Rodrigo-Comino: Supervision, Writing - review & editing

Data Availability Statement

No applicable.

Conflicts of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest and that the funding body had no influence on the results and views presented in this paper.

Appendix: Survey questionnaire

Sample No.:		Date:	Latitude:	
Altitude:		Longitude:		
Name of Interviewer:		Name of Interviewee:		
No	Variables	Code for option		Responses
1	Region:			
2	Village/Commune:			
3	Ethnicity			
4	Age:			
5	Gender:	1=Male, 2=Female		
6	Education	1= Yes, 2= No		
7	If yes, education level	1= Primary, 2= Fundamental, 3= Secondary, 4= Others, specify		
8	Marital status	1= Married, 2= Single, 3=Widow, 4=Divorce		
9	Household status.	1=Head, 2=Spouse, 3= Others, specify		
10	Current occupation.	1= Farming, 2= Business, 3= Both, 4= Others, specify		
11	Previous occupation	1= Farming, 2= Business, 3= Both, 4= Others, specify		
12	Earning/Month	1= Increasing 2= Decreasing		
13	Expenses/Month	1= Increasing 2= Decreasing		
14	Do you have other sources of income?	1= Yes, 2= No		
15	If yes, specify			
16	Which type of soil do you have?			
17	What is the quality of your soil?			
18	Do you have sufficient land for crop production?	1= Yes, 2= No		
19	Status of the land ownership.	1= Inheritance 2= Bought 3= Rent, 4= Others, specify		
20	Has the size been reduced?	1= Yes, 2= No		
21	If yes, what is the size?			
22	If yes, what is the cause?	1= Soil erosion 2= Flood 3= Others, specify		
23	Which crop do you cultivated?			
24	What is your crop yield of the same land before (in 30 years ago) compared to now?	1= low, 2= high		

25	Which year has been the lowest in term of yield?		
26	Has the temperature changed 30 years ago compared to now?	1= Yes, 2= No	
27	If yes, why.	1= Climate change 2= Low rainfall, 3= Others, specify	
28	Has the yearly first rainfall month changed 30 years ago compared to now?	1= Yes, 2= No	
29	If yes, why.	1= Climate change 2= High temperature, 3= Others, specify	
30	Has the yearly rainfall intensity changed 30 years ago compared to now?	1= Yes, 2= No	
31	If yes, why.	1= Climate change 2= High temperature, 3= Others, specify	
32	Has the yearly rainfall amount changed 30 years ago compared to now?	1= Yes, 2= No	
33	If yes, why.	1= Climate change 2= High temperature, 3= Others, specify	
34	Has the yearly rainfall duration changed 30 years ago compared to now?	1= Yes, 2= No	
35	If yes, why.	1= Climate change 2= High temperature, 3= Others, specify	
36	Have ever heard of climate change?	1= Yes, 2= No	
37	If yes, do you believe that climate change is happening?	1= Yes, 2= No	
38	If yes, what are the signs?		
39	What do you think can be done for climate change adaptation?		
40	Have ever heard of soil erosion?	1= Yes, 2= No	
41	If yes, do you believe it is reducing your crop yield and land size?	1= Yes, 2= No	
42	What do you think can be done to control soil erosion?		
43	Which techniques do you apply against soil erosion?		
44	What are its limitations?		
45	Is the government doing enough for the adaptation and control of Soil erosion?	1= Yes, 2= No	
46	If no, what do you think the government should do?		

References

- African Financial Alliance on Climate Change (AFAC). (2023). *Alliance financière africaine sur le changement climatique: L'industrie financière africaine accélère l'action climatique* (p. 36). Groupe de la Banque Africaine de Développement. <https://www.afdb.org/fr/topics-and-sectors/initiatives-partnerships/african-financial-alliance-on-climate-change-afac>
- Albert, M., Bergez, J.-E., Willaume, M., & Couture, S. (2022). Vulnerability of Maize Farming Systems to Climate Change: Farmers' Opinions Differ about the Relevance of Adaptation Strategies. *Sustainability*, 14(14), 8275. <https://doi.org/10.3390/su14148275>
- Bambara, D., Bilgo, A., Hien, E., Masse, D., Thiombiano, A., & Hien, V. (2013). Perceptions paysannes des changements climatiques et leurs conséquences socio environnementales à Tougou et Donsin, climats sahélien et sahélo-soudanien du Burkina Faso. *Bulletin de La Recherche Agronomique Du Bénin (BRAB)*, 74(1), 8–16.
- Bélières, J.-F., Bonnal, P., Bosc, P.-M., Losch, B., Marzin, J., & Sourisseau, J.-M. (2014). *Les agricultures familiales du monde: Définitions, contributions et politiques publiques*. AFD, Agence française de développement; CIRAD.
- Bengaly, A. (2009). *Erosion des sols et sédimentation dans le bassin versant de Bélékoni en zone soudanienne du Mali*. Université de Bamako (UB).
- Bezak, N., Mikoš, M., Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J. A. A., Baartman, J., Ballabio, C., Biddoccu, M., Cerdà, A., Chalise, D., Chen, S., Chen, W., De Girolamo, A. A., Gessesse, G. D., Deumlich, D., Diodato, N., Efthimiou, N., Erpul, G., ..., & Panagos, P. (2021). Soil erosion modelling: A bibliometric analysis. *Environmental Research*, 197, 111087. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111087>
- Bocci, M., & Smanis, T. (2019). Assessment of the impacts of climate change on the agriculture sector in the southern Mediterranean: Foreseen developments and policy measures. *Union for the Mediterranean: Barcelona, Spain*.
- Cerdà, A., & Rodrigo-Comino, J. (2021). Regional farmers' perception and societal issues in vineyards affected by high erosion rates. *Land*, 10(2), 205. <https://doi.org/10.3390/land10020205>
- Cerdà, A., Rodrigo-Comino, J., Giménez-Morera, A., & Keesstra, S. D. (2017). An economic, perception and biophysical approach to the use of oat straw as mulch in Mediterranean rainfed agriculture land. *Ecological Engineering*, 108, Part A, 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.08.028>
- Coulibaly, D., & Sissoko, K. (2021). *Plan national de contingence du Mali: « Volet sécuritaire alimentaire et nutritionnelle »*. Commissariat à la sécurité alimentaire soutenue/Financement PRESA - Coopération Suisse.
- Coulibaly, M. (2022). *Pratiques de gestion des espaces agricoles et leurs impacts sur les ressources naturelles dans la zone soudano-sahélienne: Cas de la commune de Méguetan*. IPR/IFRA de Katibougou.
- Coulibaly, M. Z., Haidara, S., & Traore, B. (2020). Changements climatiques et stratégies paysannes dans la commune de Guihoyo, cercle de Kolokani au Mali. *Revue Malienne de Science et de Technologie*, 1(23), 145–156.
- Datta, P., Behera, B., & Rahut, D. B. (2022). Climate change and Indian agriculture: A systematic review of farmers' perception, adaptation, and transformation. *Environmental Challenges*, 8, 100543. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100543>
- Diallo, D., & Keita, D. (1995). Un système paysan de classement des sols dans la zone agroécologique du Djitoumou, Mali. *Cahiers Agricultures*, 4(5), 371–375.
- Doumbia, S., & Depieu, M. (2013). Perception paysanne du changement climatique et stratégies d'adaptation en riziculture pluviale dans le Centre Ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 64, 4822–4831. <https://doi.org/10.4314/jab.v64i1.88470>
- Eggers, M., Kayser, M., & Isselstein, J. (2015). Grassland farmers' attitudes toward climate change in the North German Plain. *Regional Environmental Change*, 15, 607–617. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0672-2>

- Ferdushi, K. F., Ismail, M. T., & Kamil, A. A. (2019). Perceptions, knowledge and adaptation about climate change: A Study on farmers of Haor areas after a flash flood in Bangladesh. *Climate*, 7(7), 85. <https://doi.org/10.3390/cli7070085>
- Fierros-González, I., & Lopez-Feldman, A. (2021). Farmers' perception of climate change: A review of the literature for Latin America. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 672399. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.672399>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2017). *Country fact sheet on food and agriculture policy trends* [dataset]. I7617EN/1/07.17. <https://www.fao.org/in-action/fapda%20www.fao.org/in-action/fapda/tool>
- Funk, C., Rowland, J., Adoum, A., Eilerts, G., & White, L. (2012). *A Climate Trend Analysis of Mali*. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/fs20123105>
- Gao, J., Wang, H., & Zuo, L. (2018). Spatial gradient and quantitative attribution of karst soil erosion in Southwest China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 1–13. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7116-2>
- Gao, X., Zhao, X., Wu, P., Yang, M., Ye, M., Tian, L., Zou, Y., Wu, Y., Zhang, F., & Siddique, K. H. (2021). The economic–environmental trade-off of growing apple trees in the drylands of China: A conceptual framework for sustainable intensification. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126497. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126497>
- Halimatou, A. T., Kalifa, T., & Kyei-Baffour, N. (2017). Assessment of changing trends of daily precipitation and temperature extremes in Bamako and Ségou in Mali from 1961–2014. *Weather and Climate Extremes*, 18, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2017.09.002>
- International Union of Soil Sciences- World Reference Base for Soil Resources (IUSS-WRB). (2022). *International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. (4th edition). International Union of Soil Sciences (IUSS).
- Kane, A., Lagat, J., Fane, T., Langat, J., & Teme, B. (2018). Economic viability of alternative small-scale irrigation systems used in vegetables production in Koulikoro and Mopti Regions, Mali. *Handbook of Climate Change Resilience*. Cham: Springer International Publishing, 1–32. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71025-9_101-1
- Kaya, B., Niang, A., Tabo, R., & Bationo, A. (2007). Performance evaluation of various agroforestry species used in short duration improved fallows to enhance soil fertility and sorghum yields in Mali. In A. Bationo, B. Waswa, J. Kihara, & J. Kimetu (Eds.), *Advances in Integrated Soil Fertility Management in sub-Saharan Africa: Challenges and Opportunities* (pp. 547–556). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5760-1_52
- Keita, B. (2022). *Baisse de la production céréalière* (p. 5). Ministère du développement durable.
- Keita, I., Dicko, G., Coulibaly, M. O., Diancoumba, O., & Daou, I. (2023). Dynamics of land use and their effects on the landscape in the rural commune of Meguetan (Koulikoro/Mali). *African Scientific Journal*, 3(18), 345–345.
- Kwasi, S., Cilliers, J., Donnenfeld, Z., Welborn, L., & Maïga, I. (2019). *Perspectives pour les pays du G5 Sahel à l'horizon 2040*. Institut d'Etude de Sécurité (ISS).
- L'Afrique et le changement climatique. (2021, September 22). In *Le Journal Afrique*. TV5MONDE.
- Landaverde, R., Rodriguez, M. T., Niewoehner-Green, J., Kitchel, T., & Chuquillanqui, J. (2022). Climate change perceptions and adaptation strategies: A mixed methods study with subsistence farmers in rural Peru. *Sustainability*, 14(23), 16015. <https://doi.org/10.3390/su142316015>
- Limantol, A. M., Keith, B. E., Azabre, B. A., & Lennartz, B. (2016). Farmers' perception and adaptation practice to climate variability and change: A case study of the Vea catchment in Ghana. *SpringerPlus*, 5, 1–38. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2433-9>
- Mashi, S. A., Inkani, A. I., & Oghenejabor, O. D. (2022). Determinants of awareness levels of climate smart agricultural technologies and practices of urban farmers in Kuje, Abuja, Nigeria. *Technology in Society*, 70, 102030. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102030>

- Meena, R. K., Vikas, T., Yadav, R., Mahapatra, S., Surya, J. N., Singh, D., & Singh, S. (2019). *Local perceptions and adaptation of indigenous communities to climate change: Evidences from High Mountain Pangji valley of Indian Himalayas*.
- Ministère de l'Agriculture. (2013). *Politique de Développement Agricole du Mali (PDA)*. République du Mali.
- Ministère de l'Environnement de l'Assainissement et du Développement Durable (MEADD). (2020). *Programme de définition des cibles nationales de la Neutralité de dégradation des Terres (PDC/NDT), du Ministère de l'Environnement, de l'assainissement et du développement durable* (p. 37) [Rapport national_Note politique de haut niveau_Mali]. République du Mali.
- Ministère des collectivités territoriales. (2021). *Programme de développement économique social et culturel (P.D.E.S.C.) 2018 – 2022 Révisé* (p. 61). Avec l'appui Financier du Projet PARIIS et de l'accompagnement technique de l'OPDL/PARIIS, de l'Agence de Développement Régional (ADR) de Koulikoro et le Service Local du Plan de la Statistique de l'Informatique de l'Aménagement et de la Population (SLPSIAP) de Koulikoro.
- Mounirou, L. A., Yonaba, R., Tazen, F., Ayele, G. T., Yaseen, Z. M., Karambiri, H., & Yacouba, H. (2022). Soil erosion across scales: Assessing its sources of variation in Sahelian landscapes under semi-arid climate. *Land*, 11(12), 2302. <https://doi.org/10.3390/land11122302>
- Negash, T. W., Dirirsa Bayisa, G., Tefera, A. T., Tezera Bizuneh, K., Dinku, A. G., Awulachew, T. W., & Ashemi Bikela, G. (2023). Evapotranspiration and Crop Coefficient of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) at Melkassa Farmland, Semi-Arid Area of Ethiopia. *Air, Soil and Water Research*, 16, 11786221231184206. <https://doi.org/10.1177/11786221231184206>
- Penda, S., Synnevåg, G., Moro, S., Madian, D. Y., Laban, K., Fatou, T., Mama, S., Désiré, D. B., Sadio, T., & Aly, T. (2020). *Perceptions paysannes des impacts du changement climatique sur les ressources et les systèmes de production: Cas du cercle de Yélimané au Mali*.
- Purwanti, T. S., Syafril, S., Huang, W.-C., & Saeri, M. (2022). What drives climate change adaptation practices in smallholder farmers? Evidence from potato farmers in Indonesia. *Atmosphere*, 13(1), 113. <https://doi.org/10.3390/atmos13010113>
- Reddy, K. V., Paramesh, V., Arunachalam, V., Das, B., Ramasundaram, P., Pramanik, M., Sridhara, S., Reddy, D. D., Alataway, A., & Dewidar, A. Z. (2022). Farmers' perception and efficacy of adaptation decisions to climate change. *Agronomy*, 12(5), 1023. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051023>
- Rodrigo-Comino, J., Terol, E., Mora, G., Giménez-Morera, A., & Cerdà, A. (2020). Vicia sativa Roth. Can reduce soil and water losses in recently planted vineyards (*Vitis vinifera* L.). *Earth Systems and Environment*, 4, 827–842. <https://doi.org/10.1007/s41748-020-00191-5>
- Sangaré, H. (2018). *Erosion hydrique des sols dans le Moyen Bagoé en zone soudanienne du Mali: Etude expérimentale et spatialisation dans le bassin versant de Korola, cercle de Sikasso*. IPR/IFRA de Katibougou, USTT-B.
- Sanogo, K., Birhanu, B. Z., Sanogo, S., & Ba, A. (2023). Landscape pattern analysis using GIS and remote sensing to diagnose soil erosion and nutrient availability in two agroecological zones of Southern Mali. *Agriculture & Food Security*, 12(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00408-6>
- Sanogo, T., Ballo, A., & Garba, I. (2022). *Perception locale des changements climatiques sur l'élevage et les stratégies d'adaptation dans la commune rurale de Tioribougou*.
- Yue, S., & Wang, C. Y. (2002). Applicability of prewhitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann-Kendall test. *Water Resources Research*, 38(6), 41-47. <https://doi.org/10.1029/2001WR000861>
- Soumaoro, T., Dagnoko, S., & Konte, M. (2022). Perceptions et adaptations au changement climatique dans le Sud du Mali. *Annale Des Sciences Economiques et de Gestion*, 21(2).
- Touré, F. (2020). *Programme de définition des cibles nationales de la Neutralité de dégradation des Terres (PDC/NDT)* (p. 56) [Rapport National « NDT » Mali]. Ministère de l'Environnement, de l'assainissement et du développement durable.

- Touré, I., Larjavaara, M., Savadogo, P., Bayala, J., Yirdaw, E., & Diakite, A. (2020). Land degradation along a climatic gradient in Mali: Farmers' perceptions of causes and impacts. *Land Degradation & Development*, 31(18), 2804–2818. <https://doi.org/10.1002/ldr.3683>
- Traoré, A. T., Traoré, K., Diallo, H., & Diallo, S. (2023). Climate situation and measure of sustainable land management with agroforestry system, adoption and benefits perceived by farmers: Case of the Mafele village, Bougouni region in Mali. *Int J Res Adv Agri Sci (IRAAS)*, 2(19). <https://ijraas.com/ojs/index.php/ijraas/article/view/22>
- Traoré, L., Bello, O. D., Togola, A., Balogoun, I., Chabi, F., Yabi, I., Ahoton, E. L., & Saïdou, A. (2021). Farmers' perceptions of climate change and adaptation strategies on sorghum productivity in the Sudanian and Sahelian zones of Mali. *African Crop Science Journal*, 29(1), 157–175. <https://doi.org/10.4314/acsj.v29i1.11>
- Warren, M. (1992). Democratic theory and self-transformation. *American Political Science Review*, 86(1), 8–23. <https://doi.org/10.2307/1964012>
- Weisz, D. E., More, K., McNamara, P. J., & Shah, P. S. (2014). PDA ligation and health outcomes: A meta-analysis. *Pediatrics*, 133(4), e1024–e1046. <https://doi.org/10.1542/peds.2013-3431>
- Zhong, B., Wu, S., Sun, G., & Wu, N. (2022). Farmers' Strategies to Climate Change and Urbanization: Potential of Ecosystem-Based Adaptation in Rural Chengdu, Southwest China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(2), 952. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020952>

Inundación y cambio climático: multicausalidad en la ciudad de Santa Lucía, Uruguay entre 1990-2021

Flooding and climate change: multicausality in the city of Santa Lucía, Uruguay between 1990 and 2021

AUTORÍA

Lucía Eluén 

Grupo académico Geografía, Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, Universidad de la República. Uruguay.

Marcel Achkar 

Grupo académico Geografía, Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, Universidad de la República. Uruguay.

Feline Schön 

Grupo académico Geografía, Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, Universidad de la República. Uruguay.

DOI

<https://doi.org/10.14198/INGEO.26770>

CITACIÓN

Eluén, L., Achkar, M., & Schön, F. (2024). Inundación y cambio climático: multicausalidad en la ciudad de Santa Lucía, Uruguay entre 1990-2021. *Investigaciones Geográficas*, (82), 63-84. <https://doi.org/10.14198/INGEO.26770>

CORRESPONDENCIA

Lucía Eluén (leluen@fcien.edu.uy)

HISTORIA

Recibido: 11 enero 2024
Aceptado: 30 abril 2024
Publicado: 10 julio 2024
(Publicación anticipada: 6 junio 2024)

TÉRMINOS

© Lucía Eluén, Marcel Achkar, Feline Schön

 Este trabajo se publica bajo una licencia Creative Commons de Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Resumen

Con la finalidad de caracterizar la variabilidad de las inundaciones en la ciudad de Santa Lucía, Uruguay, el objetivo del trabajo fue analizar a nivel de cuenca la incidencia de factores como la variabilidad climática y las transformaciones en los usos y coberturas del suelo en la ocurrencia de este fenómeno. Específicamente, se evalúa la incidencia de la variabilidad de las precipitaciones e intensificación productiva en relación a los cambios en el nivel del cauce. Se seleccionaron estaciones pluviométricas y del nivel del cauce para evaluar tendencias climáticas entre 1990 y 2021 y se determinaron los Cambios de Uso y Cobertura del Suelo (CUCS) mediante teledetección. Los resultados muestran para Santa Lucía una tendencia de disminución en la cantidad y duración de los eventos de crecida en otoño y parcialmente en la cantidad de eventos de crecida en verano y primavera; así como un aumento en la duración de eventos de alerta en invierno. Se identifican dos patrones: a) inundaciones condicionadas por los aportes provenientes del río Santa Lucía Chico y b) inundaciones condicionadas por los aportes de las nacientes del río Santa Lucía. Un rol importante juega la asociación entre el CUCS y el comportamiento climático de la distribución espacial de las precipitaciones, pero también, el manejo de la represa Paso Severino. Los eventos concomitantes que inciden en las inundaciones, evidencian la necesidad de ampliar las variables de estudio para el análisis de la gestión de las inundaciones.

Palabras clave: cambio de uso y cobertura del suelo; ciudades inundables; crecidas; cuencas hidrográficas; gestión integral del riesgo; América del Sur.

Abstract

In order to characterize the variability of floods in the city of Santa Lucía, Uruguay, the objective of this study is to analyze at the basin level how factors such as climate variability and changes in land use and cover influence the occurrence of this phenomenon. Specifically, it evaluates the incidence of rainfall variability and productive intensification in relation to changes in riverbed level. Rainfall and channel level stations have been selected to evaluate climatic trends between 1990 and 2021 and the Land Use and Cover Changes (LUCC) have been determined by remote sensing. The results show, for Santa Lucía, a decreasing trend in the number and duration of flood events in autumn and partially in the number of flood events in summer and spring. They also reveal an increase in

the duration of warning events in winter. Two patterns can be identified: a) floods conditioned by inflows from the Santa Lucía Chico river and b) floods conditioned by inflows from the headwaters of the Santa Lucía river. An important role is played by the association between the LUCC and the climatic behavior of the spatial distribution of precipitation, but also by the management of the Paso Severino dam. The concomitant events that influence floods show the need to broaden the study variables to include the analysis of flood management.

Keywords: land use and cover change; urban waterscapes; floods; hydrographic basin; integrated risk management; South America.

1. Introducción

El cambio en el régimen de eventos de inundaciones en espacios urbanos es una problemática global actual, que genera amenazas y riesgos continuos para la sociedad. En relación a esta realidad, el rol de los humedales urbanos es un área poco investigada en las ciencias ambientales, aunque se ha demostrado que el cambio de uso y cobertura del suelo urbano tiene impactos complejos en la hidrología de las cuencas (Schön et al., 2022; Hettiarachchi et al., 2014; Paul & Meyer, 2001). Los humedales son sistemas ambientales altamente dinámicos (Naiman et al., 2005) y cada vez más se entiende su importancia en la adaptación al cambio climático, por su contribución al equilibrio de los flujos de agua en periodos de crecida y sequía (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010). Sin embargo, la importancia de los humedales en relación con los eventos de inundación no es considerada, y se continúa con la creciente urbanización en las planicies de inundación (Baptista et al., 2017).

Especialmente en relación con el cambio climático se presenta un nuevo escenario ya que cada vez se observan más fenómenos meteorológicos extremos (Panel Intergubernamental del Cambio Climático, 2021). Esta realidad implica, que tanto los humedales como las poblaciones locales se vuelven más vulnerables, ya que probablemente los eventos de inundación aumenten (Xiao et al., 2016). Por lo que la ubicación de los asentamientos urbanos en zonas bajas es un factor de riesgo (Sheng et al., 2022). Las inundaciones son originadas principalmente por precipitaciones intensas, pero también otros factores pueden estar asociados a sus causas, como la reducción de la capacidad de infiltración del suelo, la impermeabilización y/o la saturación de la napa freática (Baptista et al., 2017; Benavides et al., 2018), cuestiones que se relacionan directamente con el uso y cobertura del suelo (Aliste et al., 2012; García et al., 2018).

La fuerte presencia del modelo agroexportador en la región Pampa de América del Sur está asociada con el avance de la frontera agrícola que se caracteriza por la implementación de monocultivos, la siembra directa y la aplicación de paquetes tecnológicos con mayor demanda de agroquímicos y combustibles fósiles (Svampa, 2019); lo que facilita que la expansión e intensificación agrícola llegue a tierras que no se habían usado para tales fines. Este proceso es favorecido por el aumento en la demanda global de los nuevos *commodities*, y conlleva a cambios ambientales importantes (Brazeiro et al., 2020; García Préchac et al., 2010). Estos Cambios en el Uso y Cobertura del Suelo (CUCS) impactan también en el régimen hidrológico, modificando sustancialmente el ciclo hidrológico debido a la intensificación productiva, y por esta razón se vincula de forma directa con impactos negativos en la capacidad de regulación del suelo (Benavides et al., 2018; Rollán & Bachmeier, 2014) y, por lo tanto, en la capacidad de respuesta del sistema ante posibles eventos de inundación. Según Delgado et al. (2020), la variabilidad climática y los CUCS son dos impulsores críticos de la alteración hidrológica de las cuencas hidrográficas.

Por otro lado, el desarrollo de infraestructuras en los cursos fluviales, como las represas con fines de abastecimiento de agua, también pueden ser considerados relevantes en la dinámica hidrológica de los sistemas fluviales (World Commission on Dams, 2000). Además, el manejo del régimen hídrico puede alterar la variabilidad natural de los caudales, tanto en su magnitud como en el momento de ocurrencia, incidiendo en la dinámica de inundación de las planicies aluviales y su biodiversidad acuática asociada (Hirsch et al., 1990; Bunn & Arthington, 2002).

Estas transformaciones generan cambios en los sistemas hidrológicos, con algunas problemáticas asociadas, como por ejemplo las inundaciones. Esta realidad se puede observar en la ciudad de Santa Lucía (Uruguay), que se encuentra en la cuenca más importante del país por ser la fuente de agua potable de más del 60 % de la población de Uruguay (Achkar et al., 2013).

Frente al escenario de cambio climático es imprescindible generar estrategias de manejo de las cuencas (Achkar, 2013), que consideren como eje central la funcionalidad multidimensional del sistema y la interdependencia de sus componentes, entre los objetivos de gestión es importante la prevención de desastres en áreas urbanas a través del ordenamiento territorial sustentable (Nightingale et al., 2019; Schön et al., 2022).

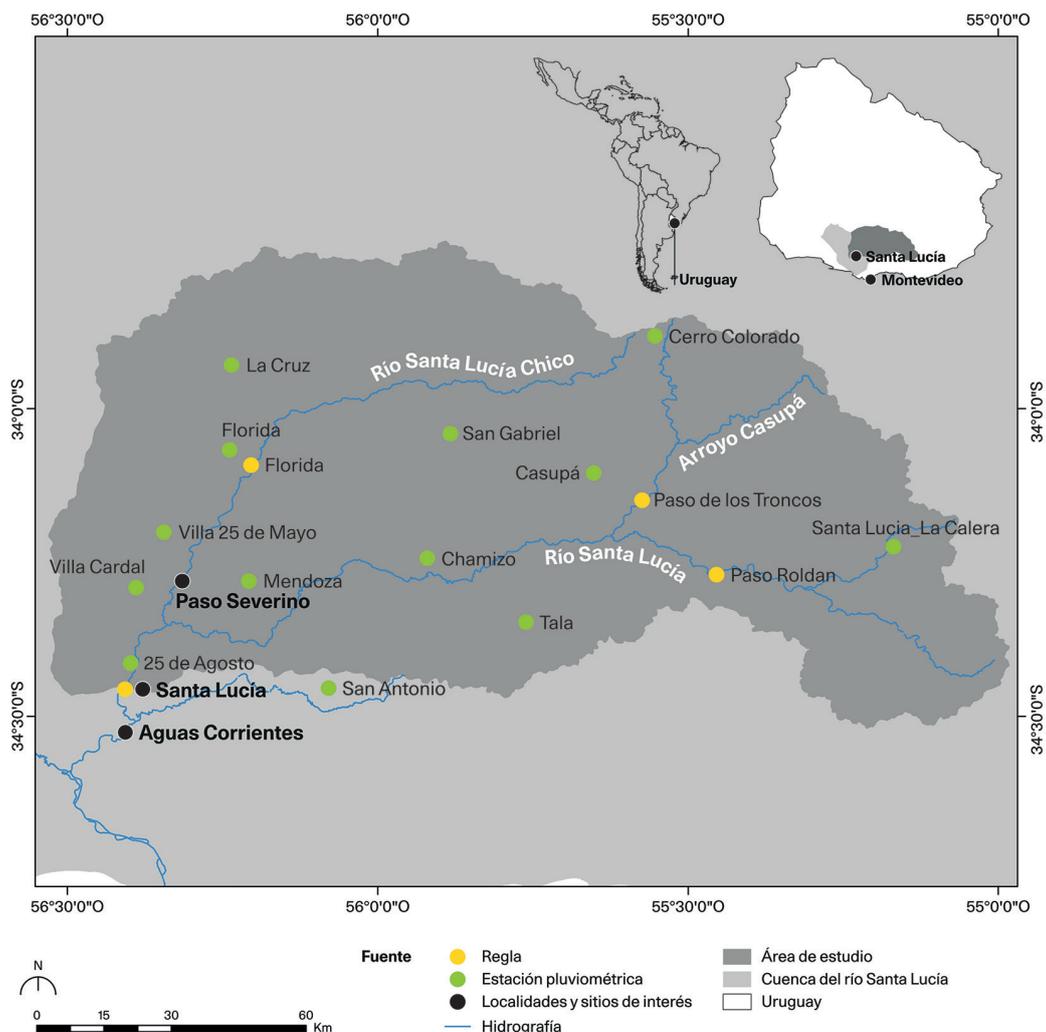
Con la finalidad de caracterizar la variabilidad de las inundaciones en la ciudad de Santa Lucía, Uruguay, el objetivo del trabajo fue analizar a nivel de cuenca la incidencia de factores como la variabilidad climática y las transformaciones en los usos y coberturas del suelo en la ocurrencia de este fenómeno. Específicamente, se evalúa la incidencia de la variabilidad de las precipitaciones e intensificación productiva en relación a los cambios en el nivel del cauce del río.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

Uruguay se encuentra en el bioma Pampa, en la baja cuenca del río de la Plata en América del Sur. El clima es templado subtropical y no presenta una estación lluviosa, ya que el promedio de las precipitaciones se distribuye a lo largo del año de manera no estacional. El caso de estudio es la ciudad de Santa Lucía y su área de estudio es la cuenca que comprende la superficie de la cuenca del río Santa Lucía que drena hasta la Estación de relevamiento del nivel del río, regla ubicada en el puente de la ruta 11 a la altura de la ciudad (Figura 1). La ciudad de Santa Lucía, que en 2011 tenía 16.742 habitantes (Instituto Nacional de Estadística, 2011), presenta el 65 % de su urbanización en área de humedal (Schön, 2021). Además, es la primera ciudad del departamento y séptima a nivel nacional, con mayor riesgo de inundación (Dirección Nacional de Aguas [DINAGUA], 2022a). La ciudad se localiza al margen del río Santa Lucía, aguas arriba de la ciudad se encuentra la represa Paso Severino inaugurada en 1988 y aguas abajo la usina y planta potabilizadora de Aguas Corrientes construida en 1868.

Figura 1. Área de estudio



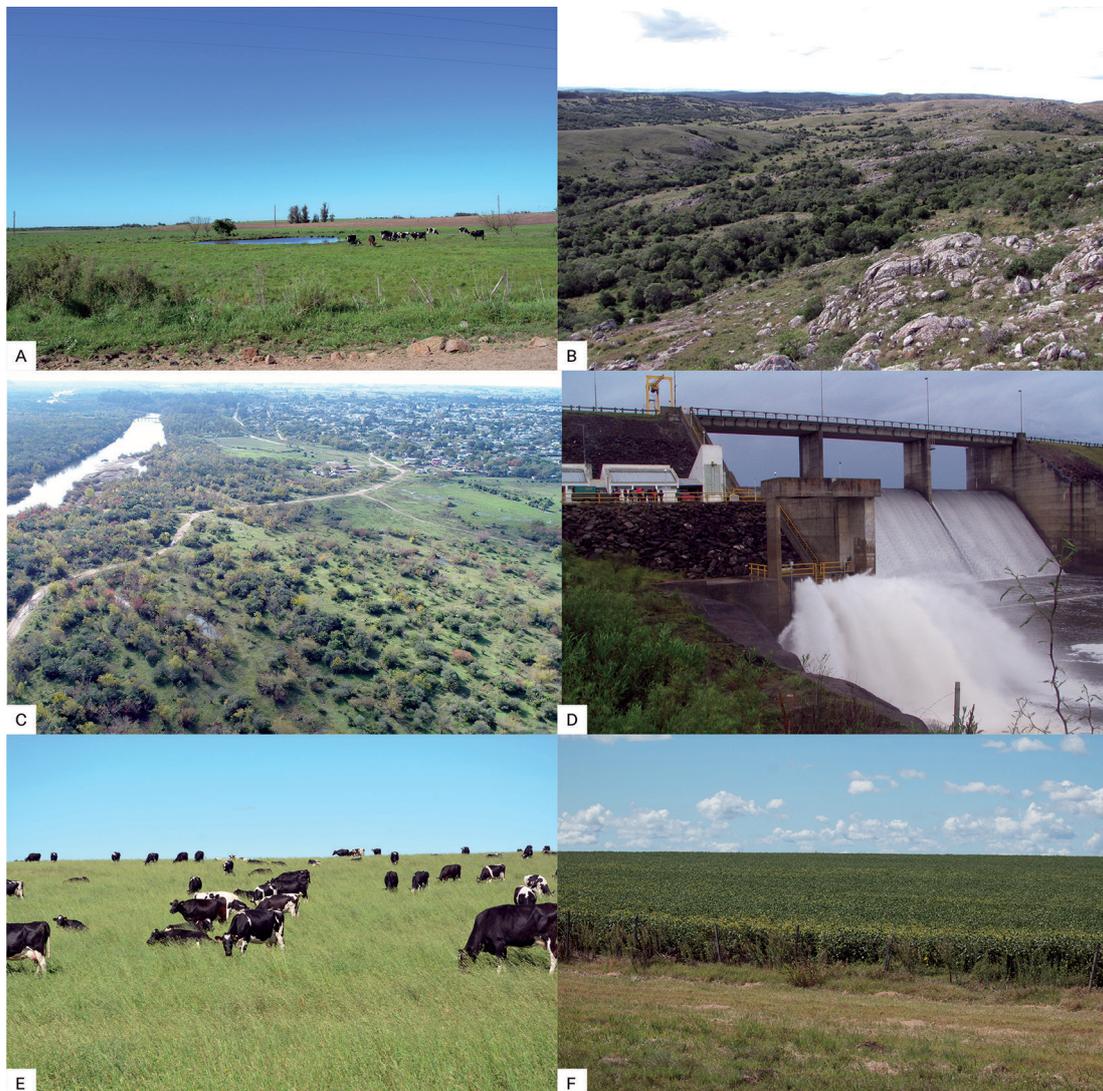
Localización del área de estudio, a nivel de América del Sur, a nivel de Uruguay y a nivel de cuenca hidrográfica. Localización de las estaciones pluviométricas y de los niveles del cauce (reglas). Proyección: UTM Zona 21S; Datum: WGS 1984

Fuente: DINAGUA, 2021; Instituto Uruguayo de Meteorología [INUMET], 2021. Elaboración propia

El entramado urbano afectado por las inundaciones está localizado en la planicie de inundación, y abarca el barrio El Caimán e inmediaciones de la zona histórica de la ciudad (DINAGUA, 2022b). El evento de mayor afectación registrado para el período de estudio fue en 2019 (DINAGUA, 2022b), en que las inundaciones alcanzaron zonas que no suelen inundarse y presentó un saldo de dos fallecidos, 153 evacuados y 838 autoevacuados (Sistema Nacional de Emergencia [SINAE], 2022). A pesar de que a nivel nacional no existe un registro sistemático de las afectaciones por inundación anterior al año 2018, en 2010 se registró 200 evacuados y 67 viviendas afectadas, en menor medida en 2007 se registró 30 evacuados y 10 viviendas afectadas y en 2011 se registró seis autoevacuados, dos viviendas afectadas (SINAE, 2017).

El área de estudio es una cuenca que se encuentra en el sur del país y ocupa una superficie de 8.374 km² (Figura 2), su curso principal el río Santa Lucía con 208 km, y recibe como principal tributario al río Santa Lucía Chico. El relieve se caracteriza por ser ondulado suave a ondulado fuerte (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca [MGAP], 1994). Las nacientes orientales son una zona de sierras, caracterizada por el interfluvio de las cuchillas grandes del este, que, por la geometría de la cuenca, es una zona de amplia captación hídrica con pendiente pronunciada que disminuye hacia la desembocadura formando una depresión que acumula sedimentos y se corresponde con la zona geológica de la fosa del río Santa Lucía, donde predomina el paisaje de lomadas y llanuras y planicies fluviales. En el margen oeste de la cuenca, donde se encuentra el río Santa Lucía Chico, se encuentran las colinas y lomadas cristalinas. Los suelos predominantes son Brunosoles y Vertisoles (Achkar et al., 2013; MGAP, 1994).

Figura 2. Paisajes característicos del área de estudio



A. Zona media del río Santa Lucía Chico; B. Naciente occidental del río Santa Lucía; C. Sistema ripario y ciudad de Santa Lucía; D. Represa Paso Severino; E y F. Paisajes agrarios.

Fotografías de los autores. Elaboración propia

2.2. Estrategia Metodológica

La estrategia metodológica se basó en identificar patrones sobre la ocurrencia de los eventos de inundación en la ciudad de Santa Lucía. Para eso se analizó la respuesta hidrológica del área de estudio a los factores climáticos e intensificación productiva. En particular, las variables analizadas son incidencia de la variabilidad de las precipitaciones y CUCS, en los cambios del nivel de cauce. Se seleccionaron puntos de estaciones pluviométricas y de nivel del cauce (reglas) con una distribución tal que permita cubrir la superficie del área de estudio y con datos disponibles para un período de treinta años que permita evaluar tendencias climáticas (Organización Meteorológica Mundial, 2018) entre 1990 y 2021. Para analizar el comportamiento de las variables, nivel del cauce y precipitación, se trabajó con series históricas de datos y se evaluó para cada punto las tendencias globales (acumulado mensual) y por estación del año (acumulado estacional); también se analizó la relación entre las series históricas de cada variable y entre variables. Se determinaron los cambios de uso y cobertura del suelo entre 1990 y 2019, a partir de la variación de superficie de cada clase de uso y cobertura del suelo identificada mediante teledetección.

2.2.1. Variabilidad de los eventos de inundación: nivel del cauce

Para evaluar tendencias en los eventos de inundación se analizó la variabilidad de los niveles del cauce en cuatro puntos (Tabla 1), distribuidos en las estaciones de relevamiento de las reglas (Figura 1). Los eventos de inundación se determinaron a partir de los datos diarios de altura del nivel del cauce proporcionados por DINAGUA (2021). Se consideraron como eventos de inundación dos niveles de altura del cauce. Nivel de crecida: son los eventos de inundación en que la altura del cauce se encuentra con su canal completo, es decir, el agua del río llega hasta el borde del canal o desborda y comienza a inundar la planicie de inundación. Nivel de alerta: son los eventos de inundación en los que la altura del nivel del cauce implica daños para los habitantes, ya que el río inunda la planicie de inundación hacia zonas urbanas y rurales habitadas, afectando la caminería, cunetas, accesos, aislamiento de campos o primeras viviendas.

Tabla 1. Nivel de crecida y alerta para las reglas del área de estudio

Estación de relevamiento de nivel del cauce /reglas	133.0 Santa Lucía Puente Ruta 11	53.1 Florida Puente Ruta 5	119.0 Paso de los Troncos Puente Ruta 40	117.0 Paso Roldán Puente Ruta 108
Localización en la cuenca	Ciudad de Santa Lucía	Naciente occidental	Naciente oriental	Naciente oriental
Cauce	Río Santa Lucía	Río Santa Lucía Chico	Arroyo Casupá	Río Santa Lucía
Nivel de crecida (m)	4,5	5	1,8	5
Nivel de alerta (m)	8	6,2	5	12

Fuente: Salida de campo 31.04.2022, con excepción de los niveles de alerta de Santa Lucía y Florida en base a proyecto Euroclima + sobre mapas de riesgo de inundación proporcionado por DINAGUA, 2021. Elaboración propia

A partir de la determinación de los niveles de altura del cauce considerados eventos de inundación, se generaron cuatro series categóricas por regla, cantidad de eventos de crecida, cantidad de eventos de alerta, duración de los eventos de crecida y duración de los eventos de alerta de los cauces. Para cuantificar la cantidad de eventos se consideró el número de eventos y se trabajó con la sumatoria mensual y estacional; para cuantificar la duración de los eventos se consideró la cantidad de días que duró cada evento y se trabajó con los promedios mensuales y estacionales.

Estas series permitieron obtener la sumatoria y duración de los eventos mensuales (utilizada para la evaluación global) y estacionales, con las cuales se exploró la presencia de tendencias significativas ($p < 0,05$) y parcialmente significativas ($0,05 \geq p \geq 0,1$) en la cantidad y duración de eventos de crecida y alerta de los cauces, mediante el test Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) utilizado para evaluar tendencias en series temporales hidrometeorológicas (Caorsi et al., 2018; Hirsch & Slack, 1984; Schön, 2021).

Por otro lado, se analizó la relación entre los niveles de los cauces del área de estudio. Para ello se evaluó la existencia de asociaciones estadísticamente significativas entre cada set de reglas por cada serie categórica (de cantidad y duración de eventos de crecida y alerta) según acumulado mensual y estacional, a partir del test de correlación de rangos no paramétrico de Spearman's r_s (Legendre & Legendre, 1998), el cual considera que la correlación es significativa cuando los valores se acercan a 1.

2.2.2. Variabilidad climática: comportamiento de las precipitaciones

Para evaluar la variación de la precipitación en el área de estudio se analizaron 13 estaciones pluviométricas (Figura 1), se utilizaron los registros de dichas estaciones debido a que se encuentran dentro del área de estudio o muy próximas (dos) y presentan registros durante todo el período de trabajo.

Se trabajó con datos diarios de precipitación de las series históricas proporcionados por el Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) (2021). El análisis realizado exploró posibles tendencias aplicando el test Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) a dos niveles, considerando las precipitaciones acumuladas mensuales y estacionales, para eso se sumaron los acumulados diarios generando dos series categóricas de acumulado.

Se evaluó la existencia de asociaciones estadísticamente significativas de la variación espacial de las precipitaciones a partir del test no paramétrico de Spearman's ρ_s , correlacionando las series pluviométricas de acumulado mensual y estacional por separado. En tanto que, para analizar la relación entre precipitación y nivel del río, se correlacionó cada una de las series estacionales de los eventos de inundación (nivel de crecida y alerta) de la regla en la ciudad de Santa Lucía con las series estacionales de precipitación de las 13 estaciones pluviométricas, a partir del test de correlación de rangos no paramétrico de Spearman's ρ_s (Legendre & Legendre, 1998).

2.2.3. Transformaciones espaciales: cambio de uso y cobertura del suelo

Para evaluar las principales transformaciones en los usos y coberturas del suelo del área de estudio se compararon las capas de uso y cobertura del suelo de los años 1990 y 2019 mediante su procesamiento en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se considera este periodo, ya que permite comparar con las series de los eventos de inundación y precipitaciones de treinta años y además incluye una fecha anterior al tiempo de intensificación agraria en Uruguay, según resultados de Domínguez et al. (2018) y Gazzano et al. (2019).

Para la determinación de la situación actual del uso y cobertura del suelo se trabajó con una clasificación realizada por la División de Información Ambiental de la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA) del Ministerio de Ambiente del año 2019, en la cual se realizaron ajustes y simplificación para obtener seis categorías (Humedales, Bosque serrano, Campo natural, Forestación, Cultivos e Infraestructura). Para la comparación con la situación inicial de la serie temporal en estudio, se generó una cobertura de uso del suelo para el año 1990, a partir de una imagen TM/Landsat-5 del 16/10/1990 donde se realizó una clasificación supervisada. Se parte de identificar una serie de puntos (78, distribuidos en las 6 categorías) sin cambios en el CUCS entre la imagen de 1990 y 2019, se trabaja con las mismas categorías ajustadas de la clasificación de 2019. Para la clasificación supervisada se utiliza el 60 % de los puntos y los 40 restantes para evaluar el resultado de la clasificación. La comparación de los CUCS tiene nivel de aceptación a escala 1:50.000.

Sobre la base de los resultados de Domínguez et al. (2018) y Gazzano et al. (2019) se determinó la intensidad de uso del suelo, tipo de CUCS por superficie ocupada. A partir de estos resultados se vinculó la intensidad de uso y cobertura del suelo con los eventos de inundación para identificar cómo afectan los CUCS a la variación de los eventos de inundación. Para eso se analizó la variación de superficie de las clases de uso y cobertura de suelo a nivel de sub cuenca, la sub cuenca del río Santa Lucía Chico y la sub cuenca del río Santa Lucía desde la naciente oriental hasta la unión con el río Santa Lucía Chico.

3. Resultados

Se presentan los resultados obtenidos para el área de estudio en relación con las tendencias del nivel del cauce, precipitación y la vinculación entre sí, para el período 1990-2021. Además, se muestran los cambios de uso y cobertura del suelo entre 1990 y 2019.

3.1. Comportamiento del nivel del río entre 1990-2021

Al analizar el comportamiento del nivel del río entre 1990-2021 en las cuatro reglas evaluadas se observa que sólo dos presentan variaciones en la ocurrencia de eventos de inundación con tendencias significativas según el test Mann Kendall, Santa Lucía y Florida. Por otro lado, se destaca que para la regla de Paso Roldán no se registraron eventos de alerta.

El comportamiento de los eventos de inundación, indica que en la regla de Santa Lucía la tendencia global es a una disminución significativa en la cantidad y duración de los eventos de crecida ($p: 0,0077622$ y $Z: -2,6622$; $p: 0,034289$ y $Z: -2,1167$ respectivamente) (Anexo 1).

Al evaluar el comportamiento de los eventos de crecida por estación del año (Anexo 2 y 3), se observa que en otoño la tendencia es de disminución significativa en la cantidad (con $p: 0,013495$; $Z: -2,4704$) y duración ($p: 0,048776$; $Z: -1,9705$). En verano y primavera se observa una disminución parcialmente significativa de la cantidad de eventos de crecida (con un $p: 0,0601160$; $Z: -1,8799$ y $p: 0,084661$; $Z: -1,7243$ respectivamente). Por otro lado, la duración de los eventos de alerta (Anexo 3) es significativamente creciente en invierno ($p: 0,029325$; $Z: 2,1791$).

Para la regla de Florida (Anexo 2 y 3) en otoño la tendencia también es a disminuir significativamente el número de eventos de crecida (con $p: 0,03116$; $Z: -2,1307$). En tanto que en invierno la ocurrencia de eventos de alerta presentó una tendencia significativamente creciente en la cantidad ($p: 0,039011$; $Z: 2,0641$) y la duración de los eventos ($p: 0,019381$; $Z: 2,3381$), también la tendencia de la duración de los eventos de crecida es significativamente creciente en invierno ($p: 0,030237$; $Z: 2,167$).

Entre marzo de 1990 y setiembre de 2021, la regla de Santa Lucía registró 210 eventos de crecidas ($\geq 4,5$ m) de las cuales 48 fueron eventos de alerta (≥ 8 m, corte de ruta). Al identificar los eventos extremos y considerar la cota de seguridad empleada para la ciudad de Santa Lucía (9,64 m) (com. Pers. Alcalde Santa Lucía, 3 de junio, 2023), son 12 los eventos de alerta identificados, siendo el primer registro de la serie en el año 1997 (Tabla 2). Se destaca que los eventos de mayor magnitud se dan en los años 2016 y 2019. Según los acumulados diarios de precipitación esto se explica principalmente por las precipitaciones abundantes en los días previos y al inicio del evento de alerta.

Tabla 2. Eventos de inundación con nivel del río Santa Lucía mayor o igual a 9,64m

Estación del año	H(m) máxima registrada durante el evento	Duración del evento (días)
Verano 1997	9,80	4
Otoño 2002	10,00	4
Otoño 2002	10,25	3
Invierno 2006	9,90	3
Otoño 2007	9,67	5
Otoño 2007	10,15	5
Verano 2010	10,10	6
Primavera 2010	10,33	5
Otoño 2016	11,06	6
Invierno 2017	10,44	5
Invierno 2019	11,48	5
Primavera 2019	10,44	4

Fuente: DINAGUA, 2021. Elaboración propia

La variación espacial de los eventos de inundación en el área de estudio (Anexo 4) indica que, en términos globales, el comportamiento de los eventos de inundación en los cauces evaluados es similar y presenta asociaciones significativamente positivas según el test de correlación de rangos no paramétrico de Spearman's ρ s. La correlación del acumulado mensual de los eventos de crecida y alerta, indican valores de correlación significativos que varían entre 0,540 y 0,670.

Al evaluar las asociaciones entre los eventos de inundación (crecida y alerta) por estación (Anexo 5), se destaca que en casi todos los casos las asociaciones entre variables son significativamente positivas, con excepción en invierno para la correlación entre los eventos de crecida de las reglas de Paso Roldan y Florida y entre los eventos de alerta de las reglas de Paso de los Troncos y Florida. Las correlaciones significativas con asociaciones positivas más fuertes se presentan en otoño y las más débiles se presentan en invierno. En particular, las reglas de Santa Lucía y Florida por un lado y Paso de los Troncos y Paso Roldán por otro,

presentan un comportamiento similar entre ellas tanto en los eventos de crecida como de alerta. Esto se observa en los valores de correlación de la cantidad de eventos de crecida en otoño, invierno y para la correlación de la cantidad de eventos de alerta en verano, otoño e invierno y en la duración de eventos de alerta en invierno (Anexos 5 y 6).

Al comparar la relación entre la cantidad de eventos de crecida de la regla de Santa Lucía con las demás (Anexo 5), podemos decir que la correlación es mayor con Florida en otoño e invierno y con Paso de los Troncos en verano y primavera. En particular, en verano los valores más altos de correlación entre eventos de crecida se observan entre Paso Roldán y Paso de los Troncos con 0,896 y los valores más bajos de correlación entre eventos de crecida se dan entre Santa Lucía y Florida con 0,411. En otoño los niveles de correlación más altos se dan entre Santa Lucía y Florida con 0,798 y Paso Roldán y Paso de los Troncos con 0,718. Invierno es la estación con los valores de correlación más bajos, ya que los valores más altos de correlación se observan entre Santa Lucía y Florida con 0,559, y Paso Roldán y Paso de los Troncos con 0,514. En tanto que en primavera los valores más altos de correlación se dan entre Santa Lucía y Paso de los Troncos con 0,674, seguida de Santa Lucía y Florida con 0,652.

Al comparar la relación de la cantidad de eventos de alerta de la regla de Santa Lucía con las demás reglas (Anexo 5), se observa que la correlación es mayor con Florida en verano, otoño e invierno y con Paso de los Troncos en primavera. En particular, en verano se dan los valores más bajos de correlación de los eventos de alerta, donde los valores más altos de asociación positiva se dan entre Santa Lucía y Florida con 0,512. Otoño es la estación que presenta los valores más altos de asociaciones positivas, en que los eventos de alerta entre Santa Lucía y Florida presentan una correlación de 0,760. En invierno los valores más altos de correlación son entre Santa Lucía y Florida con 0,610. En tanto que en primavera Santa Lucía presenta los valores más bajos de correlación con Florida de 0,498; en comparación con Paso de los Troncos (0,502), siendo los valores más altos de correlación Florida y Paso de los Troncos con 0,671.

Al evaluar las asociaciones entre la duración de eventos de inundación por estación (Anexo 6), se destaca que en casi todos los casos las asociaciones entre variables son significativamente positivas, con excepción de la correlación en invierno entre los eventos de crecida de la regla de Paso de los Troncos y las restantes reglas y; entre los eventos de alerta entre Paso de los Troncos y Florida.

La variación espacial de la duración de los eventos de inundación en el área de estudio no muestra un patrón claro, aunque presentan asociaciones más fuertes a nivel general en otoño (crecidas entre 0,540 y 0,731; alertas entre 0,658 y 0,739) (Anexo 6). Se destaca que la duración de los eventos de crecida presenta la asociación más débil en invierno entre Santa Lucía y Florida (0,226). Por otro lado, en invierno la duración de los eventos de alerta presenta una asociación fuerte entre Santa Lucía y Florida (0,621), pero que no se diferencia con Paso de los Troncos (0,621).

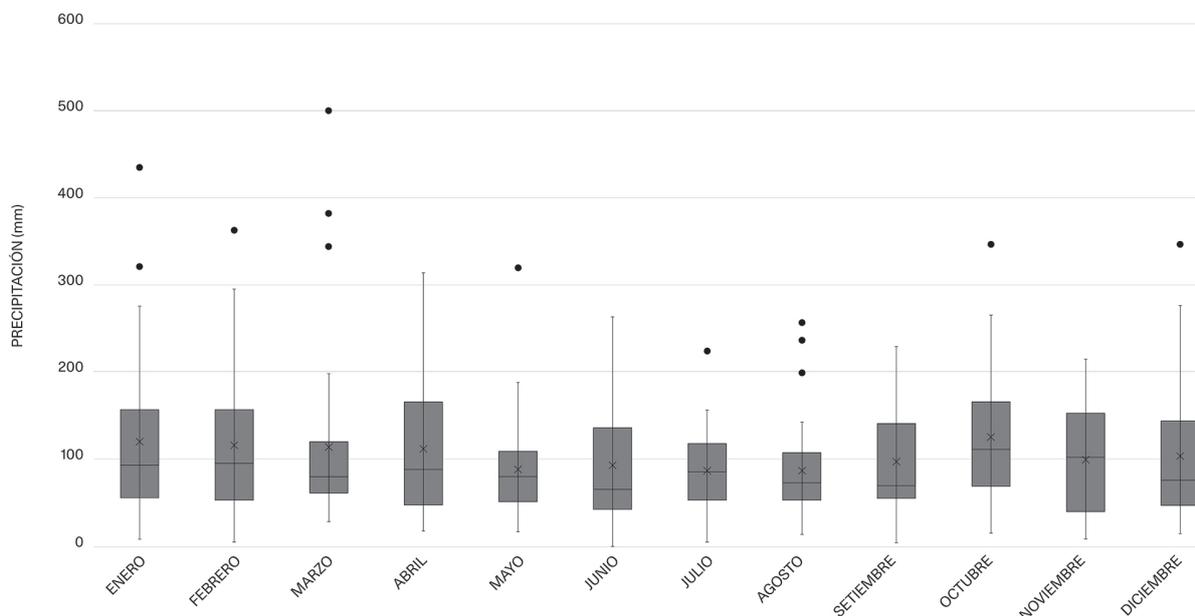
Al comparar la relación de la duración de los eventos de alerta de la regla de Santa Lucía con las demás reglas (Anexo 6), podemos decir que la correlación es mayor en verano con Florida, en otoño con Paso de los Troncos, en invierno presenta igual asociación con Florida y Paso de los Troncos y en primavera con Paso de los Troncos. En particular, verano es la estación con valores de correlación más bajos a nivel general. En otoño se observan los valores más altos de correlación a nivel general, las asociaciones más fuertes son entre Santa Lucía-Paso de los Troncos (0,739) y Santa Lucía-Florida (0,728). Además, en invierno Santa Lucía presenta con Florida y Paso de los Troncos una correlación positiva y significativa en ambos casos (0,621). En primavera los valores de correlación más altos se dan entre Florida y Paso de los Troncos (0,665) y los más bajos entre Santa Lucía y Florida (0,629).

3.2. Comportamiento de las precipitaciones entre 1990-2021

El promedio del acumulado mensual de las precipitaciones entre 1990 y 2021, indica una distribución no estacional de las precipitaciones (Figura 3). Al analizar la tendencia global de la variación de las precipitaciones entre 1990-2021 se observa que, el análisis de las 13 series temporales de precipitación acumulada mensual, no mostraron tendencia significativa según el test Mann Kendall. Sin embargo, se hallaron tendencias parcialmente significativamente decrecientes de las precipitaciones en dos estaciones pluviométricas: 25 de Mayo ($p= 0,056113$; $Z: -1,9102$) y San Antonio ($p= 0,09541$; $Z: -1,6675$). La correlación del acumulado mensual de precipitación, indican que el comportamiento de las precipitaciones es similar en toda el área de estudio, con valores de correlación significativos que varían entre 0,702 y 0,923, según el test de correlación de rangos no paramétrico de Spearman's r_s .

El análisis de las tendencias estacionales de precipitación, realizado a partir del acumulado estacional (Tabla 3) muestra resultados estadísticamente significativos para las estaciones de otoño e invierno, donde en otoño la tendencia parece indicar una posible disminución y en invierno un posible aumento de las precipitaciones. Por otro lado, el comportamiento de las precipitaciones a nivel estacional mostró una correlación significativa entre las estaciones pluviométricas del área de estudio.

Figura 3. Promedio del acumulado mensual de las precipitaciones 1990-2020 del área de estudio



Análisis realizado en base a la estación pluviométrica 25 de Agosto.

Fuente: INUMET, 2021. Elaboración propia

Tabla 3. Tendencia de las precipitaciones en el área de estudio, a nivel estacional para el período 1990-2021

Estación pluviométrica	Otoño	Invierno
25 de Agosto	p: 0,032286; Z: -2,1409	
Mendoza	p: 0,098067; Z: -1,6543	
Casupá	p: 0,071782; Z: -1,8005	p: 0,057785; Z: 1,8973
Cerro Colorado	p: 0,079841; Z: -1,7516	p: 0,088619; Z: 1,7027
Chamizo		p: 0,029715 Z: 2,1739
Florida		p: 0,016379 Z: 2,4004
La Cruz		p: 0,022224 Z: 2,2865
Villa Cardal		p: 0,011403 Z: 2,5301
San Antonio		p: 0,079841 Z: 1,7516

Análisis de Mann-Kendall según acumulado estacional de las precipitaciones, valores de significancia (p) y magnitud (Z). Casos estadísticamente significativos ($p < 0,05$) texto en negro, casos parcialmente significativos ($0,05 \geq p \geq 0,1$) texto en rojo.

Fuente INUMET, 2021. Elaboración propia

La incidencia de las precipitaciones en los eventos de inundación de la ciudad de Santa Lucía a nivel estacional (Anexo 7), indica que la correlación entre los eventos de inundación (crecida y alerta) y las precipitaciones en todos los casos son significativamente positivas. Esta correlación es esperable, dado que es necesaria la presencia de precipitaciones para que aumente el nivel del cauce.

En particular, la relación de las precipitaciones con los eventos de crecida y alerta es mayor en otoño, con un promedio de correlación de 0,657 y 0,647, respectivamente. En otoño tanto la precipitación como los eventos de crecida disminuyen.

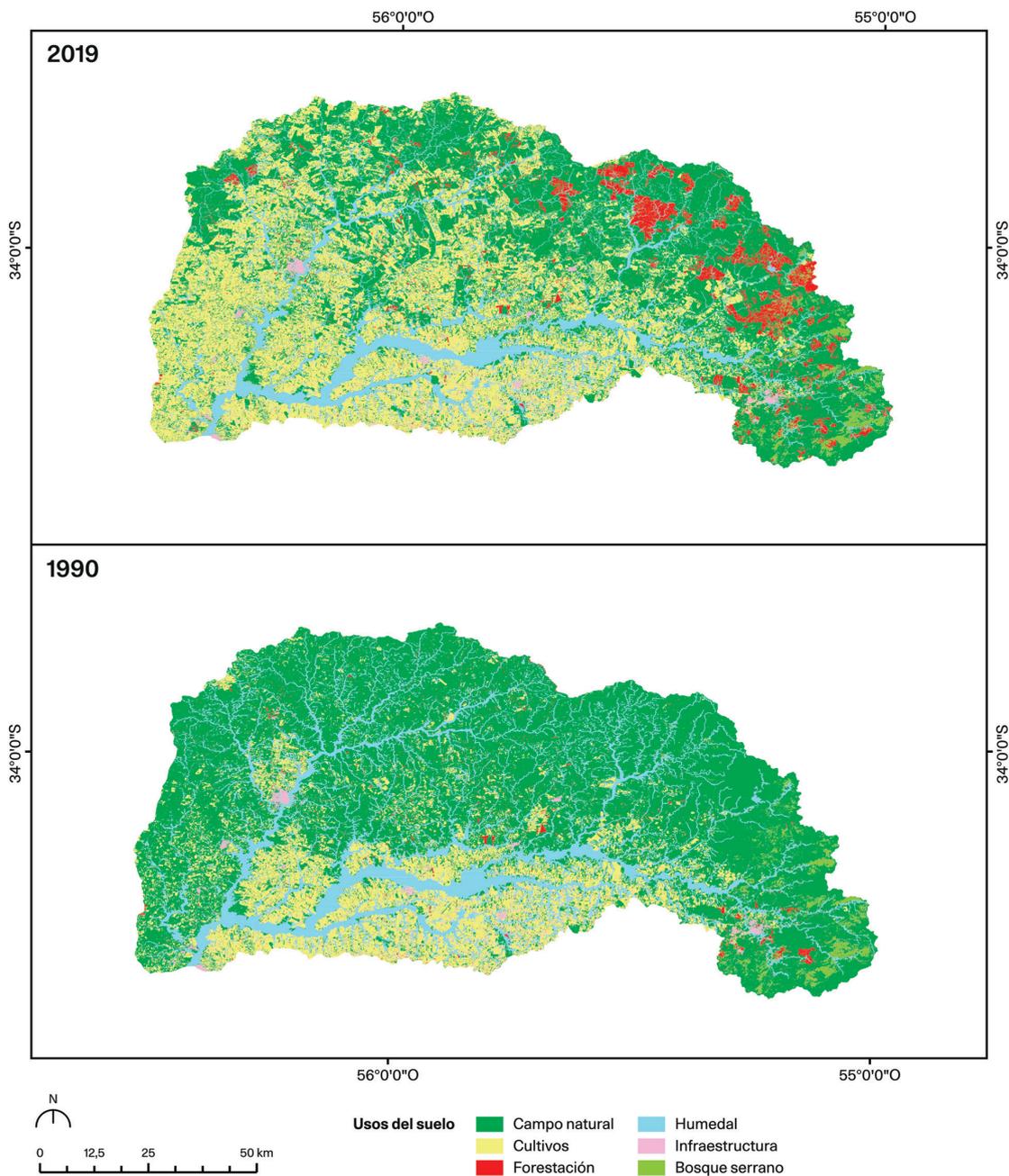
Por otro lado, la baja correlación de las precipitaciones con los eventos de crecida en invierno, con un promedio de 0,451 y los eventos de alerta en primavera y verano, con un promedio 0,431 y 0,434 respectivamente, sugiere que otros factores están incidiendo en los eventos de inundación.

La relación de las precipitaciones con la duración de los eventos de alerta en Santa Lucía indica que es mayor en otoño con un promedio de 0,646, seguida en invierno con un promedio de 0,528, verano con un promedio de 0,439 y primavera 0,409.

3.3. Cambio de uso y cobertura del suelo

La variación de los usos y coberturas del suelo entre 1990 y 2019 en el área de estudio sugiere transformaciones espaciales importantes, principalmente asociada a la expansión productiva que generó la disminución del 21 % de la superficie del campo natural (Figura 4, Tabla 4).

Figura 4. Distribución de usos y coberturas del suelo del área de estudio en 1990 y 2019



Proyección: UTM Zona 21S. Datum: WGS 1984

Fuente: DINAMA, 2019. Elaboración propia

En términos globales en 1990 la cobertura del suelo predominante fue el campo natural con un 63 %, seguidas por cultivos 19 % y un 15 % de humedales. En 2019 el cultivo se expande notoriamente en el norte del área de estudio y se intensifica en el sur y suroeste, ocupando 36 % de la superficie, lo que resulta en una disminución del campo natural al 42 %. Otro aumento importante fue la forestación a un 4,4 % principalmente en la cuenca alta, y mínimamente el área de bosque serrano. Los humedales siguen ocupando el mismo porcentaje de la superficie como también la infraestructura.

Tabla 4. Clasificación de uso y cobertura del suelo años 1990 y 2019, superficies en porcentajes según el total del área de estudio

Uso y cobertura del suelo	Categorización de uso y cobertura del suelo	1990 (%)	2019 (%)	Diferencia de superficie (%)
Campo natural	Es la clase más genérica al estar conformada por pastizales de diferente productividad.	63	42	- 21
Cultivos	Cultivos y parcelas de praderas plantadas con fines forrajeros, que sustituyen por completo la cobertura vegetal y presentan una firma espectral similar a los cultivos.	19	36	17
Forestación	Superficies forestadas destinadas a la industria forestal o para montes de abrigo.	1	4,4	3,4
Humedales	Representa áreas bajas con y sin vegetación, que permanecen inundadas en forma permanente o la mayor parte del año.	15	15	0
Infraestructura	Zonas industriales, residenciales y de caminería	1	1	0
Bosque serrano	Bosque que en su mayoría está representado por bosques serranos.	1	1,6	0,6

Fuentes: Las categorías fueron adaptadas a partir de la propuesta de Schön (2021) y DINAMA, 2019. Elaboración propia

Al observar los CUCS a nivel de subcuenca (Tabla 5), se puede observar que la mayor transformación ocurre en la sub cuenca del río Santa Lucía Chico en que la superficie de cultivos se expande y de campo natural se contrae. Por otro lado, se observa que el incremento de la forestación es mayor en la subcuenca de la naciente oriental del río Santa Lucía.

Tabla 5. Cambio de uso y cobertura del suelo a nivel de subcuencas, del río Santa Lucía Chico y de la naciente del río Santa Lucía

Uso y cobertura del suelo	Sub cuenca del río Santa Lucía Chico			Sub cuenca de la naciente del río Santa Lucía hasta la unión con el río Santa Lucía Chico		
	1990 (%)	2019 (%)	Diferencia de superficie (%)	1990 (%)	2019 (%)	Diferencia de superficie (%)
Campo natural	73	41,5	- 31,5	56	42	- 14
Cultivos	13	42,5	29,5	23,5	32	8,5
Forestación	0,5	2	1,5	1	6,5	5,5
Humedales	12,5	12	-0,5	16,5	16,5	0
Infraestructura	1	1	0	1	1	0
Bosque serrano	0	1	1	2	2	0

Elaboración propia

4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en relación a los niveles del río permiten afirmar que en la ciudad de Santa Lucía existe una tendencia de disminución significativa en la cantidad y duración de los eventos de crecida en otoño y parcialmente significativa en la cantidad de eventos de crecida en verano y primavera; así como un

aumento significativo en la duración de eventos de alerta de invierno. El análisis del comportamiento de los eventos de inundación (crecida y alerta) en la ciudad de Santa Lucía identifican la existencia de dos patrones: a) inundaciones condicionadas por los aportes provenientes del río Santa Lucía Chico y b) inundaciones condicionadas por los aportes provenientes de las nacientes del río Santa Lucía.

Según la Organización de los Estados Americanos (OEA) (1971) en la cuenca de Santa Lucía no existe una época de creciente bien definida. En cada año es posible observar crecientes independientes. Además, la distribución de las crecidas, permite constatar que en el período invierno-primavera la frecuencia de las crecidas es mayor, y que pueden ocurrir crecientes importantes en cualquier mes del año, aún durante los períodos de estiaje (verano). Aun así, la tendencia observada en Santa Lucía, es de disminución de eventos de crecida en otoño, sin embargo, en la última década de la serie analizada se registran inundaciones de mayor magnitud. Esta observación coincide con el aumento de eventos extremos a nivel regional (Santelices & Rojas, 2016) y se relaciona con el cambio ambiental global presente, que como sostiene Steffen et al. (2004) se caracteriza por modificaciones de procesos y estructuras ambientales de una manera irreversible, con el aumento de la artificialización sistemática de ecosistemas (Romero, 2006).

En Santa Lucía la disminución de los eventos de crecida en verano, en parte se explica por el comportamiento del río Santa Lucía Chico, pero también influye el manejo de la represa de Paso Severino, ya que en esta época del año la represa cumple una función relevante de almacenamiento de agua, dado que existe mayor demanda de agua y menor aporte por precipitaciones. Aunque la OEA (1971) proyectó que la construcción de la represa tendría poca incidencia en el pico de la crecida y no afectaría el comportamiento de los eventos de inundaciones en la ciudad de Santa Lucía; argumentando que el volumen escurrido durante las crecientes es varias veces mayor que la capacidad del embalse. Según Berga (2006) existen distintos tipos de presas que pueden cumplir funciones en el control de las crecidas; las presas de regulación de caudal, como las de abastecimiento de agua, no son las más eficientes para el control de las crecidas. En ese sentido, el desarrollo de modelos para planificar la operación de un embalse durante la ocurrencia de crecida (Weber et al., 2015) sugiere que es posible y necesario analizar en particular el rol de la presa de Paso Severino en el manejo de las inundaciones.

Por otro lado, la disminución del nivel del cauce en otoño, y aumento de la duración de las alertas en invierno, acompañan la tendencia de las precipitaciones, de disminución en otoño y aumento en invierno. En cambio, las tendencias de las alertas (cantidad y duración) en invierno, primavera y verano presenta escasa relación con las precipitaciones, esta situación sugiere que otros factores pueden estar incidiendo en el comportamiento de los eventos de inundación.

La tendencia de las precipitaciones por estaciones en el área de estudio coincide en invierno con las tendencias encontradas por Schön (2021) en cuencas adyacentes como la cuenca del río San José, o la cuenca del río Yi, donde también se encontraron tendencias de aumento de precipitación en invierno. Sin embargo, Bidegain et al. (2012) observan en primavera-verano tendencias crecientes de precipitaciones para el oeste del país. También se identifican en primavera y verano un aumento de las precipitaciones acumuladas para la cuenca del Plata entre 1971 y 2015 (Bidegain et al., 2017). Castaño et al. (2007) muestran un aumento de precipitación en la temporada cálida para el bioma Pampa, y Varuolo-Clarke et al. (2021) afirman que en el sur-este de Sudamérica se muestra un incremento importante de precipitaciones en verano. La diferencia en el comportamiento de las precipitaciones halladas en el presente estudio podría asociarse con efectos de parches o heterogeneidad espacial de eventos extremos y acumulados (Frich et al., 2002).

El aumento de los eventos extremos, también en Santa Lucía, es una de las consecuencias del cambio ambiental global, y como sostienen Xiao et al. (2016) esta tendencia según los pronósticos seguirá incrementando a futuro. Además, coincide con el desarrollo de la intensificación agraria del modelo agroexportador a nivel nacional que se expande sobre tierras marginales para la producción agrícola (Domínguez et al., 2018; García Préchac et al., 2010; Gazzano et al., 2019) y que posiblemente están afectando el régimen hidrológico. Ya que esta tendencia de cambio en la matriz productiva implica, por un lado, el aumento de cultivos transgénicos y sus paquetes asociados con mayor demanda de agroquímicos y combustibles fósiles; y por otro, la desaparición de las rotaciones pastura-agricultura (García Préchac et al., 2010). La ganadería suele desplazarse a suelos sin aptitud agrícola, como los márgenes de los cursos de agua que son degradados por sobrepastoreo (Pérez Bidegain, et al., 2010). Las transformaciones en el uso y cobertura del suelo identificadas en el área de estudio coinciden con las proyecciones para la cuenca del Santa Lucía (Achkar et al., 2013), tanto para el avance de la agricultura como en la forestación y además, coinciden con las tendencias de la región, donde se puede observar que la intensificación agraria desplaza pastizales y pasturas por monocultivos como soja y maíz, respondiendo una demanda mundial por *commodities* agrícolas que conlleva una pérdida de biodiversidad y cambios en las escorrentías (Aguayo et al., 2006; García Préchac et al., 2010; Svampa, 2019).

Los cambios más importantes del área de estudio se corresponden con el aumento de la agricultura en detrimento del campo natural. Estos cambios son más notorios en la subcuenca del río Santa Lucía Chico que en la subcuenca de la naciente oriental del río Santa Lucía, siendo más relevantes entorno a la ciudad de Santa Lucía donde se presentan suelos con mayor aptitud agrícola en relación a los suelos superficiales de las zonas de cuchillas en las nacientes. El aumento de la superficie de los cultivos de verano, puede vincularse a la disminución de los eventos de crecida del nivel del río observados en Santa Lucía en verano. Esto se explica porque los cultivos de verano, como la soja, están asociados a sistemas intensivos de siembra directa que presentan niveles de erosión mayor que el campo natural, y si bien reducen los niveles de erosión frente a los sistemas tradicionales de laboreo, generalmente mantienen niveles de erosión por encima de lo tolerable (Pérez Bidegain et al., 2010). Como corolario, estos sistemas, principalmente cuando no mantienen la cubierta del suelo o no se devuelve suficiente biomasa al sistema, promueven la pérdida de estructura de suelos, compactación y aumento de escorrentía (Álvarez et al., 2004; Díaz Zorita et al., 2000), lo que conduce a una pérdida de capacidad de almacenamiento de agua en suelo que en periodos de estiaje (verano), puede disminuir la disponibilidad de agua en la cuenca y en consecuencia en verano reducir el aporte de agua al cauce.

Por otro lado, como muestran Behrends Kraemer et al. (2013), al identificar desplazamientos de la ganadería extensiva por agricultura intensiva en la región, los suelos desprovistos de cobertura vegetal sufren erosión/compactación, aumentando la escorrentía. Estos procesos se agravan en invierno y por lo tanto contribuyen al aumento de la duración de los eventos de alerta. Cuando se relaciona el uso y cobertura del suelo en la cuenca con la capacidad de infiltración del agua al suelo, se puede observar una relación directa con los eventos de inundación, como sostienen Gallegos Reina y Perles Roselló (2019).

Por otro lado, la disminución de las inundaciones en otoño también podría ser explicada por el aumento de la forestación, que se encuentra principalmente en la cuenca alta de la naciente oriental, y podría expandirse notoriamente a futuro por la proyección del país en relación a la forestación, a los suelos 5.02b. Esta tendencia expansiva se basa en la implementación de la Ley Forestal N° 15.939 de 1987. Como consecuencia de la implementación de los monocultivos se pierden muchos territorios de pastizales naturales. El cambio de pastizales a plantaciones forestales monoespecíficas genera modificaciones importantes en el ciclo hidrológico, como muestran varios estudios (Jobbágy et al., 2013; Perez, 2007). Los suelos cubiertos con monocultivos forestales presentan menor capacidad de mantener el agua en comparación a los suelos del campo natural cubierto con pasturas, por lo que se reduce la escorrentía, debido al aumento de la evapotranspiración, y como consecuencia disminuyen también los caudales altos (Alvarez-Garreton et al., 2019). La localización de la forestación en las nacientes de la cuenca también puede comprometer la disponibilidad para la cosecha de agua en esta cuenca estratégica.

El análisis de la superposición y retroalimentación de distintos factores que actúan en conjunto, aumentan el riesgo para la población frente a eventos de inundación, como ha sido discutido por Couasnon et al. (2020) y Zscheischler et al. (2018). En la interpretación científica sobre las inundaciones, el cambio climático y la dinámica de uso de suelo se reconoce que influyen en la estructura de eventos compuestos intensificando tendencias e incluso modifican las tendencias históricas de los sistemas ambientales. En Santa Lucía juega un rol importante la asociación entre el CUCS y el comportamiento climático, pero también como muestran los datos relevados, la distribución espacial de las precipitaciones en la cuenca, el manejo de la represa Paso Severino, y el viento sur, como sostienen los informantes calificados, interfiere en el aumento de caudal (Eluén & Schön, 2023). Además, si el comportamiento de las inundaciones no sigue un patrón regular (OEA, 1971), es posible que estos factores, actuando en concomitancia, aumenten la dispersión de los eventos de inundación.

Sin embargo, la integración de estos factores en modelos explicativos de la variación temporal de las inundaciones y su intensidad, aún es incipiente y requieren profundizar en los estudios empíricos. En este contexto, las actividades humanas, el uso y cobertura del suelo en la cuenca merecen una atención especial para comprender mejor el desarrollo y los efectos de los sucesos compuestos y contribuir así a mejorar o ampliar el marco teórico para la evaluación de riesgos (Zscheischler et al., 2018). Aunque, la consideración de varios factores que conducen a las inundaciones a menudo sigue sin tenerse en cuenta cuando se aplican los métodos clásicos de análisis de inundaciones (Ward et al., 2015).

Por lo cual, es sumamente importante analizar el conjunto de causas que pueden influir en el comportamiento de un río. Esta circunstancia afirma que la unidad analítica tiene que ser el sistema ambiental en su totalidad, que comprende tanto el subsistema social (humano) como el ecológico (biofísico) en interacción mutua (Gallopín, 2006). Los CUCS, como base de las relaciones entre sociedad y naturaleza y factor integrante del cambio ambiental global, que ocurren en la cuenca, tienen que integrar el análisis de las causas de las inundaciones. Además, posibilita a escala local diseñar e implementar estrategias de manejo del territorio, como apuntan Blanco Wells et al. (2017).

5. Conclusiones

Las inundaciones en Santa Lucía se explican primeramente por la localización de la ciudad en un área de humedal, además la geometría de la cuenca indica una amplia zona de captación hídrica, en ese sentido el río Santa Lucía realiza aportes significativos de caudal de agua a la altura de la ciudad. Para entender la dinámica de los eventos de inundación es necesario analizar el aporte de los ríos Santa Lucía y Santa Lucía Chico en conjunto; aunque, las inundaciones en la ciudad de Santa Lucía, parecen estar más vinculadas a la situación de la cuenca del río Santa Lucía Chico, tanto en la ocurrencia y distribución de precipitaciones, el uso y cobertura del suelo y el manejo de la represa Paso Severino. Por tanto, es prioritario orientar los mayores esfuerzos en la implementación de un plan de manejo de esta cuenca que integre criterios de sustentabilidad, que permita a la represa Paso Severino cumplir su función de respaldo de agua para Aguas Corrientes y minimizar los riesgos para la población de la ciudad de Santa Lucía. Sin embargo, también se identificaron sinergias con la situación y aportes de agua desde la cuenca oriental del río Santa Lucía, factor que debe ser considerado ya que puede profundizar la frecuencia y duración de los eventos de inundación en invierno.

En invierno, el CUCS explica mejor la variación de los eventos de inundación, en especial la interacción entre eventos importantes de precipitaciones y la ocurrencia de grandes superficies de suelos descubiertos o con muy poca vegetación. En este contexto surge la necesidad de disponer de predicciones para las precipitaciones de mediano plazo que permitan diseñar manejos adecuados de la cobertura vegetal y así orientar la regulación del escurrimiento superficial y los caudales del río en los momentos máximos de precipitaciones.

En verano, el manejo de la represa Paso Severino destaca como un factor importante en la regulación del nivel del río. Siendo necesario un programa de manejo de la represa que integre su función principal de reserva para Aguas Corrientes con la regulación del nivel del río. Asociado con análisis de la distribución espacial de los cultivos de verano en la cuenca del río Santa Lucía Chico, para optimizar la dinámica del escurrimiento superficial. Además, en el corto plazo es posible un aumento de la superficie de cultivos de verano regados, lo que introduce una nueva variable a considerar en la comprensión del comportamiento de las inundaciones.

El avance y la intensificación de la frontera agrícola que experimenta la cuenca del río Santa Lucía, refleja la situación nacional y regional. Los CUCS en el área de estudio, afectan la cantidad y calidad del agua del río, al impactar sobre sus ecosistemas. Las presiones que directa o indirectamente acontecen sobre las praderas, los humedales, los bosques fluviales, zonas de recarga de acuíferos en las zonas de sierras y escarpas con monte serrano, compromete las aguas subterráneas y la producción hídrica de la cuenca. Además, la cantidad de agua de la cuenca se ve afectada por la exportación de agua y alteración del ciclo hidrológico para abastecer a una población que en su mayoría no vive en la cuenca.

Los diversos factores que se interrelacionan e inciden en los patrones de los eventos de inundación de la ciudad de Santa Lucía, pone en evidencia la necesidad de ampliar las variables de estudio consideradas para el análisis de la gestión del riesgo de las inundaciones, análisis que también debe incluirse y ser incluido en el diseño y proyección de las políticas agrarias.

En síntesis, este trabajo aporta al caso de estudio con un análisis cuantitativo sobre el comportamiento de las inundaciones desde el enfoque multiescalar de cuencas hidrográficas. Además, genera información para el trabajo académico con la comunidad en procesos de Educación ambiental, que permitan avanzar en el conocimiento y aplicación de soluciones a los problemas ambientales que se expresan en los territorios a distintas escalas. El presente trabajo contribuye en la integración de aspectos metodológicos para la gestión de las inundaciones, al considerar diversos factores hidrológicos, climáticos y de uso y cobertura del suelo. El abordaje de complementariedad de variables favorece el análisis en contextos de escasez de disponibilidad de datos y aporta a la comprensión multicausal de las dinámicas de inundación de áreas urbanas localizadas en humedales.

Financiación

La investigación que da origen a los resultados presentados en la presente publicación recibió fondos de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación bajo el código POS_EXT_2023_1_175236.

Agradecimientos

Agradecemos por los datos brindados a la Dirección Nacional de Aguas y a la Dirección Nacional de Medio Ambiente del Ministerio de Ambiente de la República Oriental del Uruguay y al Instituto Uruguayo de Meteorología.

Anexos

Anexo 1. Tendencia global de los eventos de inundación

Regla	Cantidad de eventos de crecida	Duración de los eventos de crecida
Santa Lucía	Decreciente p: 0,0077622; Z: -2,6622	Decreciente p: 0,034289; Z: -2,1167

Tendencia global (acumulado mensual) del área de estudio para el período 1990-2021 según el análisis de Mann-Kendall, expresado en valores de significancia (p) y magnitud (Z). La información presentada corresponde a los casos estadísticamente significativos ($p < 0,05$) texto en negro y casos parcialmente significativos ($0,05 \geq p \geq 0,1$) texto en rojo.

Fuente DINAGUA, 2021. Elaboración propia

Anexo 2. Tendencia estacional de la cantidad de eventos de inundación

Regla	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA
Santa Lucía	Crecidas parcialmente decreciente p: 0,060116; Z: -1,8799	Disminución de crecidas p: 0,013495; Z: -2,4704		Disminución de crecidas p: 0,084661; Z: -1,7243
Florida		Disminución de crecidas p: 0,033116; Z: -2,1307	Incremento de alertas p: 0,039011; Z: 2,0641	

Tendencia estacional de la cantidad de los eventos de inundación (crecida y alerta) del área de estudio para el período 1990-2021 según el análisis de Mann-Kendall, expresado en valores de significancia (p) y magnitud (Z). La información presentada corresponde a los casos estadísticamente significativos ($p < 0,05$) texto en negro y casos parcialmente significativos ($0,05 \geq p \geq 0,1$) texto en rojo.

Fuente DINAGUA, 2021. Elaboración propia

Anexo 3. Tendencia estacional de la duración de eventos de inundación

Regla	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA
Santa Lucía	Disminución de duración de las crecidas p: 0,048776; Z: -1,9705	Incremento de la duración de las alertas p: 0,029325; Z: 2,1791	
Florida		Incremento de la duración de las crecidas. p: 0,030237; Z: 2,167 Incremento de duración de las alertas. p: 0,019381; Z: 2,3381	
Paso Roldán			Duración de las crecidas parcialmente creciente. p: 0,061801; Z: 1,8677

Tendencia estacional de la duración de los eventos de inundación (crecida y alerta) del área de estudio para el período 1990-2021 según el análisis de Mann-Kendall, expresado en valores de significancia (p) y magnitud (Z). La información presentada corresponde a los casos estadísticamente significativos ($p < 0,05$) texto en negro y casos parcialmente significativos ($0,05 \geq p \geq 0,1$) texto en rojo.

Fuente DINAGUA, 2021. Elaboración propia

Anexo 4. Relación global de la cantidad de eventos de inundación

CRECIDAS	Florida	Santa Lucía	Paso Roldán	Paso de los Troncos
Florida		4,48E-41	5,10E-37	7,78E-52
Santa Lucía	0,615		1,30E-45	9,37E-36
Paso Roldán	0,589	0,641		2,38E-40
Paso de los Troncos	0,674	0,580	0,6103	
ALERTAS	Florida	Santa Lucía	Paso Roldán	Paso de los Troncos
Florida		1,03E-42	N/A	1,33E-33
Santa Lucía	0,625		N/A	7,74E-31
Paso de los Troncos	0,565	0,544	N/A	

Variación espacial del acumulado mensual de los eventos de crecida y alerta entre las reglas del área de estudio, para el período 1990-2021 y según el test de correlación Spearman's rs. El cuadrante diagonal superior expresa el valor de p, significancia, $p < 0,05$ significativo. El cuadrante diagonal inferior expresa el valor de correlación, $0 > \text{coeficiente de correlación} \leq 1$ existe asociación positiva entre variables. Texto en rojo son los casos en que las correlaciones arrojaron valores no significativos. N/A: No aplica.

Fuente DINAGUA, 2021. Elaboración propia

Anexo 5. Relación estacional de la cantidad de los eventos de inundación

CRECIDAS					ALERTAS			
VERANO	Florida	Santa Lucía	Paso Roldán	P. de los Troncos	VERANO	Florida	Santa Lucía	P. de los Troncos
Florida		0,021652	0,00011689	0,00032261	Florida		0,0032118	0,0061872
Santa Lucía	0,411		0,00029768	0,00020876	Santa Lucía	0,512		0,0044004
Paso Roldán	0,637	0,607		9,71E-12	P. de los Troncos	0,481	0,498	
Paso de los Troncos	0,604	0,618	0,896					
OTOÑO	Florida	Santa Lucía	Paso Roldán	P. de los Troncos	OTOÑO	Florida	Santa Lucía	P. de los Troncos
Florida		4,61E-08	0,00015762	0,0001921	Florida		4,50E-07	0,00015199
Santa Lucía	0,798		0,00027106	0,0015004	Santa Lucía	0,760		7,09E-06
Paso Roldán	0,619	0,602		3,79E-06				
Paso de los Troncos	0,613	0,538	0,718		P. de los Troncos	0,620	0,703	
INVIERNO	Florida	Santa Lucía	Paso Roldán	P. de los Troncos	INVIERNO	Florida	Santa Lucía	P. de los Troncos
Florida		0,00087485	0,09992	0,014896	Florida		0,00020741	0,41175
Santa Lucía	0,559		0,0040947	0,0080037	Santa Lucía	0,610		0,026232
Paso Roldán	0,296	0,494		0,0026431				
Paso de los Troncos	0,427	0,460	0,514		P. de los Troncos	0,150	0,393	
PRIMAVERA	Florida	Santa Lucía	Paso Roldán	P. de los Troncos	PRIMAVERA	Florida	Santa Lucía	P. de los Troncos
Florida		7,04E-05	0,00022002	0,00025546	Florida		0,0043718	3,55E-05
Santa Lucía	0,652		0,00031022	3,22E-05	Santa Lucía	0,498		0,0039694
Paso Roldán	0,618	0,605		0,00021151				
P. de los Troncos	0,612	0,674	0,618		P. de los Troncos	0,671	0,502	

Variación espacial a nivel estacional de los eventos de crecida y alerta entre las reglas del área de estudio, para el período 1990-2021 y según el test de correlación Spearman's rs. El cuadrante diagonal superior expresa el valor de p, significancia, $p < 0,05$ significativo. El cuadrante diagonal inferior expresa el valor de correlación, $0 > \text{coeficiente de correlación} \leq 1$ existe asociación positiva entre variables. Texto en rojo son los casos en que las correlaciones arrojaron valores no significativos. N/A: No aplica.

Fuente DINAGUA, 2021. Elaboración propia

Anexo 6. Relación de la duración de los eventos de inundación

CRECIDAS					ALERTAS			
VERANO	Santa Lucía	Florida	P. de los Troncos	Paso Roldán	VERANO	Santa Lucía	Florida	P. de los Troncos
Santa Lucía		0,016536	0,00019661	0,0039328	Santa Lucía		0,0031714	0,0058467
Florida	0,427		0,00014051	9,19E-05	Florida	0,51293		0,0042917
P. de los Troncos	0,620	0,631		1,30E-08	P. de los Troncos	0,48361	0,49875	
Paso Roldán	0,503	0,644	0,823					
OTOÑO	Santa Lucía	Florida	P. de los Troncos	Paso Roldán	OTOÑO	Santa Lucía	Florida	P. de los Troncos
Santa Lucía		1,30E-05	2,00E-06	6,10E-05	Santa Lucía		2,30E-06	1,38E-06
Florida	0,689		1,41E-03	0,00091504	Florida	0,728		4,21E-05
P. de los Troncos	0,731	0,540		0,00033006	P. de los Troncos	0,739	0,658	
Paso Roldán	0,648	0,558	0,595					
INVIERNO	Santa Lucía	Florida	P. de los Troncos	Paso Roldán	INVIERNO	Santa Lucía	Florida	P. de los Troncos
Santa Lucía		2,14E-01	0,12295	0,00086482	Santa Lucía		1,47E-04	0,00014847
Florida	0,226		0,7613	0,036212	Florida	0,621		0,051849
Paso de los Troncos	0,278	0,056		0,27319	P. de los Troncos	0,621	0,347	
Paso Roldán	0,560	0,372	0,200					
PRIMAVERA	Santa Lucía	Florida	P. de los Troncos	Paso Roldán	PRIMAVERA	Santa Lucía	Florida	P. de los Troncos
Santa Lucía		0,00011877	7,34E-03	0,006392	Santa Lucía		0,00015005	1,26E-04
Florida	0,636		6,92E-02	0,0060483	Florida	0,629		4,42E-05
Paso de los Troncos	0,472	0,331		0,057534	P. de los Troncos	0,636	0,665	
Paso Roldán	0,479	0,482	0,345					

Variación espacial a nivel estacional de la duración de la crecida y alerta entre las reglas del área de estudio, para el período 1990-2021 y según el test de correlación Spearman's rs. El cuadrante diagonal superior expresa el valor de p, significancia, $p < 0,05$ significativo. El cuadrante diagonal inferior expresa el valor de correlación, $0 >$ coeficiente de correlación ≤ 1 existe asociación positiva entre variables. Texto en rojo son los casos en que las correlaciones arrojaron valores no significativos. N/A: No aplica.

Fuente DINAGUA, 2021. Elaboración propia

Anexo 7. Relación de las precipitaciones con la cantidad y duración de los eventos de inundación en Santa Lucía

ESTACIONES	CRECIDAS				ALERTAS				DURACIÓN ALERTA				ESTACIONES
	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	
La Cruz	0,600	0,779	0,410	0,591	0,532	0,692	0,609	0,486	0,541	0,686	0,597	0,456	La Cruz
Florida	0,676	0,681	0,404	0,600	0,488	0,632	0,602	0,448	0,489	0,634	0,574	0,444	Florida
Villa 25 Mayo	0,605	0,646	0,494	0,523	0,481	0,501	0,569	0,405	0,485	0,501	0,491	0,392	Villa 25 Mayo
Villa Cardal	0,548	0,731	0,461	0,443	0,396	0,684	0,576	0,390	0,408	0,686	0,583	0,403	Villa Cardal
25 de Agosto	0,425	0,776	0,519	0,501	0,404	0,633	0,584	0,367	0,417	0,629	0,550	0,329	25 de Agosto
Mendoza	0,614	0,745	0,498	0,622	0,464	0,656	0,636	0,398	0,473	0,654	0,559	0,364	Mendoza
San Antonio	0,573	0,655	0,347	0,600	0,459	0,691	0,505	0,449	0,459	0,675	0,477	0,406	San Antonio
Chamizo	0,666	0,614	0,442	0,543	0,459	0,698	0,654	0,387	0,457	0,699	0,604	0,359	Chamizo
Tala	0,495	0,729	0,442	0,603	0,374	0,663	0,621	0,443	0,381	0,648	0,551	0,445	Tala
San Gabriel	0,481	0,451	0,465	0,634	0,305	0,501	0,482	0,524	0,329	0,534	0,488	0,491	San Gabriel
Casupá	0,613	0,621	0,534	0,629	0,428	0,659	0,577	0,506	0,439	0,660	0,586	0,463	Casupá
Cerro Colorado	0,597	0,587	0,421	0,639	0,461	0,705	0,546	0,489	0,469	0,707	0,581	0,424	Cerro Colorado
Santa Lucía Calera	0,621	0,530	0,428	0,499	0,349	0,689	0,173	0,352	0,356	0,686	0,226	0,338	Santa Lucía Calera
Promedio	0,578	0,657	0,451	0,571	0,431	0,647	0,549	0,434	0,439	0,646	0,528	0,409	Promedio

Relación espacial de la estacionalidad de las precipitaciones del área de estudio con la cantidad y duración de los eventos de crecida o alerta de la regla de Santa Lucía, para el período 1990-2021 y según el test de correlación Spearman's rs. Se presenta una síntesis del valor de correlación, $0 >$ coeficiente de correlación ≤ 1 existe asociación positiva entre variables.

Fuente DINAGUA, 2021: INUMET, 2021. Elaboración propia

Referencias

- Achkar, M., Domínguez, A., & Pesce, F. (2013). *Cuencas Hidrográficas del Uruguay. Situación y Perspectivas ambientales y territoriales*. PUS-REDES-AT-Uruguay.
- Aguayo, M., Azócar, G., & Henríquez, C. (2006). Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (36), 61-74. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022006000200004>
- Aliste, E., Almendras, A., & Contreras, M. (2012). La dinámica del territorio en la conurbación Concepción-Talcahuano: huellas urbanas para una interpretación de las transformaciones ambientales durante la segunda mitad del siglo XX. *Revistas de Geografía Norte Grande*, (52), 5-18. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022012000200001>
- Alvarez-Garreton, C., Lara, A., Boisier, J. P., & Galleguillos, M. (2019). The Impacts of Native Forests and Forest Plantations on Water Supply in Chile. *Forests*, 10(6), 473. <https://doi.org/10.3390/f10060473>
- Álvarez, C. R., Gutiérrez Boem, F. H., Taboada, M. A., Prystupa, P., Ocampo, J. F., Fernandez, P. L., & Moulin, M. (2004). Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo distintos manejos en el norte de Buenos Aires. *Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del suelo*.
- Baptista, M., Valcarcel, R., Araujo Mateus, F., Soares Medeiros, W., & Canto De Andrade, F. (2017). Impact of Urbanization on the Hydrodynamics of a Water Table in a Floodplain with High Potential for Renaturation. *Water Resource Management*, 31(13), 4091-4102. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1731-5>
- Behrends Kraemer, F., Chagas, C., Marré, G., Palacín, E., & Santanatoglia, O. (2013). Desplazamiento de la ganadería por la agricultura en una cuenca de La Pampa ondulada: Efectos sobre el escurrimiento superficial y erosión hídrica. *Ciencia del suelo*, 31(1), 83-92.
- Benavides, F., Solarte Cruz, M.E., Pabón, V., Ordóñez, A., Beltrán, E., Torres, C., & Rosero, S. (2018). The Variation of Infiltration Rates and Physical-Chemical Soil Properties Across a Land Cover and Land Use Gradient in a Páramo of Southwestern Colombia. *Journal of Soil and Water Conservation*, 73(4), 400-410. <https://doi.org/10.2489/jswc.73.4.400>
- Berga, L. (2006). El papel de las presas en la mitigación de las inundaciones. *Revista Digital Del Cedex*, (144), 7. <https://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/2256>
- Bidegain, M., Crisci, C., Del Puerto, L., Inda, H., Mazzeo, N., Taks, J., & Terra, R. (2012). *Clima de cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay. Variabilidad climática de importancia para el sector productivo* (Vol. 1). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura & Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. <http://www.fao.org/docrep/field/009/as253s/as253s.pdf>
- Bidegain, M., Pasten, M., Nagy, G., Coronel, G., Ferrer, J., & Arana, I. (2017). Tendencias recientes de las precipitaciones e impactos asociados con ENSO en la cuenca del Río de la Plata. *Paraquaria Natural*, 5(2), 8-18.
- Blanco Wells, G., Günther, G., Gutiérrez, R., Gonzaga, J., & Hernández, V. (2017). Introducción. Cambio ambiental global y políticas ambientales en América Latina. In G. Günther & R. A. Gutiérrez (Eds.), *La política del ambiente en América Latina. Una aproximación desde el cambio ambiental global* (pp. 15-36). Clacso y Universidad Autónoma Metropolitana. <https://doi.org/10.2307/j.ctvtwx2j4.4>
- Brazeiro, A., Achkar, M., Toranza, C., & Bartesaghi, L. (2020). Agricultural expansion in Uruguayan grasslands and priority áreas for vertebrate and woody plant conservation. *Ecology and Society*, 25(1), 15. <https://doi.org/10.5751/ES-11360-250115>
- Bunn, S.E., & Arthington, A.H. (2002). Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*, 30, 492-507. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2737-0>
- Caorsi, M.L., Cruz, G., Terra, R., & Astigarraga, L. (2018). Variación de la precipitación y la ocurrencia de sequías en la cuenca lechera del SW del Uruguay en el periodo 1939-2011. *Agrociencia Uruguay*, 22(1), 116-123. <https://doi.org/10.31285/AGRO.22.1.12>
- Castaño, J., Baethgen, W., Gimenez, A., Magrin, G., Travasso, M., Olivera, L., Rocca Da Cunha, G., & Cunha Fernandes, J. (2007). Evolución del clima observado durante el período 1931-2000 en la región sureste de América del Sur. http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/publicaciones/ambiente/se_a_s_2007.pdf

- Cousanon, A., Eilander, D., Muis, S., Veldkamp, T., Haigh, I., Wahl, T., Winsemius, H., & Ward, P. (2020). Measuring compound flood potential from river discharge and storm surge extremes at the global scale. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20, 489–504. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-489-2020>
- Delgado, M.I., Carol, E., & Casco, M.A. (2020). Land-use changes in the periurban interface: Hydrologic consequences on a flatland-watershed scale. *Science of the Total Environment*, 722. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137836>
- Díaz-Zorita, M. (2000). Effect of deep-tillage and nitrogen fertilization interactions on dryland corn (*Zea mays* L.) productivity. *Soil and Tillage Research*, 54(1-1), 11-19. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00100-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00100-2)
- Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA). (2021). *Datos diarios de altura del nivel del cauce entre 1990 y 2021. Datos de la regla de Santa Lucía del nivel del río Santa Lucía con afectación por riesgo de inundación a la ciudad de Santa Lucía*. [Conjunto de datos].
- Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA). (2022a). *Atlas Nacional de Inundaciones y Drenaje Pluvial Urbano*. Ministerio de Ambiente. <http://www.gub.uy/ministerio-ambiente/politicas-y-gestion/atlas-nacional-inundaciones-drenaje-pluvial-urbano-version-febrero-2022>
- Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA). (2022b). Curva de inundación del año 2016 y 2019 [Cobertura shape] Visualizador DINAGUA. <https://lastmile.presidencia.gub.uy/portal/apps/webappviewer/index.html?id=8666d11d6b664b39b58a2b7471f64333>
- Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA). (2019). *Mapa de uso/cobertura del suelo de la cuenca del río Santa Lucía*. División de Información Ambiental, Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. <https://docplayer.es/230666922-Mapa-de-uso-cobertura-del-suelo-de-la-cuenca-del-rio-santa-lucia-division-de-informacion-ambiental-dinama-mvotma.html>
- Domínguez, A., Achkar, M., Pesce, F., & Díaz, I. (2018). Las transformaciones territoriales del espacio agrario uruguayo: nuevas regionalidades. *Geo UERJ*, 32, 1-23. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2018.28973>
- Eluén, L., & Schön, F. (2023, October 18-20). Percepción ambiental en la Gestión Integral de Riesgo, inundaciones en Santa Lucía, Uruguay [Conference presentation]. In *IV Congreso Internacional de Geografía Urbana*. Universidad Nacional de Luján, Buenos Aires, Argentina.
- Frich, P., Alexander, L., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Tank, A., & Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate research*, 19(3), 193-212. <https://doi.org/10.3354/cr019193>
- Gallopin, G. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 16(16), 293-303. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004>
- Gallegos Reina, A., & Perles Roselló, M.J. (2019). Relaciones entre los cambios en los usos del suelo y el incremento de los riesgos de inundabilidad y erosión: análisis diacrónico en la provincia de Málaga (1957-2007). *Bage, Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (81), 1-38. <https://doi.org/10.21138/bage.2740>
- García, P. E., Badano, N.D., Menéndez, A., Bert, F., García, G., Podestá, G., Rovere, S., Verdin, A., Rajagopalan, B., & Arora, P. (2018). Influencia de los cambios en el uso del suelo y la precipitación sobre la dinámica hídrica de una cuenca de llanura extensa. Caso de estudio: cuenca del río Salado, Buenos Aires, Argentina. *Revista Iberoamericana del Agua*, 5(2), 92-106. <https://doi.org/10.1080/23863781.2018.1495990>
- García Préchac, F., Ernst, O., Arbeletche, P., Pérez Bidegain, M., Pritsch, C., Ferenczi, A., & Rivas, M. (2010). *Intensificación agrícola: Oportunidades y Amenazas para un país productivo y natural*. (Colección Art. 2). Udelar: CSIC.
- Gazzano, I., Achkar, M., & Díaz, I. (2019). Agricultural Transformations in the Southern Cone of Latin America: Agricultural Intensification and Decrease of the Aboveground Net Primary Production, Uruguay's Case. *Sustainability*, 11(24), 7011. <https://doi.org/10.3390/su11247011>
- Hettiarachchi, M., Mcalpine, C., & Morrison, T.H. (2014). Governing the urban wetlands: a multiple case-study of policy, institutions and reference points. *Environmental Conservation*, 41(3), 276-289. <https://doi.org/10.1017/S0376892913000519>

- Hirsch, R. M., Walker, J. F., Day, J. C., & Kallio, R. (1990). The influence of man on hydrologic systems. In M.G. Wolman & H.C. Riggs (Eds.), *Surface Water Hydrology*. Geological Society of America, Inc. <https://doi.org/10.1130/DNAG-GNA-O1.329>
- Hirsch, R., & Slack, J. (1984). A Nonparametric Trend Test for Seasonal Data with Serial Dependence. *Water Resources Research*, 20(6), 727-732. <https://doi.org/10.1029/WR020i006p00727>
- Instituto Nacional de Estadística. (2011). Resultados del Censo de Población 2011: población, crecimiento y estructura por sexo y edad. <http://www.ine.gub.uy/censos2011/resultadosfinales/analisispais.pdf>
- Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET). (2021). *Datos diarios de precipitación entre 1990 y 2021* [Conjunto de datos].
- Jobbágy, E., Acosta, A., & Noretto, M. (2013). Rendimiento hídrico en cuencas primarias bajo pastizales y plantaciones de pino de las sierras de Córdoba (Argentina). *Ecología Austral*, 23, 97-96. <https://doi.org/10.25260/EA.13.23.2.0.1164>
- Kendall, M. (1975). *Rank Correlation Methods*. Charles Griffin.
- Legendre, P., & Legendre, L. (1998). *Numerical ecology: developments in environmental modelling*. Elsevier.
- Mann, H. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica. Journal of the Econometric Society*, 13(3), 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP). (1994). Unidades de suelos Coneat.
- Naiman, R. J., Décamps, H., & McClain, M. (2005). *Riparia Ecology, Conservation, and Management of Streamside Communities*. Elsevier Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012663315-3/50010-1>
- Nightingale, A., Eriksen, S., Taylor, M., Forsyth, T., Pelling, M., Newsham, A., Boyd, E., Brown, K., Harvey, B., Jones, L., Bezner, R., Mehta, L., Naess, L., Ockwell, D., Sconnes, I., Tanner, T., & Whitfield, S. (2019). Beyond Technical Fixes: climate solutions and the great derangement. *Climate and Development*, 1-10. <https://doi.org/10.1080/17565529.2019.1624495>
- Organización de Estados Americanos (OEA). (1971). *Cuenca del Río de la Plata. Estudios para su planificación y desarrollo. Cuenca del Río Santa Lucía Desarrollo de los Recursos hídricos*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos.
- Organización Meteorológica Mundial. (2018). *Guía de prácticas climatológicas*. https://library.wmo.int/viewer/28514/download?file=100-2018_es.pdf&type=pdf&navigator=1
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (Hrsg.)]. Cambridge, United Kingdom & New York, USA: Cambridge University Press.
- Paul, M., & Meyer, J. (2001). Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 32, 333-365. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114040>
- Perez, C. (2007). *Plantaciones forestales e impactos sobre el ciclo del agua: Un análisis a partir del desarrollo de las plantaciones forestales en Uruguay*. Guayubira.
- Pérez Bidegain, M., García Préchac, F., Hill, M., & Clérico, C. (2010). La erosión de suelos en sistemas agrícolas. In F. García Préchac, O. Ernst, P. Arbeleche, M. Pérez Bidegain, C. Pritsch, A. Ferenczi, y M. Rivas (Eds.), *Intensificación Agrícola: Oportunidades y Amenazas para un país productivo y natural* (pp. 67-88). Udelar: CSIC.
- Romero, P. (2006). Cambio ambiental global: ¿nuevos desafíos a viejos problemas? *Globalización Revista web de Economía, Sociedad y Cultura*. <http://rcci.net/globalizacion/2006/fg644.htm>
- Rollán, A., & Bachmeier, O. (2014). Compactación y retención hídrica en Haplustoles de la provincia de Córdoba (Argentina) bajo siembra directa. *Agriscientia*, 31(1), 1-10. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v31.n1.9835>
- Santelices, A., & Rojas, J. (2016). Climate Change in Latin America: Inequality, Conflict, and Social Movements of Adaptation. *Latin American Perspectives*, 43(4), 4-11. <https://doi.org/10.1177/0094582X16644916>

- Schön, F. (2021). *Humedales e inundaciones de espacios urbanos en Uruguay* [Doctoral thesis, Universidade Federal de Santa María, Brasil]. Repositorio Institucional de la Universidade Federal de Santa María. https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/23350/TES_PPGGEOGRAFIA_2021_SCH%C3%96N_FELINE.pdf?sequence=1
- Schön, F., Domínguez, A., & Achkar, M. (2022). Urban wetlands, their dynamics and management strategies from the perspective of Environmental Geography. *The Geographical Journal*, 1-14. <https://doi.org/10.1111/geoj.12445>
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2010). Manual 18 Manejo de humedales: Marcos para manejar Humedales de Importancia Internacional y otros humedales. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4 ed. <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-18sp.pdf>
- Sheng, P., Paramygin, V., Rivera-Nieves, A., Zou, R., Fernald, S., Hall, T., & Jacob, K. (2022). Coastal marshes provide valuable protection for coastal communities from storm-induced wave, flood, and structural loss in a changing climate. *Scientific Reports*, 12, 3051. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06850-z>
- Sistema Nacional de Emergencia (SINAE). (2017). *Eventos de inundación registrados entre 1990 y 2017*. [Conjunto de datos].
- Sistema Nacional de Emergencia (SINAE). (2022). *Evento de inundación registrados entre 2005 y 2021. Monitor Integral de Riesgos y Afectaciones. Visualizador histórico de eventos*. [Cobertura shape]. <https://www.gub.uy/sistema-nacional-emergencias/pagina-embebida/visualizador-historico-eventos>
- Steffen, W., Sanderson, A., Tyson, P., Jäger, J., Matson, P. A., Moore, B., iii, F., Oldfield, F., Richardson, K., Schellnhuber, H. J., Turner, B. L., & Wasson, R. J. (2004). *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure*. International Geosphere-Biosphere Program Global Changes. <https://doi.org/10.1007/b137870>
- Svampa, M. (2019). *Las fronteras del neoextractivismo en América Latina: conflictos socioambientales, giro ecoterritorial y nuevas dependencias*. CALAS. <https://doi.org/10.14361/9783839445266>
- Varuolo-Clarke, A., Smerdon, J., Park Williams, A., & Seager, R. (2021). Gross Discrepancies between Observed and Simulated Twentieth-to-Twenty-First-Century Precipitation Trends in Southeastern South America. *Journal of Climate*, 34, 6441-6457. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0746.1>
- Ward, P., Jongman, B., Salamon, P., Simpson, A., Bates, P., De Groeve, T., Muis, S., de Perez, E. C., Rudari, R., Trigg, M. A., & Winsemius, H. (2015). Usefulness and limitations of global flood risk models, *Nature Climate Change*, 5, 712–715. <https://doi.org/10.1038/nclimate2742>
- World Commission on Dams. (2000). *Dams and Development: A New Framework for Decision-making: the Report of the World Commission on Dams*. Earthscan Publications Ltd. https://archive.internationalrivers.org/sites/default/files/attached-files/world_commission_on_dams_final_report.pdf
- Weber, J. F., Menajovsky, S., Failache, N., Zamanillo, E., & Irigoyen, M. (2015). Crecidas: un modelo estocástico de operación óptima de presas. Caso Embalse Salto Grande [Conference Paper]. XXV Congreso Nacional de Agua (Conagua), Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Xiao, Y., Yi, S., & Tang, Y. (2016). GIS-based multi-criteria analysis method for flood risk assessment under urbanization. *Geoinformatics, 24th International Conference*. Galway, IEEE Publication.
- Zscheischler, J., Westra, S., van den Hurk, B., Senevirate, S., Ward, P., Pitman, A., AghaKouchak, Bresch, D., Leonard, M., Wahl, T., & Zhang, X. (2018). Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change*, 8, 469-477. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0156-3>

Variabilidad espacio-temporal de la humedad superficial del suelo en el sur de la llanura pampeana argentina

Spatio-temporal variability of the surface soil wetness in the southern Argentinean Pampean plain

AUTORÍA

Vanesa Yael Bohn 

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
Departamento de Geografía y Turismo,
Universidad Nacional del Sur (UNS), 12 de octubre y San Juan, 4to. Piso (8000) Bahía Blanca, Argentina.

DOI

<https://doi.org/10.14198/INGEO.25373>

CITACIÓN

Bohn, V. Y. (2024). Variabilidad espacio-temporal de la humedad superficial del suelo en el sur de la llanura pampeana argentina. *Investigaciones Geográficas*, (82), 85-104. <https://doi.org/10.14198/INGEO.25373>

CORRESPONDENCIA

Vanesa Yael Bohn (vanesa.bohn@uns.edu.ar)

HISTORIA

Recibido: 13 junio 2023
Aceptado: 29 enero 2024
Publicado: 10 julio 2024
(Publicación anticipada: 22 marzo 2024)

TÉRMINOS

© Vanesa Yael Bohn

 Este trabajo se publica bajo una licencia [Creative Commons de Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Resumen

El conocimiento de la dinámica de la humedad del suelo es de gran relevancia para su aplicación en estudios hidrológicos y climáticos, así como también es un parámetro que permite analizar procesos relacionados a usos y coberturas del suelo. Debido a esta importancia, se analizó la dinámica espacio-temporal de la humedad superficial del suelo (HSS) en el sur de la llanura pampeana argentina a partir de datos correspondientes a 6 localidades argentinas y en relación a un índice climático que involucra las variables de precipitación y evapotranspiración. La metodología incluyó análisis estadístico de correlación y estadística multivariada sobre bases de datos modelados y de reanálisis. Los resultados obtenidos muestran diferentes respuestas espaciales de la HSS, con máximos valores en el sector de mayor pluviometría del área de estudio, disminuyendo hacia el de mayor aridez y permitiendo inferir la influencia de la homogeneidad topográfica del área y el predominio de procesos verticales en el balance hídrico. A escala espacial, así como también a escala temporal, la dinámica de la HSS mostró una tendencia similar a la del índice climático, comprobada a través del cálculo del coeficiente de Pearson así como también se demostró que la respuesta de la HSS a los parámetros climáticos obtuvo mayor ajuste a una escala temporal de 3 meses. Dicha respuesta, de la HSS a los parámetros climáticos, se observó a nivel interanual así como también a nivel anual, con valores máximos y mínimos durante los años húmedo y seco, respectivamente y disminuciones de la HSS en las épocas de mayor temperatura (estación de verano). Espacialmente, la HSS mostró la misma tendencia de la precipitación, de NE a SO, es decir, con máximos en la región de mayor pluviometría y mínimos en la región más árida. El manuscrito, a partir del análisis de datos de diversas fuentes, clasificación de períodos sobre la base de su pluviometría y aplicación de métodos estadísticos, constituye un aporte acerca de la dinámica de la variable edáfica en un área en la que las actividades agrícola y ganadera constituyen el principal uso del suelo y en la que la alternancia entre períodos húmedos y secos influye sobre el riesgo de inundación o sobre las pérdidas económicas por desarrollo de intensas sequías, respectivamente.

Palabras clave: datos de reanálisis; análisis espacio-temporal; índice climático; inundación; sequía; uso del suelo.

Abstract

Knowledge regarding soil wetness dynamics is relevant for its application in hydrological and climatological studies. It is also a parameter that allows the analysis of processes related to land cover and land use. Due to this importance, the spatio-temporal dynamics of the surface soil humidity (SSH) in the southern of the Argentinean Pampean Plains have been analyzed, based on data corresponding to six Argentine localities and in relation to a climatological index that incorporates rainfall and evapotranspiration variables. The methodology includes statistical correlation and multivariate analysis based on modeled and reanalysis data. The results obtained reveal a different response of the SSH at a spatial level, with maximum values in the highest rainfall region, diminishing towards the most arid zone. This allows us to infer the influence of the topographic homogeneity of the area and the predominance of vertical processes in the hydrological balance. At both a spatial and temporal scale, the SSH dynamics concur with the climatological index pattern, confirmed by a Pearson coefficient. It has also been shown that the SSH responds to the climatological parameters and that the highest correlation occurs at a three-month temporal scale. This response may be observed at an interannual and annual level, with maximum and minimum values during the wet and dry years, respectively and a decrease in the SSH during the warmest seasons (summer). The SSH displays the same tendency as the climatological index, from NE to SW, reaching a maximum in the rainiest area and minimum in the arid region. The manuscript, based on diverse sources analysis, pluviometric periods classification and statistical methods application, is a contribution related to the edaphic variable dynamics in a region in which farming activity constitutes the main land use and where the droughts and floods alternance has effects on the flooding risks and the economic losses as a consequence of intensive droughts, respectively.

Keywords: reanalysis data; spatio-temporal analysis; climatological index; flood; drought; land use.

1. Introducción

El agua es un recurso cuyo monitoreo se prioriza en estudios de diversas disciplinas. Constituye un factor determinante en la fertilidad del suelo, además de influir en el desarrollo de los cultivos y por su rol fundamental en los procesos biológicos y la regulación de la temperatura del suelo (Caicedo-Rosero et al., 2021). Además, su almacenamiento en el suelo es de gran relevancia para los estudios hidrológicos. Condiciona el funcionamiento del balance de agua en una cuenca a escala de crecida (Llorens et al., 2003). Su disponibilidad condiciona el desarrollo de actividades agrícolas y forrajeras (Gusmerotti & Mercáu, 2022) y tiene gran influencia en la escorrentía superficial y en la interacción superficie-atmósfera. Cuando la humedad del suelo es analizada a mayor profundidad, este conocimiento es útil para la comprensión de los procesos suelo-planta-atmósfera y de recarga de acuíferos (Holzman & Rivas, 2013). Es relevante, entonces, en un contexto de cambio climático, conocer la dinámica de la humedad superficial del suelo (HSS) con fines de prevención y asesoramiento para la planificación del territorio y las actividades económicas.

En la llanura pampeana Argentina y regiones circundantes, se han realizado diversos estudios relacionados al comportamiento de la precipitación y sus impactos. Por ejemplo, en Uruguay, se realizó un estudio de la frecuencia, tendencia e intensidad de las sequías agronómicas para una zona de clima templado cuyos suelos dominantes presentan baja capacidad de retención de agua. Allí, las sequías agronómicas son un problema histórico y en aumento, constituyendo un inconveniente para las actividades ganaderas de dicho país (Cruz et al., 2014). Se analizaron balances hídricos del suelo, sobre la base de datos de precipitación y evapotranspiración potencial. Como resultado se obtuvo que los veranos fueron la estación climática de mayor déficit mientras que los inviernos representaron el período de recarga hídrica. El agotamiento de la humedad de los suelos durante los veranos, trajo como consecuencia que, durante los otoños, se dependiera exclusivamente de las precipitaciones ocurridas en dicha estación (Cruz et al., 2014). Chen et al. (2023) realizaron un estudio acerca de la variación espacio-temporal de las características de la sequía en pastizales templados, durante los últimos 61 años, con el objetivo de determinar la evolución de la sequía y de proveer bases teóricas para el entendimiento de la variabilidad climática en las estepas templadas de China. Utilizaron datos climáticos (precipitación, temperatura media diaria, velocidad media del viento, humedad relativa, duración de la luz solar, etc.) provenientes de 88 estaciones meteorológicas y los procesaron mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y lenguajes de programación. Sobre la base de estos datos, calcularon el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) y utilizaron la escala temporal del SPEI de 3 meses para el análisis de las sequías estacionales mientras que utilizaron el SPEI a escala temporal de 12 meses para el análisis de las sequías interanuales. Como resultado hallaron una tendencia al incremento de la ocurrencia de sequías durante el período de estudio, con una duración

mínima de 2 meses. Determinaron, también, que las sequías fueron más frecuentes durante el invierno y que su distribución espacial fue mayormente en el SO, en zonas semiáridas y áridas.

La dinámica de la humedad del suelo en procesos hidrológicos y la respuesta del parámetro a la precipitación, fueron estudiadas en el área montañosa de la cuenca del río Heihe, al NO de China (Tian et al., 2019). Los mismos incluyeron análisis de índices para la descripción cualitativa de la dinámica de la humedad del suelo durante estaciones de crecimiento de cultivos. Se realizaron simulaciones para evaluar los efectos de las coberturas de la tierra sobre la dinámica de la humedad del suelo. Como resultado se obtuvo que la respuesta fue diferente entre las coberturas de la tierra siendo similar entre las clases de suelo desnudo y cobertura media de pastizal y diferente entre las categorías de monte y alta cobertura de pastizal. Los autores enfatizaron sobre la importancia de realizar estudios de la dinámica de la humedad del suelo teniendo en cuenta diferentes coberturas de la tierra y la respuesta a la precipitación en zonas áridas y semiáridas.

La disponibilidad de agua en el suelo se vincula también con este tipo de análisis, debido a que condiciona la producción de cultivos agrícolas y forrajeros. Desde esta perspectiva, se realizaron mapas de capacidad de retención de agua (CRA) en la región Chaco-Pampeana argentina (Gusmerotti & Mercau, 2022) a partir de datos de suelos. Se tuvo en cuenta la textura obtenida de las cartas de suelos elaboradas por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Como resultado se obtuvieron mapas que permiten visualizar la variabilidad espacial de la CRA de los suelos en el área de estudio, con gran utilidad para diversas aplicaciones agronómicas y ambientales. Vinculado a este tema, en la mayoría de los trabajos consultados, se menciona la escasez de investigaciones y datos referidos a la humedad del suelo o la dificultad de contar con una serie extensa o a determinadas escalas geográficas y temporales (Tian et al., 2019). En este sentido, se consideran relevantes aquellos estudios de validación y análisis de fuentes de datos de satélite que puedan proporcionar este dato con amplia cobertura espacial y continuidad temporal.

Los productos satelitales o modelos referidos a las variables de humedad del suelo y almacenamiento de agua son de relevancia para el mapeo y el pronóstico de sequías e inundaciones. En torno a este tema, la humedad del suelo obtenida del modelo hidrológico global WaterGAP (WGHM) y de los satélites AMSR-E y ASCAT fue relacionada con las variaciones de almacenamiento de agua, obtenidas de la misión satelital GRACE (Experimento de Clima y Recuperación Gravitatoria, por sus siglas en inglés) (Tapley, 2001) en la cuenca hidrográfica del río de La Plata (Argentina) (Abelen et al., 2015). Como resultado se halló una concordancia entre las anomalías de la humedad del suelo con respecto a períodos de El Niño y La Niña y desastres asociados a peligros naturales. En un área más extensa de Argentina, Rivas et al. (2013) validaron para la región pampeana el producto de humedad del suelo de SMOS para su utilización en estudios hidrológicos de grandes cuencas. SMOS (Humedad del Suelo y Salinidad del Océano, por sus siglas en inglés) es un satélite abocado al estudio de la humedad del suelo que utiliza la banda L (sensor MIRAS) para estimar la humedad edáfica con una frecuencia de 3 días y una resolución espacial de 40 km, con cobertura global. Fue relevante, para la obtención de la mencionada validación, contar con datos de campo (sondas portátiles) en parcelas con diferentes cultivos y correspondientes a una región representativa de la llanura pampeana argentina (Rivas et al., 2013).

La relación del parámetro también se establece con tendencias a la sequía, déficit hídrico e interés de su aplicación en la planificación de los cultivos. En Argentina, en el sur de la provincia de Córdoba, Del Valle Rivarola (2009) utilizó factores bio-físicos del área de estudio, definidos en las siguientes tres variables: precipitación de septiembre a marzo; capacidad de almacenaje de agua del suelo y el déficit hídrico. Estas variables fueron sometidas a distintos niveles de análisis (ej. estadísticos) para la obtención de mapas de distribución regional de las mismas y para la posterior identificación de zonas con distintos grados de vulnerabilidad a la sequía. Esto último se logró mediante la combinación de los factores en un SIG (Del Valle Rivarola, 2009). La utilización de datos de reanálisis se plantea como una alternativa para el complemento de estos estudios, en los que los datos relevados en campo constituyen la principal fuente. Los datos de reanálisis se plantean como complementos del trabajo de campo y viceversa por la posibilidad de validarlos y extrapolar su uso a una región más extensa dado que brindan una resolución espacial homogénea y de gran detalle, facilitando la interpolación de las variables y la consecuente cartografía. Se trata de sets de datos consistentes desde el punto de vista físico que unen simulaciones de datos con aquellos de origen observacional e histórico. Surgen como resultado de procesos computacionales complejos (Baatz et al., 2021). Las series de datos de reanálisis, de diversas fuentes, han sido testeadas en relación con el análisis de tendencias climáticas (Bengtsson et al., 2004), al estudio de las variaciones de presión media del nivel del mar (Liu et al., 2012), humedad relativa (Viggiano et al., 2021), así como también han sido analizadas a diferentes escalas geográficas (Liu et al., 2014) y ambientes naturales (Yang et al., 2020). Específicamente en

cuanto al parámetro de humedad del suelo, las aplicaciones de datos de reanálisis también son numerosas, dada su importancia e influencia en el clima a través de la modificación del albedo, la capacidad térmica, el calor latente y sensible. Asimismo, es un factor importante para la interpretación y estudio de las anomalías climáticas (Liu et al., 2014) y una conexión crítica entre la atmósfera y la superficie terrestre (Yang et al., 2020). La aplicación de datos de reanálisis de temperatura y humedad del suelo contribuyeron al entendimiento del régimen hidrotermal en regiones de permafrost en la meseta Qinghai-Tibetana (Yang et al., 2020). Dichos datos fueron previamente contrastados con mediciones in situ correspondientes a diferentes coberturas de suelo y fueron obtenidos a partir del Sistema de Pronóstico climático v2 (CFSv2, por sus siglas en inglés), del Centro Europeo para el pronóstico meteorológico a medio plazo (ECMWF, por sus siglas en inglés) y el modelo Noah conducido por el Sistema de Asimilación de datos globales (GLDAS-Noah) así como también los más recientes productos de reanálisis de la quinta generación de productos de reanálisis de ECMWF (ERA5). La totalidad de los productos evaluados mostraron buenos resultados y ajustes con respecto a los datos in situ, a excepción del período de descongelamiento, durante el cual los modelos mostraron una subestimación y sobrestimación en la temperatura y humedad del suelo, respectivamente (Yang et al., 2020). Los sets de datos ERA-Interim, MERRA (por sus siglas en inglés, Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications), reanálisis japonés de 25 años, sistema de reanálisis de pronóstico climático y reanálisis 1 del Centro Nacional de Predicción Medioambiental y el Centro Nacional para la Investigación Atmosférica (NCEP/NCAR-R1, por sus siglas en inglés) permitieron, con éxito, hallar similitudes y diferencias de la humedad del suelo durante la primavera en diversas localizaciones de China (Liu et al., 2014). Se halló una variabilidad interanual con variaciones opuestas según las latitudes y también se observaron diferencias en las capacidades de cada uno de los sets de datos. Por ejemplo, todos los sets a excepción de NCEP/NCAR-R1, reprodujeron el incremento gradual de la humedad climatológica del suelo en China en dirección NO-NE y SE. Las razones de las diferencias halladas entre sets de datos para la determinación de la humedad del suelo, también fueron investigadas teniendo en cuenta que existen dos factores que afectan al mencionado parámetro: la precipitación y la evaporación. En el caso del set de datos de ERA-Interim, éste pudo reproducir correctamente la precipitación y la evaporación desde las observaciones, así como también sus relaciones con la humedad del suelo. Los restantes sets de datos reprodujeron correctamente a la precipitación, aunque mostraron inconvenientes en la estimación de la evaporación y, por tanto, de la humedad del suelo (Liu et al., 2014). El set de datos de precipitación anual, temperatura del aire mínima y máxima en frecuencias diaria, mensual y anual del repositorio NASA POWER fue comparado con datos in situ en la cuenca del río Éufrates (Irak), obteniendo coeficientes de determinación (R^2) > 0,72 (Tayyeh & Mohammed, 2023). La exactitud de la precipitación obtenida del set de datos de reanálisis NASA POWER fue buena en regiones húmedas siendo menor en zonas áridas y semi-áridas. Los resultados mostraron que NASA POWER es efectivo en el desarrollo de datos climáticos ante la falta de datos medidos in situ. El mencionado set de datos, en conjunto con la quinta generación de reanálisis europeo del componente tierra (ERA5-Land, por sus siglas en inglés), también fueron analizados para un período extenso (1981-2020) en 19 sitios de la cuenca del río Kelantan (Tan et al., 2023). Como resultado se obtuvo que ambos sets de datos estiman adecuadamente los parámetros de precipitación y de temperaturas máximas y mínimas, así como también que, ambos productos tienen mayor correlación con pluviómetros a lo largo de las costas que con aquellos situados en regiones montañosas. No obstante, estos tienden a subestimar la precipitación y la temperatura máxima y sobreestimar la temperatura mínima. Los hallazgos mostraron que NASA POWER y ERA5-Land proveen información climatológica muy valiosa para localidades en la que no se cuenta con mediciones in situ.

El objetivo del trabajo fue analizar la dinámica espacio-temporal de la humedad superficial del suelo (HSS) en 6 localidades de la región pampeana argentina en relación a las variables climáticas de la precipitación (P) y la evapotranspiración (EVTP), para un período de ~ 4 décadas (1981-2021), complementando datos modelados y de reanálisis. El objetivo secundario fue definir años secos, húmedos y normales, a partir de diversas fuentes de datos, a fin de evaluar la dinámica de la HSS a nivel temporal. Se espera que el presente trabajo provea información para el asesoramiento a la planificación de las actividades productivas de la región.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

2.1.1. Localización y caracterización geográfica y geomorfológica del área de estudio

Las 6 localidades estudiadas corresponden a las ecorregiones de Pampa (Bahía Blanca, BB; Tres Arroyos, TA; Benito Juárez, BJ) y Espinal (SR, RC e HA), según la clasificación de ecorregiones y complejos ecosistémicos

argentinos (Morello et al., 2012). La ecorregión Pampa comprende una extensa planicie cuya área supera los 390.000 km², se localiza en el centro Este de Argentina en 5 provincias agrícolas: Entre Ríos (sector sur), Córdoba (SE), Santa Fé (S) y La Pampa (NE), Buenos Aires en su totalidad (excepto el sector S) (Figura 1) y es el ecosistema de praderas más importante de Argentina. El espinal, como ecorregión, se desarrolla a lo largo de un extenso arco de bosques que rodean por el N, O y S a la ecorregión Pampa, con una extensión que supera los 290.000 km². Abarca el S de la provincia de Corrientes, mitad N de la provincia de Entre Ríos, una faja central de las provincias de Santa Fé y Córdoba, centro y S de la provincia de San Luis, mitad oriental de la provincia de La Pampa y S de la provincia de Buenos Aires (Morello et al., 2012). El paisaje predominante es el de llanura, con presencia de serranías bajas y el desarrollo de dos sistemas serranos (Ventania y Tandilia) (Figura 1). Dicha llanura constituye un área sedimentaria y plana de clima subhúmedo a semiárido con pendientes menores a 0,1% (Jobbágy et al., 2018). Este sector constituye el ecosistema de praderas más importante de Argentina. Su importancia reside en que posee suelos aptos para la agricultura y la ganadería, potencial que declina acompañando el gradiente de precipitación que varía entre los 1.000 mm/año al NO y los 400 mm/año al SO (Viglizzo et al., 2006). De acuerdo al mapa de cobertura del suelo de la República Argentina, realizado por el INTA (2009) (E 1:500.000), la cobertura del suelo predominante en el área es el cultivo de herbáceas graminoideas. La región de BB también presenta áreas urbanas densamente pobladas y zonas de pastizal abierto. En el sur, en HA y RC, también se desarrolla arbustal abierto como cobertura predominante. En SR, al igual que en el resto del área, se destaca el cultivo de herbáceas graminoideas y uso urbano.

2.1.2. Caracterización edáfica del área de estudio

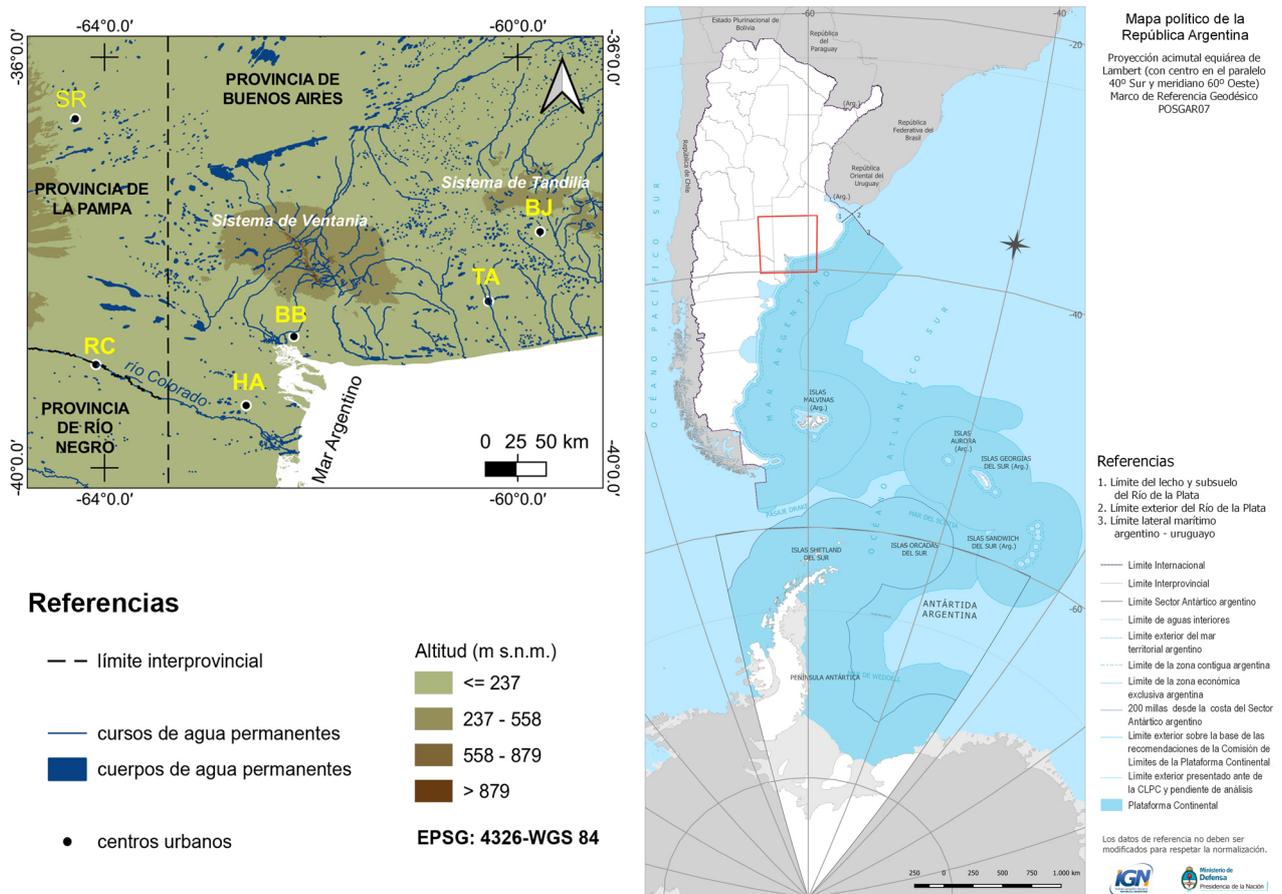
De acuerdo a la Taxonomía de Suelos (Soil Taxonomy) (Departamento de Agricultura de Estados Unidos [USDA], 1975), que es la clasificación de suelos más utilizada en la Argentina, el área de estudio incluye los órdenes de suelo Entisoles (estación SR), Molisoles (estaciones de BB, BJ, TA) y Aridisoles (estaciones HA y RC). El orden de suelos Entisoles representa a aquellos suelos con muy bajo grado de desarrollo. La diferenciación de horizontes es escasa y generalmente se reconoce un horizonte superficial con bajo contenido de materia orgánica. Se asocian a relieves de alta dinámica geomorfológica y a materiales originarios recientemente depositados. Los suelos Molisoles se caracterizan por un horizonte superficial oscuro, con altas proporciones de materia orgánica. Se asocian a climas húmedos a subhúmedos, relieves de escasa pendiente topográfica y vegetación de tipo pastizal (herbácea). Arealmente, es el Orden con mayor representatividad en la Argentina, con especial desarrollo en la llanura pampeana (ecorregión pampas). Se caracterizan por su fertilidad y aptitud para la agricultura. En general, los suelos Molisoles se relacionan con el loess pampeano y con depósitos retrabajados por la acción hídrica. Presentan como materiales originarios, en menor proporción, arenas y limos fluviales y glaciales. Por último, los Aridisoles constituyen suelos con desarrollo variable, se formaron en ambientes áridos y semiáridos por lo que, en general, poseen horizontes de acumulación de sales, carbonato o yeso. A nivel superficial el contenido de materia orgánica es escaso y con predominio de granulometrías gruesas. Se desarrollan materiales originarios muy diferentes, arenas fluviales y eólicas, gravas fluviales y pedemontanas y limos salinos de playas. Desde el punto de vista geomorfológico su distribución es amplia y suelen presentarse en geofomas subhorizontales como zonas pedemontanas, planicies estructurales y terrazas fluviales. La vegetación es usualmente de tipo estepa arbustiva y sus orígenes se vinculan con ambientes con déficit hídrico (Pereyra, 2012).

En cuanto a los caracteres del clima edáfico, para el sector correspondiente a las estaciones de RC e HA, se reconoce un régimen edáfico árido, relacionado al déficit hídrico y caracterizado por un suelo que se encuentra seco la mayor parte del año. En tanto, para las estaciones de BB y SR por un lado y, de TA y BJ (Figura 1), por otro, se desarrolla un régimen de humedad ústico y údico, respectivamente. Los mismos implican un nivel de humedad intermedio en el primer caso y un suelo que no se encuentra seco por más de 90 días en el año, en el segundo. Desde el punto de vista del régimen edáfico de temperatura, todas las estaciones se localizaron en un régimen térmico, es decir, vinculado a climas atmosféricos templados, con temperaturas de los suelos promedio de 15-20 °C, durante todo el año (Pereyra, 2012). Desde una perspectiva hidrológica, especialmente en la ecoregión de Pampa, se encuentran lagunas permanentes y temporales, en parte como consecuencia de la escasa red de drenaje, que favorece el anegamiento. Estas lagunas han mostrado gran variabilidad la cual se vincula con la histórica alternancia de sequías en inundaciones típica de la región (Bohn et al., 2016; Ferrelli et al., 2012; Scarpati & Capriolo, 2013). Como consecuencia de la escasa energía del relieve, la región presenta predominio de los movimientos verticales del agua (precipitación y evapotranspiración) frente a los de tipo horizontal (escurrimiento superficial y profundo) (Scarpati & Capriolo, 2013).

En el área de estudio, la alternancia de inundaciones y sequías constituyen un rasgo característico, con una alta frecuencia de estos eventos hidrológicos extremos. En este contexto, la disponibilidad de agua en el suelo constituye un indicador del riesgo de inundación (Scarpati & Capriolo, 2018; Jobbágy et al., 2018). Dicho aspecto constituye, también, un elemento clave a tener cuenta debido a la predominancia de las actividades agrícolas y ganaderas, como principal actividad económica. Estos últimos constituyen motivos relevantes para la realización de estudios en esta región. En cuanto a la clasificación climática del área de estudio, de acuerdo a Beck et al. (2018), las localidades de BB y SR corresponden a climas templados, sin estación seca y veranos cálidos mientras que HA y RC corresponden a un área de climas áridos, de estepa y fríos. Por último, la región de TA y BJ corresponden a climas templados, sin estación seca y veranos cálidos.

Asimismo, se ha constatado en la región, la ocurrencia de extremos climáticos en coincidencia con el fenómeno de El Niño cuando se presentan lluvias torrenciales y con la Niña, durante los eventos en los que el clima puede tornarse más seco (Iriondo, 1995). No obstante, la variabilidad interanual de las precipitaciones en Argentina puede tener otras causas, independientemente de los episodios Niño o Niña, que son menos conocidas, tales como la temperatura superficial del mar en el Atlántico Sur, por ejemplo (Barros & Camilloni, 2016). La variabilidad interanual de sequías e inundaciones fue citada para la llanura pampeana argentina, en variadas ocasiones (Bohn et al., 2016; Dillon et al., 2019; Ferrelli et al., 2019; Ferrelli, 2020; Brendel et al., 2021). Hacia el S del área de estudio (estaciones RC e HA), el clima se torna más árido y presenta déficit hídrico lo que se explica mediante el desarrollo de la diagonal árida argentina (Bruniard, 1982). La región de estudio presenta entre 600 y 750 mm de evapotranspiración potencial anual, aumentando de NE a SO (Bianchi & Cravero, 2010). De acuerdo al mapa que representa el índice de aridez de De Martonne (IA), elaborado para el Atlas Climático Digital de la República Argentina (Bianchi & Cravero, 2010), las localidades estudiadas se situaron en áreas subhúmedas (SR y BB), semiáridas (RC y HA) y húmedas (TA y BJ).

Figura 1. Localidades analizadas y aspectos físico-geográficos de la región de estudio: BJ, Benito Juárez; TA, Tres Arroyos; BB, Bahía Blanca; HA, Hilario Ascasubi; RC, Río Colorado; SR, Santa Rosa



Se señala la localización del área de estudio (con un cuadro rojo) en el mapa político de la República Argentina (IGN).

Fuente: datos proporcionados por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) e Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina (IGN). Elaboración propia

2.2. Series de datos

2.2.1. Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI)

Se analizó el índice climático estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI, por sus siglas en inglés) correspondiente a la base de datos publicada por Vicente-Serrano et al. (2010) y datos de reanálisis de humedad superficial del suelo (HSS) provistos por el proyecto de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) Langley Research Center (LaRC) Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) (NASA Project, 2021) (Figura 2). Ambos parámetros se analizaron para 6 localidades de la llanura argentina (Figura 1) (de Este a Oeste): Benito Juárez (BJ); Tres Arroyos (TA); Bahía Blanca (BB); Hilario Ascasubi (HA); Río Colorado (RC) y Santa Rosa (SR) para el estudio de la dinámica espacio-temporal de la HSS y su relación con las variables climáticas a escalas mensual, anual e interanual (período 1981-2021). Las mismas se localizan en 3 provincias argentinas (Figura 1), entre las isohietas de 800 (NE) y 400 (SO) mm/año.

Los datos de SPEI fueron obtenidos, con libre acceso, de la base de datos SPEI Global Drought Monitor (<https://spei.csic.es>) (Vicente-Serrano et al., 2010; Beguería et al., 2010) para el período 1981-2021, con frecuencia mensual y en 3 escalas temporales: 1, 2 y 3 meses. El SPEI es un índice de sequía multiescalar que combina datos de precipitación y temperatura, se basa en la diferencia mensual entre la precipitación (P) y la evapotranspiración potencial (EVTP). De esta manera, este índice representa un balance de agua simple, calculado a diferentes escalas de tiempo (1 a 48 meses) de acuerdo al fenómeno evaluado. La escala espacial es de $0,5^\circ$ (~ 50 km). En el presente estudio se analizaron las escalas temporales de 1, 2 y 3 meses, las que están relacionadas principalmente con el contenido de agua del suelo y la descarga de los ríos en las nacientes, mientras que las escalas de tiempo medias y largas están relacionadas con los almacenamientos en embalses, cuerpos de agua, descargas en curso medio de los ríos y variaciones en el almacenamiento de agua subterránea, respectivamente (<https://spei.csic.es>). Las categorías de SPEI indican situaciones de extrema humedad (SPEI ≥ 2), humedad ($1,5 \leq \text{SPEI} \leq 1,99$), moderada humedad ($1 \leq \text{SPEI} \leq 1,49$), normal ($-0,99 \leq \text{SPEI} \leq 0,99$), moderada sequía ($-1 \leq \text{SPEI} \leq -1,99$), sequía ($-1,5 \leq \text{SPEI} \leq -1,99$) o extrema sequía (SPEI ≤ -2) (Vicente Serrano et al., 2010).

2.2.2. Humedad Superficial del Suelo (HSS)

Los registros de HSS fueron obtenidos, según la coordenada geográfica de las localidades estudiadas (Figura 1), de la base de datos de reanálisis de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) Langley Research Center (LaRC) Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) fundada a través de la NASA Earth Science/Applied Science Program (NASA POWER DATA) (NASA Project, 2021). Los datos de HSS, así como todos los correspondientes a meteorología de la base de datos Power Nasa, están disponibles a una resolución espacial de $0,5 \times 0,625^\circ$ y se encuentran disponibles a escalas diaria, mensual y anual. La misma provee datos agrometeorológicos de investigaciones de la NASA cuyo objetivo es dar soporte a las actividades agrícolas, de sustentabilidad de recursos naturales, entre otras. Los datos fueron obtenidos desde el sitio de NASA POWER Project (<https://power.larc.nasa.gov/>). El porcentaje de humedad del suelo muestra un valor de 0 indicando un suelo completamente libre de agua. En tanto, un valor de 1, indica un suelo saturado. Este parámetro se refiere a la capa superficial de suelo, desde la superficie (0 cm) hasta los 5 cm de profundidad. En ambos casos (SPEI y HSS), los datos se obtuvieron del punto de malla más cercano a cada coordenada, de cada localidad.

2.2.3. Análisis estadístico

Para conocer el grado de coherencia entre el índice climático SPEI y la variación de la HSS, la misma se cuantificó mediante el cálculo de la varianza y covarianza y el cálculo del coeficiente de Pearson. En cuanto a la interpretación de la magnitud del coeficiente de correlación de Pearson, según las sugerencias de Cohen, un valor del coeficiente mayor a 0,50 indicará una correlación fuerte entre las variables analizadas (Hernández Lalinde et al., 2018). La matriz de covarianza mediante el coeficiente de Pearson y los estadísticos descriptivos se calcularon entre las series de tiempo del índice SPEI y los datos de reanálisis de HSS.

2.3. Determinación de eventos extremos a partir de diversas fuentes

Posteriormente, con el objetivo de analizar el comportamiento de la variable de HSS durante eventos pluviométricos extremos se seleccionaron, sobre la base de trabajos previos (D'Ambrosio et al., 2013; Bohn et al., 2016) y de acuerdo a la clasificación del índice oceánico de El Niño (Oceanic Niño Index, ONI), obtenido del sitio web de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, <https://www.noaa.gov/>), un año

correspondiente a un evento Niña, de sequía y a un evento Niño, de inundaciones o de precipitaciones abundantes. Los períodos cálidos (asociados con eventos Niño) y fríos (eventos Niña) se estiman en un umbral de +/- 0,5 °C para el ONI mediante el cálculo de la media móvil de 3 meses de anomalías de la temperatura superficial del mar en la región del Niño 3,4 (<https://www.noaa.gov/>). Ha sido demostrado, para la región pampeana argentina, que el índice ONI representa los períodos húmedos y secos mediante la asignación de años Niño y Niña, respectivamente (Iriundo, 1995).

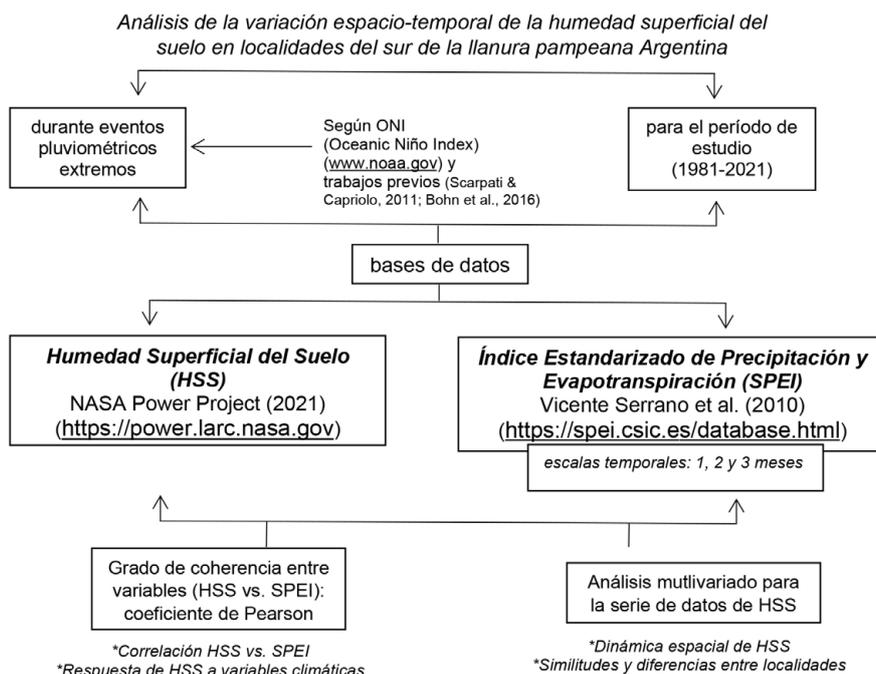
2.4. Análisis de la variabilidad espacio-temporal de la HSS

La variabilidad espacio-temporal de la HSS se analizó en forma gráfica, mediante la interpretación de los extremos, la obtención de estadísticos descriptivos y la aplicación del método estadístico de agrupamiento clásico (cluster) siguiendo el método de Ward. Los métodos jerárquicos del análisis de agrupamiento o clúster son de utilidad cuando se presenta la necesidad de agrupar objetos y no se conoce la cantidad de clases que deben formarse. Este tipo de técnicas proporciona diferentes resultados de agrupación, sobre la misma serie de datos y permite determinar el número de grupos óptimo. El algoritmo de Ward es uno de los métodos que ofrece el análisis de agrupamiento jerárquico y posee la ventaja de tener fundamentos estadísticos y minimizar la dispersión entre los grupos que se forman (Dongo Román, 2017). Se utilizó el software gratuito Past 4.03 (folk.uio.no/ohammer/past) (Hammer et al., 2001). El agrupamiento estadístico se realizó, en primera instancia, para toda la serie de datos de HSS, a escala anual y para todas las estaciones y, en segunda instancia, sobre la base de los registros mensuales correspondientes a eventos extremos (año 2002, Niño y año 2008, Niña) previamente seleccionados, sobre la base de trabajos previos y de su clasificación según el ONI. Los valores medios de HSS para el período de estudio (1981-2021) también fueron analizados desde el punto de vista de la variabilidad estacional de la HSS. Este análisis se realizó con el objetivo de mostrar las diferencias entre situaciones consideradas extremas, desde el punto de vista climático y para establecer una comparación con aquellos agrupamientos realizados con la serie de datos completa.

2.5. Confección de la cartografía del área de estudio

La cartografía de localización se realizó mediante el uso del SIG gratuito QGIS (Quantum Geographic Information System, <https://www.qgis.org/>) y sobre la base de información vectorial proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina (IGN) (hidrografía, localización relativa del área de estudio y límites administrativos) y ráster, proporcionada por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) (topografía, Modelo de elevación digital DEM SRTM, 90 m).

Figura 2. Diagrama metodológico



Elaboración propia

3. Resultados

3.1. Análisis estadístico de las series de datos de SPEI y HSS

Los años 1995, 2008 y 2009 se presentaron entre los 8 años con valores más bajos de HSS, para la totalidad de las estaciones. En cuanto a la mayor humedad, la misma fue estimada principalmente durante los años 1984, 1997, 2001, para la totalidad de las estaciones. La HSS mostró relación interanual con las variables climáticas de la P y EVPT. Dicha correlación fue considerada fuerte por presentar un valor del coeficiente de Pearson $> 0,50$ (Hernández Lalinde et al., 2018) y fue mayor a escala del SPEI de 3 meses en comparación con los hallados a escala 1 mes del SPEI (Tabla 1). Tras el análisis visual de los máximos y mínimos en la relación de ambas variables, se observa concordancia entre los eventos considerados húmedos y muy húmedos, con los valores más altos de HSS (Figura 3 y 4). Por ejemplo, en BJ (Figura 3, BJ), en junio y julio de 1993 la HSS fue de 0,87 y 0,89 y el SPEI3 fue de 2,17 y 1,92, respectivamente, indicando períodos muy y extremadamente húmedos.

Tabla 1. Matriz de correlación, según método de Pearson, entre la HSS y el SPEI a escalas temporales de 1, 2 y 3 meses. Período 1981-2021

HSS	SPEI1	SPEI2	SPEI3
BJ	0,42	0,53	0,55
TA	0,53	0,55	0,54
BB	0,43	0,58	0,59
HA	0,44	0,57	0,60
RC	0,44	0,56	0,60
SR	0,50	0,71	0,75

Fuente: datos provistos por Nasa Power Project (2021) y Vicente-Serrano et al. (2010). Elaboración propia

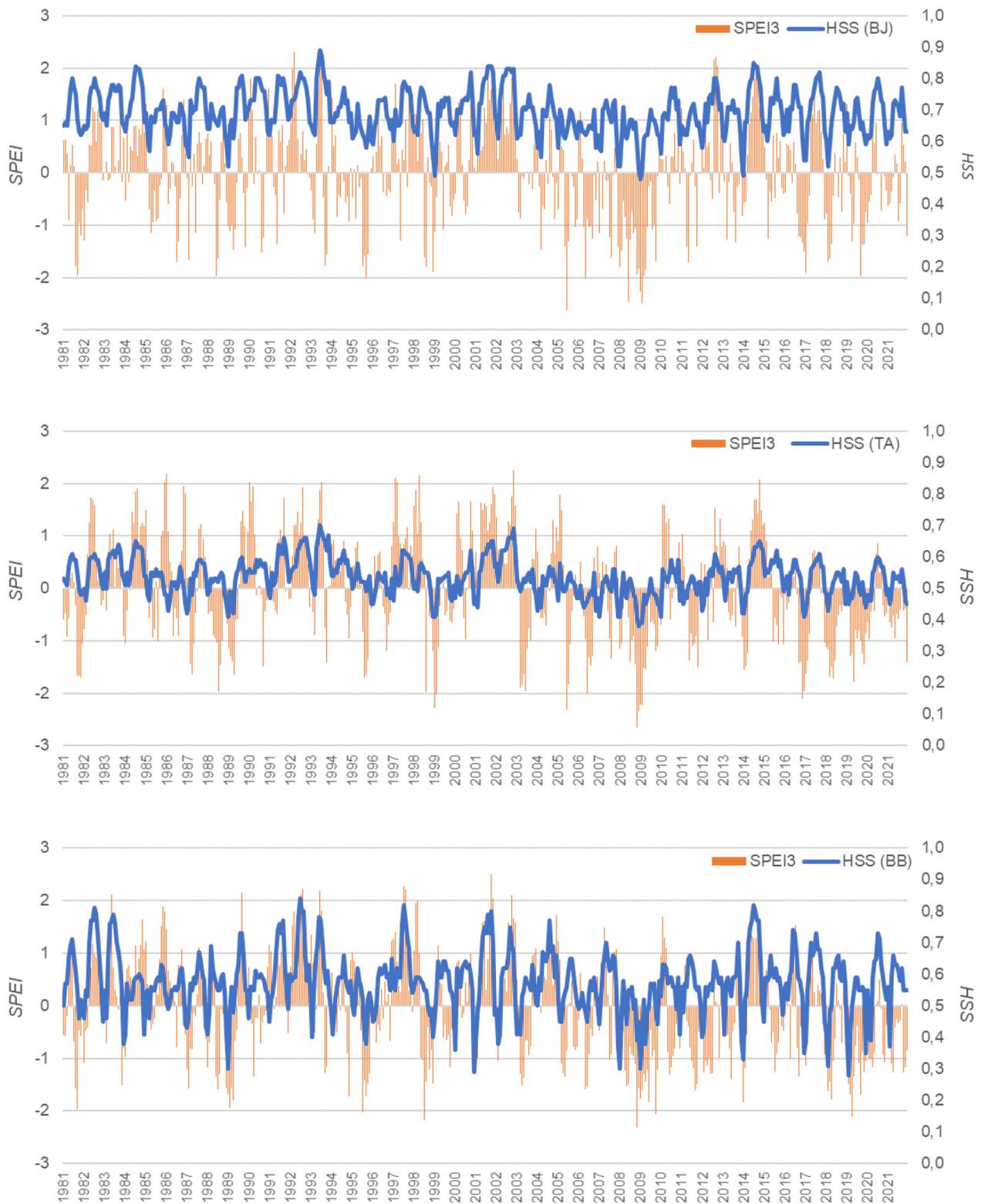
En TA, también se observó concordancia entre valores mínimos de HSS y SPEI3 representativos de períodos secos y viceversa. Por ejemplo, se citan como períodos de excedente hídrico los meses de junio de 1993 y septiembre de 2002 durante los cuales la HSS fue de 0,70 y 0,66 y el SPEI3 fue de 1,87 y 1,22, respectivamente. En el caso de años secos, se cita el ejemplo de noviembre de 2008, con HSS = 0,66 y SPEI3 = -2,65.

En BB, en noviembre de 2009, la HSS solo alcanzó el valor de 0,44 y se correspondió con un valor de SPEI3 de -1,22. Similarmente, en marzo de 2019, los valores fueron de 0,42 y -1,69 para la HSS y SPEI3, respectivamente. En HA, al S del área de estudio, el período 2008-2009 mostró valores bajos de HSS (-0,33) y valores negativos de SPEI3 (Figura 3).

En RC, la tendencia también fue observada, cuando la HSS disminuyó, fue acompañada de valores de SPEI indicativos de períodos secos y viceversa (Figura 4, RC). En SR, al O de la región, se presentaron casos muy representativos tales como junio de 1999, con HSS = 0,71 y SPEI3 = 1,79, mayo de 2001, con HSS = 0,73 y SPEI3 = 2,15. En agosto de 2009, la HSS = 0,24 y el SPEI3 indicó un período extremadamente seco (SPEI3 = -1,93) (Figura 4).

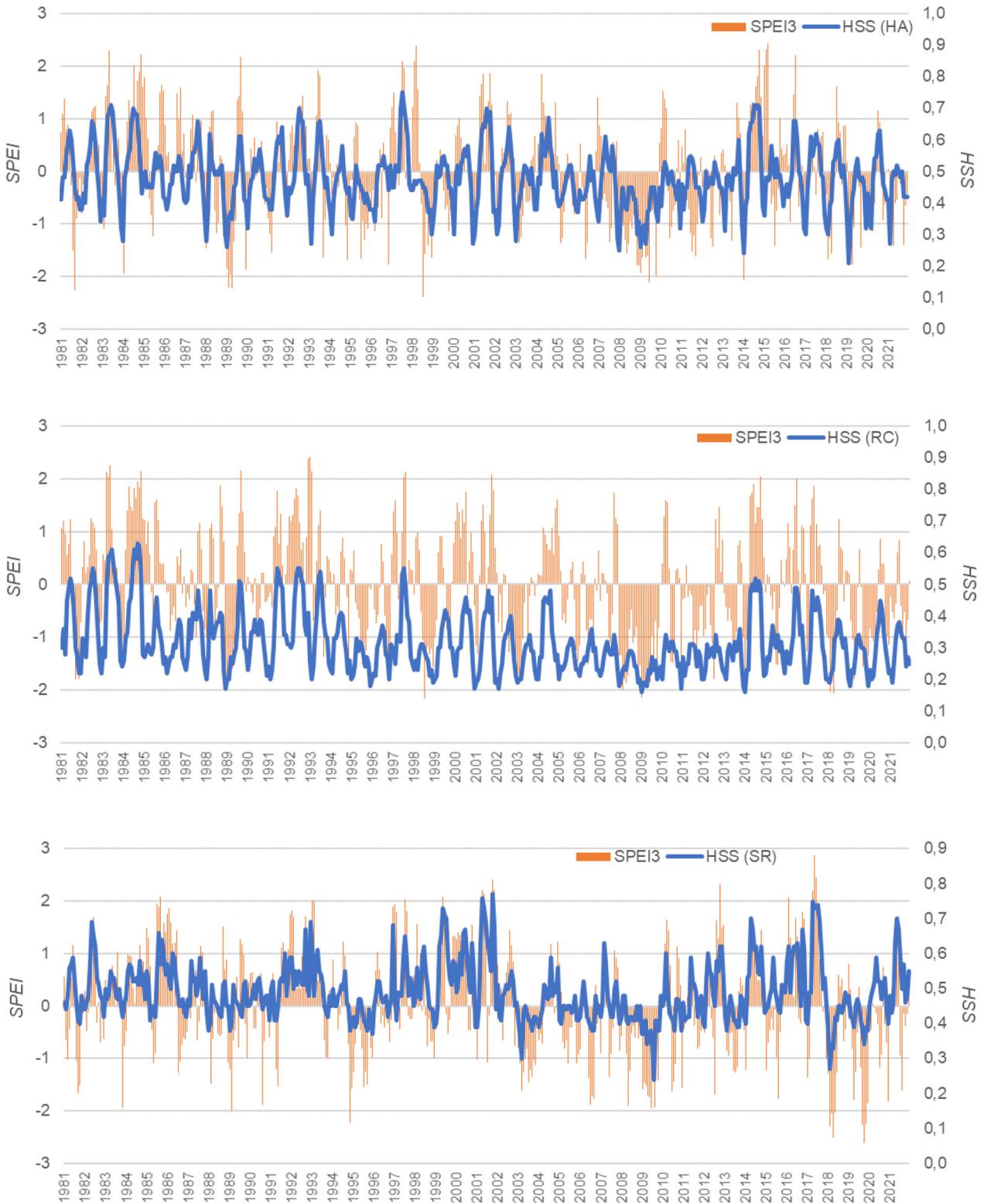
En términos generales, a una escala temporal de 3 meses, el índice climático SPEI mostró concordancia, incluso mayor a la demostrada entre la HSS y el SPEI1 y SPEI2, en la definición de períodos húmedos y secos con aumentos y descensos en la HSS, respectivamente. Tras la elaboración de las matrices de varianza y covarianza y la estimación del coeficiente de Pearson, la correlación entre ambas variables, climáticas y edáficas, mostró una correlación fuerte a lo largo del período estudiado (Tabla 1), mostrando una respuesta de la variable edáfica a las variables climáticas, en todas las estaciones. Tal como se explicó, si bien dicha correlación fue alta en todos los casos, los valores más altos se dieron en las localidades del O y S del área de estudio, donde se dan características de mayor aridez.

Figura 3. Evolución temporal interanual de la HSS durante el período estudiado (1981-2021) e índice climático SPEI a escala 3 meses, para cada localidad (de este a oeste): BJ, Benito Juárez; TA, Tres Arroyos; BB, Bahía Blanca



Fuente: datos provistos por Nasa Power Project y Vicente-Serrano et al. (2010). Elaboración propia

Figura 4. Evolución temporal interanual de la HSS durante el período estudiado (1981-2021) e índice climático SPEI a escala 3 meses, para cada localidad (de este a oeste): HA, Hilario Ascasubi; RC, Río Colorado SR, Santa Rosa



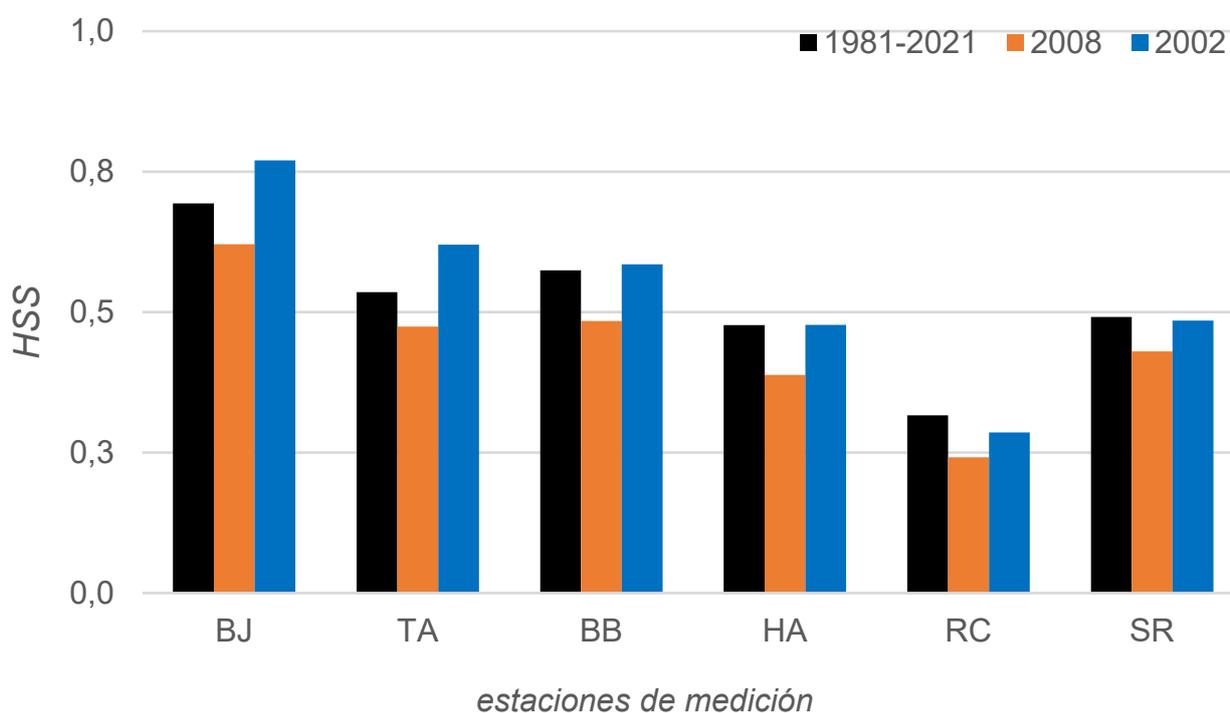
Fuente: datos provistos por Nasa Power Project y Vicente-Serrano et al. (2010). Elaboración propia

3.2. Determinación de eventos extremos y variación espacio-temporal de la HSS

Como resultado del análisis de la serie de datos del índice ONI y trabajos previos para la región (Scarpatti & Capriolo, 2011; Bohn et al., 2016) y, con el objetivo de analizar el comportamiento de ambas variables en situaciones hídricas extremas, se seleccionaron los años 2002 y 2008 como años representativos de excesos y déficit hídricos, respectivamente.

En cuanto a la variación interanual de la HSS (Figura 5), entre años secos, húmedos y los valores medios para el período, los máximos valores se hallaron durante el año considerado húmedo, en todas las localidades estudiadas. La media anual osciló entre 0,77 en el E del área de estudio (estación BJ) y de 0,29, en el sur (estación RC). Durante el año seco, se observó la misma tendencia a nivel espacial, registrándose la máxima HSS y la mínima en las estaciones de BJ y RC, respectivamente (E y S del área de estudio).

Figura 5. Variación espacio-temporal de la HSS: valores medios anuales, según localidad



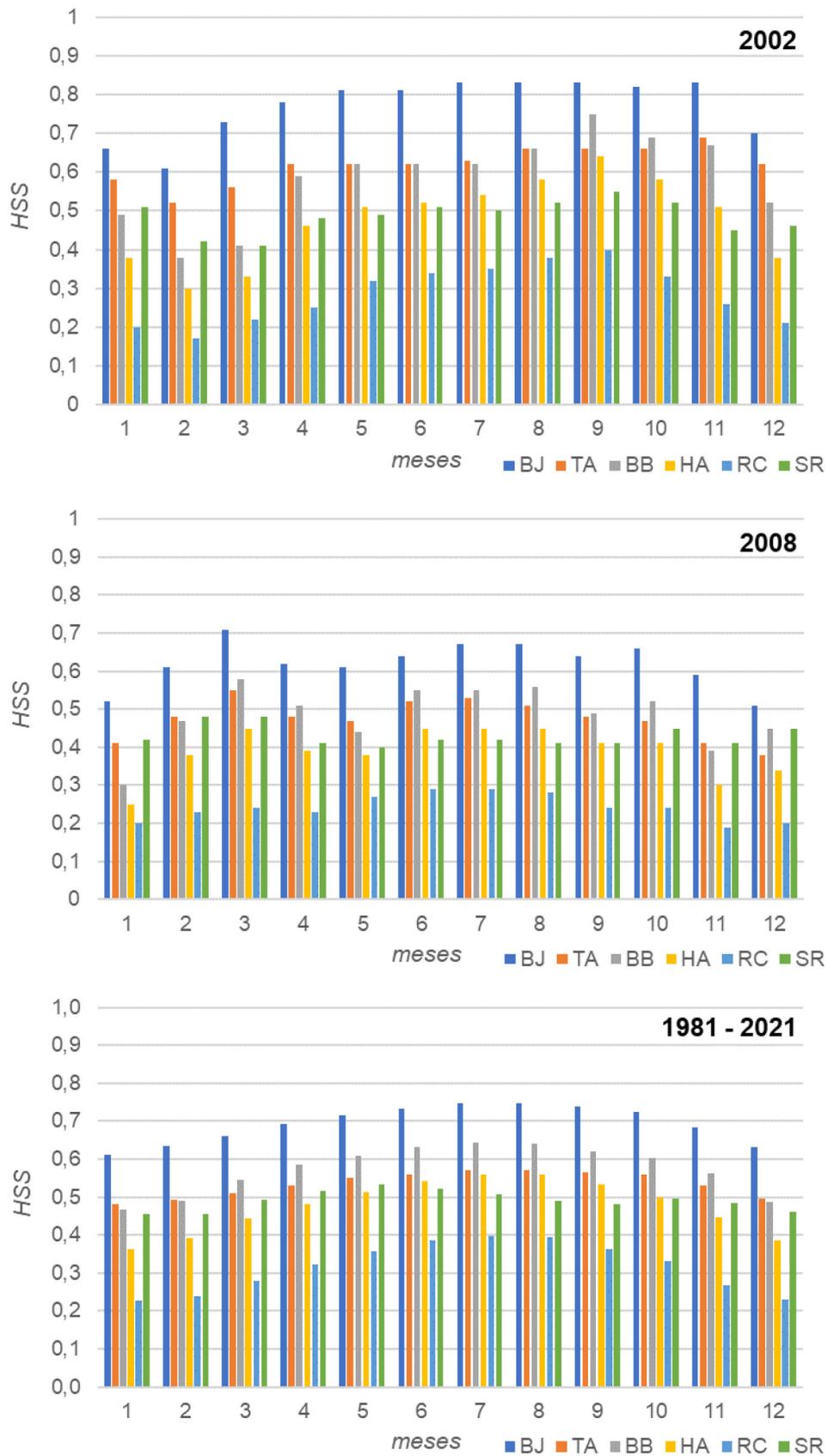
Fuente: datos provistos por NASA Power Project (2021). Elaboración propia

Los valores medios para el período de estudio (1981-2021) (Figura 5) oscilaron entre 0,23 y 0,75 para las estaciones de RC y BJ, respectivamente. En cuanto a los valores máximos de la media del período, los mismos se presentaron en la estación BJ. Temporalmente, los mismos se registraron en los meses de julio-agosto-septiembre (otoño-primavera) todas las localidades excepto para SR (situada al O) del área de estudio (Figura 6). En cuanto a los valores mínimos de la media del período, los mismos ocurrieron en los meses de verano, para todas las localidades (Figura 6). Durante el año de excedentes hídricos (Figura 6, 2002), los valores mínimos de HSS se registraron durante el verano para todas las localidades.

BB e HA fueron las localidades con mayor variabilidad anual, durante el año de excedentes hídricos (desviación estándar = 0,10) mientras que BJ mostró los mayores valores de HSS durante los 3 años, en relación con las demás estaciones de medición y, RC, los menores (Figura 6). Esto último fue acorde a lo esperado teniendo en cuenta la distribución espacial de las isohietas en la región (Figura 1).

Los registros medios anuales de HSS para el año seco (2008), no superaron el valor de 0,71 en toda el área de estudio (Figura 5). Los máximos valores, durante todo el año, se registraron en la estación de BJ, al E del área de estudio mientras que, los mínimos, ocurrieron en el S (estación RC), al igual que lo ocurrido para el año húmedo (2002) (Figura 5). Durante este último, los valores en BJ alcanzaron un máximo de 0,83 durante los meses de julio-agosto-septiembre (Figura 5).

Figura 6. Variación anual de la HSS, en cada localidad, durante: un año Niño (2002); un año Niña (2008) y el promedio para el período estudiado (1981-2021)

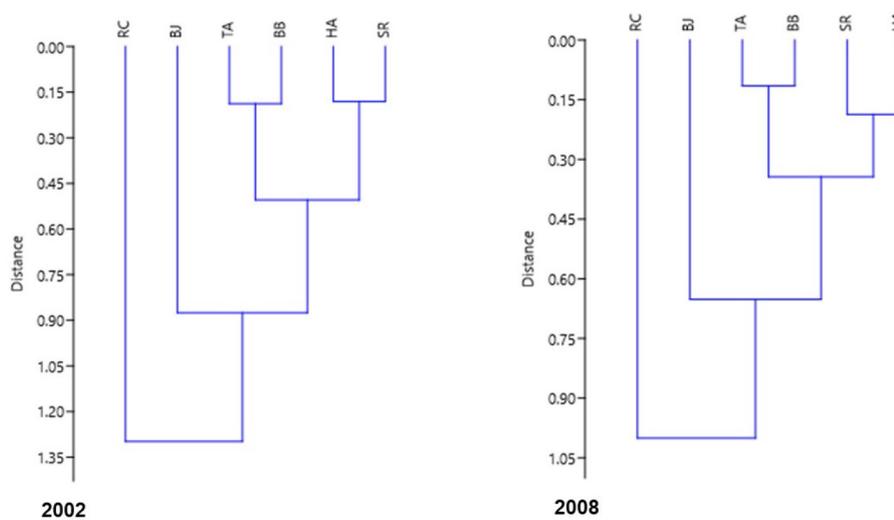


Fuente: datos provistos por NASA Power Project (2021). Elaboración propia

3.3. Análisis de agrupamiento sobre la base de datos mensuales y anuales de HSS

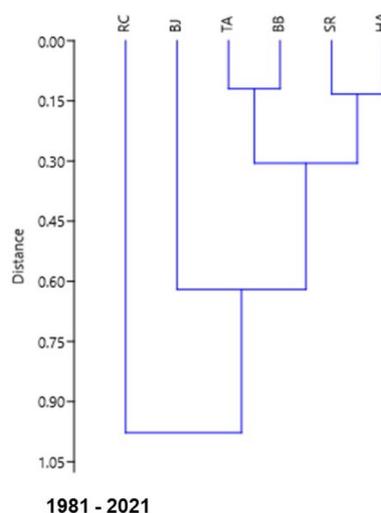
Como complemento, desde una perspectiva de análisis espacial de las variaciones de HSS, se realizaron análisis de agrupamiento multivariado. Se obtuvieron los dendogramas que mostraron grupos de localidades de acuerdo a la variabilidad temporal de la HSS durante el año Niña, el año Niño y para todo el período de datos mensuales (1981-2021). De igual manera, durante los 2 años extremos (2002 y 2008) (Figura 7), las localidades de BB y TA (S y E del área de estudio, respectivamente), SR e HA (O y SO del área de estudio) mostraron similitudes en la dinámica temporal de la HSS, dada por su agrupamiento. BJ, situada al E, presentó menor relación con los dos grupos mencionados anteriormente, siendo RC (al SO del área) la localidad más diferenciada del resto. A pesar de las características áridas de la región en la que se encuentra RC, es posible que los niveles de HSS se vean influidos por la cercanía entre la localización de la medición (grilla) y el río homónimo (Figura 1). No obstante, su similitud con el resto de las estaciones fue escasa durante los 3 períodos analizados (Figuras 7 y 8).

Figura 7. Análisis de agrupamiento para las series de datos mensuales de HSS de años extremos desde el punto de vista pluviométrico, para las 6 localidades estudiadas: año húmedo (2002) y año seco (2008)



Elaboración propia sobre la base de datos provistos por NASA Power Project (2021)

Figura 8. Análisis de agrupamiento para las series de datos anuales de HSS (1981-2021) de las 6 localidades estudiadas



Elaboración propia sobre la base de datos provistos por NASA Power Project (2021)

En cuanto a la dinámica de la HSS a nivel interanual para todo el período de datos, los registros mostraron los mismos agrupamientos en comparación con los patrones de variación de la HSS durante los años extremos. A nivel interanual, para la serie completa de datos (1981-2021), se definieron dos primeros grupos, con mayores similitudes entre sí, integrados por las estaciones de HA y SR, por un lado y, por BB y TA, por

otro. Posteriormente se relacionan con ambos grupos las estaciones de BJ y RC (Figura 8). En este último caso, se infiere que el motivo de disimilitud es que ambas estaciones constituyen los extremos geográficos del área de estudio. Ello, teniendo en cuenta que el análisis se realiza sobre la base de datos de HSS correspondientes a un período mayor a 30 años, se corresponde con la tendencia regional de la precipitación y evapotranspiración en Argentina, la que disminuye y aumenta en dirección NE-SO, respectivamente (Bianchi & Cravero, 2010).

La disimilitud hallada entre las estaciones de BJ y RC también se observó a partir del análisis de la marcha interanual de la HSS. En cuanto a ello, ambas presentaron de manera constante, los máximos y mínimos de HSS, respectivamente (Figura 3 y 4). BB y TA, mostraron una marcha interanual muy similar entre sí (Figura 3), lo que se infiere como uno de los aspectos que las posicionó en el mismo grupo por similitud (Figura 8). En este caso, sus valores máximos para todo el período (1981-2021) fueron de 0,64 (BB) y 0,57 (TA) y los mínimos fueron de 0,47 y 0,48, respectivamente. El último de los grupos, según el análisis de agrupamiento sobre la serie completa de datos de HSS, estuvo conformado por HA y SR (Figura 8). Los valores medios para todo el período fueron de 0,48 (HA) y 0,49 (SR).

4. Discusión de resultados

La diferenciación espacial hallada sobre la base de los valores de HSS en la región, responde satisfactoriamente a la clasificación climática de Beck et al. (2018) en la que, a partir de un estudio de los parámetros del clima para el período 1980-2016, las localidades del E (TA, BJ), S (BB) y O (SR) corresponden a regiones más húmedas que aquella en la que se sitúan las estaciones de RC e HA (Figura 1). Los valores de HSS obtenidos de la base de datos de reanálisis (NASA Power Project, 2021) y analizados mediante estadística multivariada e interpretación visual de su dinámica a través del tiempo así como también mediante el cálculo estadístico de su relación con un índice climático coinciden, también, con lo presentado por Gusmerotti y Mercau (2022) en su determinación de la capacidad de retención de agua útil (CRA) de la región pampeana argentina, sobre la base de cartas de suelos elaboradas por el INTA a diferentes escalas.

Los valores mínimos de HSS hallados para la región del sur (estaciones de RC e HA) se encuentran en concordancia con lo afirmado por González Uriarte y Navarro (2007) en tanto que la disponibilidad de agua se restringe al río Colorado (Figura 1) y el riego es una práctica necesaria en dicha zona. Según el Índice de Aridez de De Martonne, estimado por Bianchi y Cravero (2010) para el territorio argentino, las estaciones de HA y RC correspondieron a la región semiárida, SR y BB al sector subhúmedo mientras que TA y BJ presentaron un índice entre 30 y 60, lo cual las categoriza como húmedas. Estas consideraciones coinciden con lo hallado en el presente trabajo desde el punto de vista de la distribución y el gradiente de la HSS. Estos hallazgos demuestran la factibilidad del uso de datos de reanálisis NASA POWER para la estimación de la HSS en la región de estudio, perteneciente a la región pampeana argentina. Los mismos han sido validados con éxito en otras regiones (Tayyeh & Mohammed, 2023; Tan et al., 2023), para parámetros meteorológicos y climáticos, a escala global, mediante métodos estadísticos y contrastación con datos in situ.

Las características de los suelos, a partir de las clasificaciones edáficas existentes, de órdenes de suelo (USDA, 1975) y de clima edáfico (Pereyra, 2012) coinciden con la distribución espacial hallada para la HSS en el presente trabajo. De esta manera, el análisis obtenido en referencia a su dinámica espacial constituye el principal aporte. En el sur, estación HA, los bajos valores de HSS permiten inferir la influencia de la absorción de la textura predominante del suelo (arenosa) presente en las regiones medanosas del extremo SO de la ecorregión del espinal (Morello et al., 2012).

En cuanto a la variabilidad interanual de la HSS, se constató un predominio de valores más bajos durante los años 1995, 2008 y 2009. En los 3 casos, han sido categorizados y estudiados por numerosos autores como períodos de extrema sequía en la región de estudio, con repercusión en los rendimientos agrícolas de cada año y las extensiones areales de los cuerpos de agua en el O de la región de estudio (D'Ambrosio et al., 2013), consecuencias socio-ambientales y económicas tales como la erosión edáfica, salinización de tierras bajo riego y mortandad de animales en el S de la provincia de Buenos Aires (Ferrelli et al., 2012). Los años mencionados y categorizados como secos en el presente estudio también fueron señalados entre los períodos de mayor sequía para la provincia de Buenos Aires (Scarpati & Capriolo, 2013). Específicamente para el evento ocurrido en 2008, Scarpati y Capriolo (2013) indicaron que, el mismo, afectó a la totalidad del territorio argentino con consecuencias para el ganado (se tuvo una gran mortandad), las cosechas y la declaración de "Desastre Agropecuario". El S, O y SO de la provincia de Buenos Aires (Figura 1) fueron los sectores más afectados. En cuanto a los años que mostraron mayor HSS, 1992, 1993, 2001 y 2014, se destacaron para

todas las estaciones y las consecuencias en la región también fueron observadas. Se demostró que los eventos El Niño (2002/3) y La Niña (2007/8) afectaron las precipitaciones del área de estudio observándose, como consecuencia, un incremento y decrecimiento de las extensiones areales de los cuerpos de agua, respectivamente (Bohn et al., 2016). Los mismos años, para el SO de la provincia de Buenos Aires, fueron caracterizados por Brendel et al. (2017) como húmedos y extremadamente secos, respectivamente y fueron estudiados junto a la evolución de los rendimientos de un cultivo de secano (trigo). En soporte a lo hallado para los años 2008 y 2009 se creó, para el sudoeste de la región en estudio, una Comisión de Emergencia y Desastres y un Sistema Nacional para Prevención de Desastres y emergencia agrícola, mediante la Ley agrícola de emergencia N° 26509, ello ligado a las consecuencias de los eventos de extrema sequía (Abraham et al., 2016). Desde el verano de 2008 en adelante, para la cuenca hidrográfica del Río de la Plata, al N de la región de estudio, Abelen et al. (2015) mostraron la existencia de una fuerte relación entre las variaciones en la humedad del suelo y el ONI, el que indicó un evento La Niña.

La dinámica espacial de la HSS y la dinámica del índice climático SPEI mostraron una correlación alta (Coeficiente de Pearson $> 0,50$) en todas las localidades, al igual que la conexión que evidenció, para la cuenca del Río de La Plata (Abelen et al., 2015), con las anomalías de diferentes parámetros hidrológicos y la precipitación. Se comprobó la influencia del balance simple de agua, a una escala temporal de 3 meses, dado mediante el SPEI y su variabilidad en la dinámica espacial de la HSS en las estaciones analizadas sin descartar la posibilidad de que exista otra variable forzante que pueda acrecentar o mitigar esta respuesta, tales como los cambios de cobertura de suelo o la variabilidad de los niveles freáticos, aspectos que no han sido tenidos en cuenta en el presente estudio.

El presente trabajo constituye un aporte para el conocimiento de la dinámica temporal y espacial de la variable de disponibilidad de agua, en una región en la que los excesos y los déficits hídricos se alternan cíclicamente. Ambos extremos pueden traer consecuencias para la producción agrícola y ganadera, tanto a través del desarrollo de inundaciones, así como también como consecuencia de sequías extremas. Se aporta el uso de datos de reanálisis y técnicas de análisis, lo que permite arribar a patrones de comportamiento de la HSS en una región amplia, con cobertura de suelo homogénea y en la que las variables del clima en conjunto con las características edáficas se infieren como forzantes de esta dinámica.

5. Conclusiones

La dinámica espacial y temporal de la HSS en localidades del sur de la llanura pampeana argentina mostró un patrón relacionado, a nivel interanual, con el régimen de la precipitación. Esto significó que, las localidades situadas al E (BJ, por ejemplo) de la región presentaron niveles superiores de HSS con respecto a aquellas situadas al SO (RC, por ejemplo) y dicha variación también mostró relación según correspondiera a años secos o húmedos, siendo siempre inferior durante los primeros. La aplicación del índice climático SPEI permitió demostrar que la respuesta del parámetro edáfico presentó mayor correlación a una escala temporal de 3 meses. Esto, teniendo en cuenta el uso de suelo predominantemente agrícola, constituye, sin presentarse como un modelo predictivo en sí mismo, cierto aporte para la planificación de los recursos.

A escala anual, la dinámica del parámetro analizado a lo largo de los meses, fue homogénea en el área de estudio, entre el período completo de estudio y los años secos. A partir de los datos de todo el período, se constató que, para todas las estaciones, los mínimos y máximos valores de HSS se registraron durante los meses de verano e invierno y primavera, respectivamente. La definición de estos patrones temporales también constituye un aporte para la actividad productiva de la región. En los años secos, los valores más bajos también se registraron durante el verano mientras que los máximos se dieron en otoño-invierno y primavera, en concordancia con el régimen de precipitación de la región. En los registros correspondientes a los años húmedos, la HSS hallada fue inferior durante el verano en todas las localidades excepto en SR. Estos aspectos también denotan la influencia de un relieve llano, en el que los procesos hidrológicos se rigen, fundamentalmente, por procesos verticales (en este caso, la evapotranspiración y evaporación). En cuanto a los máximos hallados de HSS, estos se registraron en otoño-invierno y primavera. En cuanto a la HSS estimada, según años pluviométricamente diferentes, los máximos valores fueron identificados durante los años húmedos de todas las localidades. A nivel espacial, los agrupamientos de localidades sobre la base de datos de HSS no se diferenciaron a pesar de pertenecer a períodos extremos y a valores promedio de más de 30 años y mostraron una relación estrecha con el patrón regional de precipitaciones.

La dependencia de la HSS con respecto al balance simple de agua dado por el SPEI fue demostrada a nivel interanual mientras que, a nivel anual, la correlación entre ambas variables fue mayor a una escala temporal

de 3 meses. La metodología del presente trabajo, basada en el uso de bases de datos disponibles, con libre acceso, a nivel global, permite su aplicación en otras áreas geográficas similares. Los resultados obtenidos son relevantes teniendo en cuenta que el área de estudio presenta una actividad económica basada, fundamentalmente, en la producción agrícola. Asimismo, es una región en la que la alternancia de períodos secos y húmedos se traduce en un riesgo para la producción de cultivos de secano por la falta de agua disponible, así como también por fenómenos de anegamiento y/o inundación de tierras productivas, respectivamente.

Financiación

La investigación se desarrolla en el marco del Proyecto de Grupos de Investigación (PGI) Vulnerabilidad hidrológica y problemas ambientales en cuencas hidrográficas de llanura (región pampeana, Argentina), otorgado y subsidiado por la Universidad Nacional del Sur (UNS) (Argentina).

Agradecimientos

La autora agradece al Proyecto POWER NASA Langley Research Center (LaRC) POWER Project fundado a través de la NASA Earth Science/Applied Science Program, al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), a la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), a los autores (citados en el presente trabajo) de la base de datos de SPEI, al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), al Instituto Geográfico Nacional (IGN) de la República Argentina y al Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) por el suministro de datos, en forma gratuita, para la realización de la presente investigación. La autora agradece, también, a la Universidad Nacional del Sur y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Referencias

- Abelen, S., Seitz, F., Abarca del Río, R., & Güntner, A. (2015). Droughts and floods in the Plata basin in soil moisture data and GRACE. *Remote Sensing*, 7, 7324-7349. <https://doi.org/10.3390/rs70607324>
- Abraham, E.M., Guevara, J.C., Candia, R.J., & Soria, N.D. (2016). Dust storms, drought and desertification in the Southwest of Buenos Aires Province, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 48(2), 222-241. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652016000200016&lng=es&nrm=iso
- Barros, V. & Camilloni, I. (2016). *La Argentina y el cambio climático: de la física a la política*. Editorial Eudeba.
- Baatz, R., Hendricks Franssen, H. J., Euskirchen, E., Sihi, D., Dietze, M., Ciavatta, S., Fennel, K., Beck, H., De Lannoy, G., Pauwels, V. R. N., Raiho, A., Montzka, C., Williams, M., Mishra, U., Poppe, C., Zacharias, S., Lausch, A., Samaniego, L., Van Looy, K., Bogena, H., Adamescu, M., Mirtl, M., Fox, A., Goergen, K., Naz, B.S., Zeng, Y., Vereecken, H. (2021). Reanalysis in Earth system science: Toward terrestrial ecosystem reanalysis. *Reviews of Geophysics*, 59, e2020RG000715. <https://doi.org/10.1029/2020RG000715>
- Bengtsson, L., Hagemann, S., & Hodges, K.I. (2004), Can climate trends be calculated from reanalysis data?, *J. Geophys. Res.*, 109, D11111. <https://doi.org/10.1029/2004JD004536>
- Beck, H.E., N.E. Zimmermann, T.R. McVicar, Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E.F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Nature Scientific Data*, 5, 180214. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Beguiría, S., Vicente-Serrano, S.M., & Angulo, M. (2010). A multi-scalar global drought data set: the SPEIbase: A new gridded product for the analysis of drought variability and impacts. *Bulletin of the American Meteorological Society*, (91), 1351-1354. <https://doi.org/10.1175/2010BAMS2988.1>
- Bianchi, A.R. & Cravero, S.A.C. (2010). Atlas climático digital de la República Argentina. Salta, Argentina: Ediciones Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/16040>
- Bohn, V.Y., Delgado, A.L., Piccolo, M.C., & Perillo, G.M.E. (2016). Assessment of climate variability and land use effect on shallow lakes in temperate plains of Argentina. *Environmental Earth Sciences*, 75(9), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5569-6>
- Brendel, A.S., Bohn, V.Y., & Piccolo, M.C. (2017). Variabilidad de la precipitación y su relación con los rendimientos agrícolas en una región semiárida de la llanura pampeana (Argentina). *Estudios Geográficos*, LXXVIII(282), 7-29. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201701>
- Brendel, A.S., Ferrelli, F., Piccolo, M.C., & Perillo, G.M.E. (2021). Efectos de la variabilidad pluviométrica sobre la morfometría de los recursos hídricos de una cuenca hidrográfica de la Región Pampeana (Argentina). Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. *Revista Geográfica Venezolana*, 62(1), 92-106. <https://doi.org/10.53766/RGV/2021.62.01.03>
- Bruniard, E.D. (1982). La diagonal árida argentina: un límite climático real. *Revista Geográfica*, 95, 5-20. <https://www.jstor.org/stable/40992410?origin=JSTOR-pdf>
- Caicedo-Rosero, L.C., Méndez-Ávila, F. de J., Gutiérrez-Zeferino, E., & Flores-Cuautle, J. de J.A. (2021). Medición de humedad en suelos, revisión de métodos y características. *Pádi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 9(17), 1-8. <https://doi.org/10.29057/icbi.v9i17.7035>
- Cruz, G., Baethgen, W., Picasso, V., & Terra, R. (2014). Análisis de sequías agronómicas en dos regiones ganaderas de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 18(1), 126-132. <https://doi.org/10.31285/AGRO.18.448>
- Chen, J., Zhang, B., Zhou, J., & Guo, F. (2023). Temporal and Spatial Changes of Drought Characteristics in Temperate Steppes in China from 1960 to 2020. *Sustainability*, 15(17), 12909. <https://doi.org/10.3390/su151712909>
- D'Ambrosio, G.T., Bohn, V.Y., & Piccolo, M.C. (2013). Evaluación de la sequía 2008-2009 en el oeste de la Región Pampeana (Argentina). *Cuadernos Geográficos*, 52(5), 29-45. <https://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/924>

- Del Valle Rivarola, A. (2009). Vulnerabilidad agroclimática a la sequía en la región centro-sur de la provincia de Córdoba [Master's Thesis, Universidad Nacional de Río Cuarto]. European Drought Observatory. https://edo.jrc.ec.europa.eu/gisdata/scado/drought/ar/riocuarto/Rivarola_2009.pdf
- Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). (1975). *Soil taxonomy. A basic system of soil classification for working and interpreting soil surveys*. Soil conservation Service. Agriculture Handbook, 436.
- Dillon, B., Pombo, D., Martínez Uncal, M.C., Leone, E.D., & Bossa, J.P. (2019). *Inundaciones y anegamientos en el noreste de La Pampa: Obra hidráulica de mitigación*. <https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/>
- Dongo Román, A.B. (2017). *Descripción Metodológica del análisis clúster utilizando el algoritmo Ward* [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3384>
- Ferrelli F., Bohn, V.Y., & Piccolo, M.C. (2012) Variabilidad de la precipitación y ocurrencia de eventos secos en el sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina). In *IX Jornadas Nacionales de Geografía Física* (pp. 15-28).
- Ferrelli, F., Brendel, A., Aliaga, V.S., Piccolo, M.C., & Perillo, G.M.E. (2019). Climate regionalization and trends based on daily temperature and precipitation extremes in the south of the Pampas (Argentina). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 45(1), 393-416. <https://doi.org/10.18172/cig.3707>
- Ferrelli, F. (2020). Evaluación de la tendencia y la periodicidad de eventos térmicos y pluviométricos en el Sudoeste Bonaerense (Argentina). *Revista Huellas*, 24(2), 11-25. <https://doi.org/10.19137/huellas-2020-2415>
- González Uriarte, M., & Navarro, E. (2007). Geomorfología, suelos y ocupación rural. Partido de Patagones (Buenos Aires). In Cazzaniga, N. & Vaquero, M. del C. (Eds.), *Ambiente natural, campo y ciudad, estrategias de uso y conservación en el sudoeste bonaerense: Actas de las IV Jornadas Interdisciplinarias del sudoeste bonaerense*. Editorial Universidad Nacional del Sur.
- Gusmerotti, L.A., & Mercau, J.L. (2022). Generación de mapas de capacidad de retención de agua útil en la región Chaco-Pampeana argentina. In *XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo* (pp. 1716-1721). AACS. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/13557>
- Hammer, O., Harper, D.A.T., & Ryan, P.D. (2001). PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 9. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Hernández Lalinde, J.D., Espinosa Castro, F., Rodríguez, J.E., Chacón Rangel, J.G., Toloza Sierra, C.A., Arenas Torrado, M.K., Carrillo Sierra, S.M., & Bermúdez Pirela, V.J. (2018). Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 37(5). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=55963207025>
- Holzman, M.E., & Rivas, R. (2013). Evaluación de la humedad del suelo mediante imágenes de temperatura radiactiva e índice de vegetación. In *Temas actuales de la hidrología subterránea* (pp. 219-224). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (Edulp).
- Iriondo, M. (1995). La Pampa. In J. Argollo y P. Mourguiart (Eds.), *Climas cuaternarios en América del Sur* (pp. 283-306). Editorial Institut Francais de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération.
- Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina (IGN). <https://www.ign.gob.ar>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (2009). *Informe Técnico Unificado PNECO 1643. Cobertura del suelo de la República Argentina*. Año 2006-2007 (LCCS-FAO). INTA.
- Jobbágy, E.G., Nosetto, M.D., Santoni, C.S., & Baldi, G. (2018). El desafío ecohidrológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura Chaco-Pampeana. *Ecología Austral*, 18, 305-322.
- Liu, Z., Xu, Z., Yao, Z., & Huang, H (2012). Comparison of surface variables from ERA and NCEP reanalysis with station data over eastern China. *Theor Appl Climatol*, 107, 611-621. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0501-1>
- Liu, L., Zhang, R., & Zuo, Z. (2014). Intercomparison of spring soil moisture among multiple reanalysis data sets over eastern China. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 54-64. <https://doi.org/10.1002/2013JD020940>

- Llorens, P., Latron, J., & Gallart, F. (2003). Dinámica espacio-temporal de la humedad del suelo en un área de montaña mediterránea. Cuencas experimentales de Vallcebre (Alto Llobregat). *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*, VI, 71-76. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122599/records/6477602e5eb437dfff779fd9>
- Morello, J., Matteucci, S.D., Rodríguez, A.F., & Silva, M. (2012). *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos*. Ed. Orientación Gráfica Editora.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2021). Langley Research Center (LaRC) Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) fundada a través de la NASA Earth Science/Applied Science Program (NASA POWER DATA). <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Pereyra, F.X. (2012). Suelos de la Argentina. Geografía de suelos, factores y procesos formadores. *Anales*, 50. Ed. Segemar-AACS-GAEA. <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/3619>
- Rivas, R., Niclós, R., Santos García, V., Doña, C., Caselles, V., Holzman, M., Bayala, M., Carmona, F., Ocampo, D., Thibeault, M., & Soldano, A. (2013). Validación de datos de humedad de suelo SMOS en la región pampeana argentina. *Temas Actuales De La Hidrología Subterránea*, 225-230.
- Scarpati, O.E., & Capriolo, A.D. (2013). Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, (82), 38-51. <https://doi.org/10.14350/riq.31903>
- Scarpati, O.E. & Capriolo, A.D. (2018). Evolución del exceso de agua edáfica anual en la Región Pampeana (Argentina). *Estudios Geográficos*, LXXIX/285, 375-395. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201814>
- Tan, M.L., Armanuos, A.M., Ahmadianfar, I., Demir, V., Heddham, S., Al-Areeq, A.M., Abba, S.I., Halder, B., Kilinc, H.C., & Yaseen, Z.M. (2023). Evaluation of NASA POWER and ERA5-Land for estimating tropical precipitation and temperature extremes. *J. Hydrol.*, 624, 129940. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129940>
- Tapley, B. (2001). The GRACE mission: status and future plans. *EOS Trans. AGU*, 82(47).
- Tayyeh, H.K., & Mohammed, R. (2023). Analysis of NASA POWER reanalysis products to predict temperature and precipitation in Euphrates River basin. *Journal of Hydrology*, 619, 129327. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129327>
- Tian, J., Zhang, B., He, C., Han, Z., Reemt Bogena, H., & Huisman, J.K. (2019). Dynamic response patterns of profile soil moisture wetting events under different land covers in the Mountainous area of the Heihe River Watershed, Northwest China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 271, 225-239. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.03.006>
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., & López-Moreno, J.I. (2010). A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index - SPEI. *Journal of Climate*, (23), 1696-1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Viggiano, M., Gherardi, E., Cimini, D., Di Paola, F., Gallucci, D., Gentile, S., Larosa, S., Nilo, S.T., Ricciardelli, E., & Romano, F. (2021). The role of temporal resolution of meteorological inputs from reanalysis data in estimating air humidity for modelling applications. *Agricultural and Forest Meteorology*, 311, 108672. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108672>
- Viglizzo, E.F., Frank, F.C., & Carreño, L. (2006). Situación ambiental en las ecorregiones pampa y campos y malezales. In Brown, A., Martínez Ortíz, U., Acerbi, M., & Corcuera, J. (Eds.), *La situación ambiental argentina 2005* (pp. 263-278). Fundación Vida Silvestre Argentina.
- Yang, S., Li, R., Wu, T., Hu, G., Xiao, Y., Du, Y., Zhu, X., Ni, J., Ma, J., Zhang, Y., Shi, J. & Qiao, Y. (2020) Evaluation of reanalysis soil temperature and soil moisture products in permafrost regions on the Qinghai-Tibetan Plateau *Geoderma*, 377, 114583. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114583>

Seismic vulnerability, municipality of Toluca: a holistic analysis of the structural, social and economic aspects

Vulnerabilidad sísmica, municipio de Toluca: un análisis holístico de los aspectos estructurales, sociales y económicos

AUTHORSHIP

Fernando Sánchez Carmona 

Autonomous University of the State of Mexico,
Faculty of Geography, Toluca-Mexico.

Alexis Ordaz Hernández 

Autonomous University of the State of Mexico,
Faculty of Geography, Toluca-Mexico.

Luis Miguel Espinosa Rodríguez 

Autonomous University of the State of Mexico,
Faculty of Geography, Toluca-Mexico.

Elkin de Jesús Salcedo Hurtado 

Universidad del Valle, Geography Department,
University City, Cali, Colombia.

DOI

<https://doi.org/10.14198/INGEO.26716>

CITATION

Sánchez Carmona, F., Ordaz Hernández, A., Espinosa Rodríguez, L. M., & Salcedo Hurtado, E. J. (2024). Seismic Vulnerability, municipality of Toluca: A holistic analysis of the structural, social and economic aspects. *Investigaciones Geográficas*, (82), 105-126. <https://doi.org/10.14198/INGEO.26716>

CORRESPONDENCE

Alexis Ordaz Hernández (aordazh@uaemex.mx)

HISTORY

Received: 3 January 2024

Accepted: 15 April 2024

Published: 10 July 2024

TERMS

© Fernando Sánchez Carmona, Alexis Ordaz Hernández, Luis Miguel Espinosa Rodríguez, Elkin de Jesús Salcedo Hurtado

 This work is published under a license [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Abstract

This research integrates physical, social, and economic aspects to address seismic vulnerability in the municipality of Toluca, Mexico. The objective is to design and implement a procedure that estimates seismic vulnerability at the urban block scale. The developed method combines physical and socio-economic dimensions to assess seismic vulnerability. The physical dimension includes susceptibility to seismic resonance, as well as the age and type of constructions, while the socio-economic dimension is based on the marginalization index. Mapping covers 7,807 urban blocks where five levels of vulnerability are identified, with 46.6% exhibiting severe and very severe levels. The resulting zoning is a robust tool for risk reduction, particularly for justifying the implementation of actions aimed at reducing vulnerability.

Keywords: development management; seismic risk; hazard mapping; holistic approach; seismic resilience; seismic vulnerability.

Resumen

La investigación transita hacia la integración de aspectos físicos, sociales y económicos, que convergen en una aproximación a la vulnerabilidad sísmica para el municipio de Toluca, México. El objetivo se orienta a diseñar y aplicar un procedimiento que estime la vulnerabilidad sísmica a escala de manzana urbana. El método desarrollado fusiona las dimensiones físicas y socioeconómica para evaluar la vulnerabilidad sísmica. La dimensión física incluye la susceptibilidad a resonancias sísmicas, la antigüedad y tipo de construcciones; mientras que la socioeconómica se basa en el índice de marginación. La cartografía cubre 7.807 manzanas urbanas donde convergen cinco niveles de vulnerabilidad, destacando que, el 46,6% muestra niveles altos y muy altos. La zonificación resultante es una herramienta robusta para la reducción del riesgo, especialmente para justificar la implementación de acciones dirigidas a reducir la vulnerabilidad.

Palabras clave: gestión del desarrollo; riesgo sísmico; cartografía de peligros; enfoque holístico; resiliencia sísmica; vulnerabilidad sísmica.

1. Introduction

Socio-natural disasters, especially earthquakes, pose significant hazard to the safety and well-being of communities worldwide. Faced with the hazard of a seismic event, the analysis and understanding of vulnerability become crucial tasks. Vulnerability to seismic risk is a concept that encompasses different dimensions, including structural, social, and economic aspects (Olcina, 2022). Therefore, adopting a holistic approach that considers these dimensions is essential to comprehend the true extent of seismic vulnerability and to develop effective mitigation and response strategies (Lee & Oh, 2022).

In this context, Disaster Risk Reduction (DRR) emerges as a pivotal field in emergency management and urban planning. Essentially, DRR refers to a series of actions and strategies aimed at minimizing the adverse effects of natural or human-induced events (Parajuli, 2020). However, its effectiveness largely depends on the understanding and addressing overall vulnerability.

Vulnerability, according to the Dictionary of the Royal Spanish Academy (DRAE, 2014, for its acronym in Spanish), is the quality of being susceptible to harm or damage, whether physical or moral. This multidimensional concept involves evaluating the structural conditions of a society or region in terms of its capacity to resist. Essentially, vulnerability represents the latent possibility of experiencing harm before an adverse event occurs, emphasizing the importance of strengthening conditions that enable a community to face and overcome challenges.

This concept explains why territories exposed to the same hazard may experience different impacts, unevenly distributing the effects of natural hazards. Vulnerability is understood as a component of risk, alongside the hazard and exposure (Tatano et al., 2023).

The hazard is a physical characteristic; however, exposure and vulnerability are influenced by social and economic factors, delineating socio-economic inequalities (Iglesias-Lesaga & Carmona-Motolinia, 2016; Pérez-Morente et al., 2017; Baró & Monroy, 2018; Ramos, 2019).

Vulnerability is a concept that encompasses various dimensions, enabling the development of effective DRR strategies that strengthen community resilience to disasters (Conlon et al., 2020). In this sense, the assessment presented here considers structural, social, and economic dimensions.

The studies by Acevedo et al. (2017 & 2020), along with the work of Hoyos & Hernández (2021), focus on assessing the structural vulnerability of buildings, considering physical aspects such as construction type, age, conservation status, material resistance, and foundation. Research conducted by Armaş (2012); Huang et al. (2015); Burton et al. (2022) focuses on analyzing the social and economic conditions that expose communities to higher risks during seismic events. Factors that can be evaluated to estimate social and economic vulnerability include the population's income level, availability of health and emergency services, population density in risk-prone areas, education, and public awareness of earthquake preparedness, as well as the responsiveness and recovery capacity of local institutions.

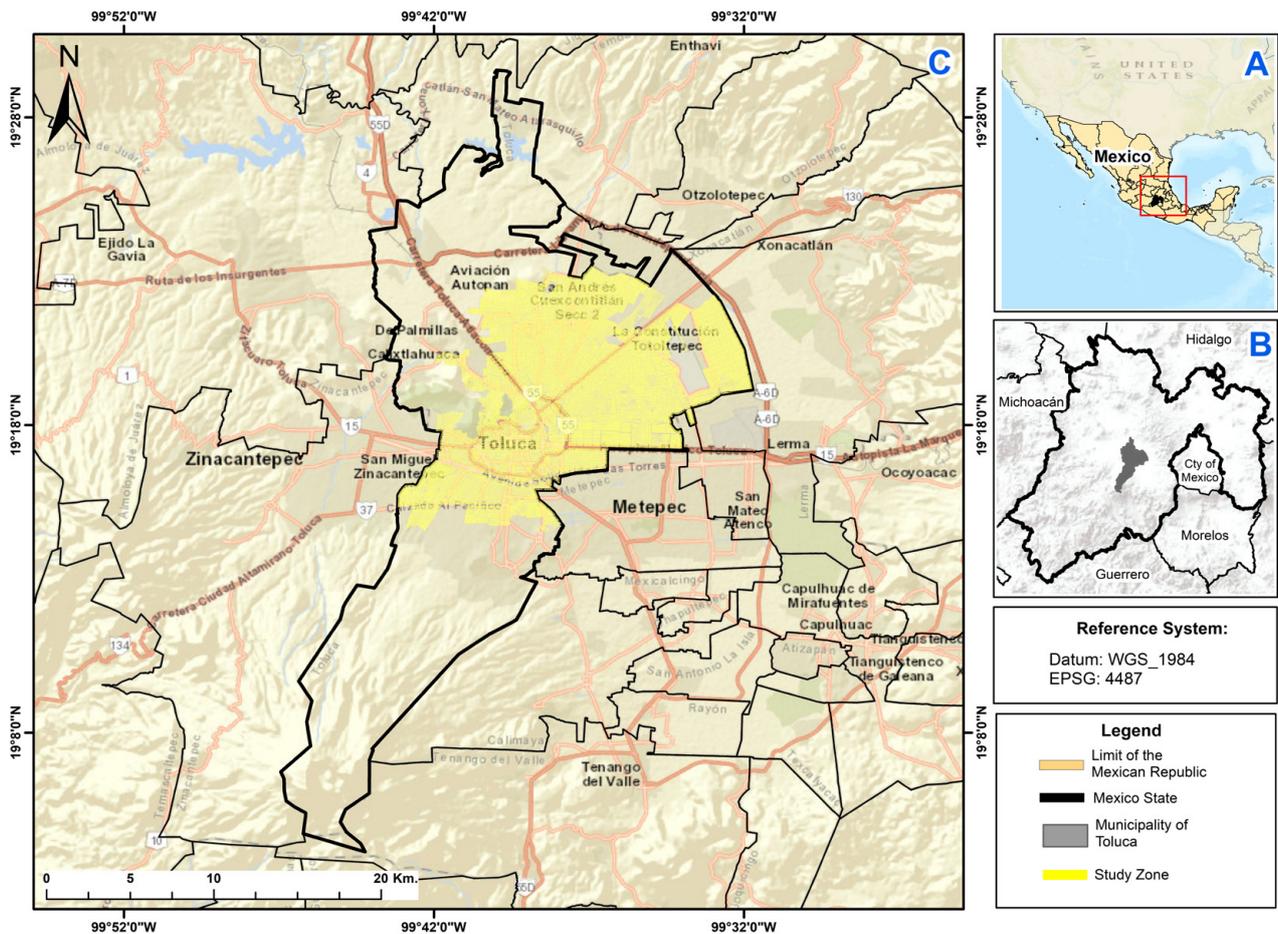
The main objective of this research is to integrate existing methods that rarely converge in a single study, especially when analyzing seismic vulnerability at the municipal level. The innovative aspect of this work does not lie in generating a new method; rather, its strength lies in combining approaches from both applied and social sciences. Cardona (2001) and Barrantes & Márquez (2011) engage in deep academic discussions on interdisciplinary integration to achieve robust studies. Particularly, for the case study conducted in this article (municipality of Toluca), factors of structural and socioeconomic vulnerability are considered. The procedure systematically combines technical resources and information available for the Mexican context, opening up the possibility of replication in other municipalities of the country. Lastly, the goal is to enhance the quality of information for the case study. Until now, the only previous work corresponds to Ordaz Hernández et al. (2020), which focused on analyzing structural vulnerability and only considered building typology and ages.

2. Methodology

2.1. Study area

The study was conducted in the city of Toluca, the capital of the State of Mexico, which is home to a population of 910,608 inhabitants (National Institute of Statistics and Geography [INEGI], 2020a) (Figure 1). The urban infrastructure is organized into 7,807 blocks, with a prevalence of buildings between two and five floors, distributed over an area 131.08 km² at an average altitude of 2,640 meters above sea level (Ministry of Agrarian, Territorial, and Urban Development [SEDATU], 2020).

Figure 1. Geographic location of the city of Toluca



Where: Box A represents the context in Central and North America, Box B indicates the location within the state, and Box C denotes the city's position within the municipality

Source: INEGI (2020b). Own elaboration

Due to urban expansion and population growth in Toluca, there is a growing concern about the structural vulnerability of buildings. The rapid construction of housing and the lack of adequate regulation in some areas have resulted in building practices that may be susceptible to damage in the event of seismic events or other natural hazards. For instance, between 2000 and 2020, the city's population increased from 666,596 to 910,608 inhabitants (INEGI, 2010 & 2020b). In a qualitative study on the structural vulnerability to seismic hazard in the city's housing stock, Ordaz Hernández et al. (2020) warned about a significant number of blocks susceptible to damage. In the cited study, 5,121 blocks were analyzed, of which 866 were predicted to have very severe vulnerability and 1,430 with severe vulnerability.

In the context of the described exposed elements, stratigraphic characteristics that contribute to local seismic amplification are added. For the city of Toluca, impedance contrast values above 3.0 and dominant ground periods exceeding 1.0 s have been estimated, spatially linked to sites with powerful layers of loosely consolidated (low density) soils up to 100 meters thick (Sánchez et al., 2022; Ordaz Hernández, 2022). The significance of this is heightened considering the location of the city of Toluca within the MVB seismotectonic zone (Zúñiga et al., 2017), the same structure that generated the magnitude 7.2 Mw, earthquake on September 19th, 2017, causing the death of at least 369 people (Buendía & Reinoso, 2019).

2.2. Materials and methods

Within a city, two approaches can be followed depending on the research object. The first is related to studies of a particular building or construction, which, due to their relevance, justify detailed analysis, as is the case with structural modeling. Examples of these applications have been developed in heritage buildings in the cities of Malaga and Cairo (Goded, 2010; Sallam et al., 2023), or for the analysis of the vulnerability of lifeline buildings in Uttarakhand, northern India (Girish et al., 2019).

However, the work presented here aims to approach seismic vulnerability conditions in a city (second approach), using the block as the basic unit of information. Studies on seismic vulnerability at the city level face the challenge of handling a significant volume of alphanumeric data and grouping buildings with similar structural behaviors (Armaş, 2012; Hassan et al., 2022; Li & Formisano, 2023). In cases where information is incomplete or it is unfeasible to obtain it directly in the field, some studies apply convolutional neural networks to automatically detect building typologies (Cui et al., 2023; Hafidz et al., 2024).

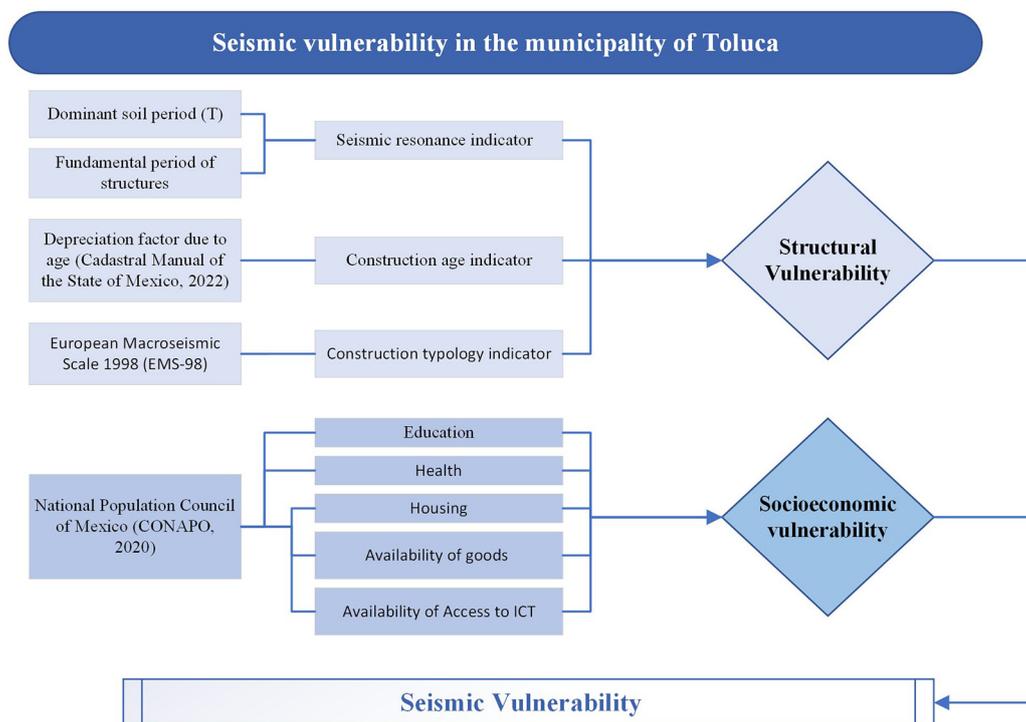
In coherence with the objective of this study, a procedure was designed that led to obtaining seismic vulnerability (V_s) (Figure 2). The methodological proposal is based on the analysis of two vulnerabilities: Structural vulnerability (V_e) and socioeconomic vulnerability (V_{se}) (Equation 1). Its purpose is to generate a cartographic product that approximates the physical and socioeconomic reality of the municipality of Toluca and that, moreover, can be replicated in other municipalities of Mexico.

Seismic vulnerability requires a holistic analysis, in this case, supported by the spatial relationships between structural and socioeconomic vulnerability. These vulnerabilities and the indicators that compose them are extensively used for different case studies (Baquedano et al., 2023; Jaimes et al., 2023; Meyers-Angulo et al., 2023; Novelo-Casanova & Suárez, 2024). However, the procedure explained below can be strengthened in subsequent studies, for example, by analyzing the preparedness and response capacity of government structures, defined in the literature as institutional vulnerability (Acuña, 2016; Alcántara et al., 2019; Muñoz-Sánchez, 2019).

$$V_s = V_e + V_{se} \tag{Equation 1}$$

For the formulation, the same weights were assigned to the variables V_e and V_{se} . This selection, made through expert criteria, aims to achieve a balance in the contribution of both variables, ensuring that the equation fairly reflects their impact on total vulnerability.

Figure 2. Flow chart for determining seismic vulnerability



2.2.1. Structural vulnerability

The assessment of structural vulnerability involves analyzing and evaluating the level of fragility of structural elements of a building against seismic events (Martins & Silva, 2021) and is considered one of the most complex variables to estimate. Generally, there are two types of studies: (1) those aimed at defining the vulnerability of a particular structure (building, bridge, dam, among others) (Vargas et al., 2013; Alas & Grijalva, 2018; Cárdenas, 2021) and (2) those aimed at estimating the vulnerability of a set of structures that are part of a neighborhood,

city, or municipality, where constructions with probably similar behaviors are grouped (Armaş, 2012; Ruiz et al., 2016; Ordaz-Hernández et al., 2020; Colajanni & D'Anna, 2024). For the present study, the second approach is applied (vulnerability index method), using the block as the basic unit of information (Equation 2).

$$V_e = I_{rs} + I_{ec} + I_{tc} \quad \text{Equation 2}$$

Where I_{rs} , I_{ec} and I_{tc} correspond to the seismic resonance, age of constructions, and construction typology indicators, respectively. This choice implies that each of these indicators is considered to contribute equivalently to the overall assessment.

2.2.1.1. Seismic resonance indicator

In the case of Mexico City, located approximately 70 km from Toluca, the effect of seismic resonance on infrastructure has been demonstrated (Orozco & Reinoso, 2007; Razo & Domínguez, 2020). These studies have shown the relationship between seismic resonance and the damages caused to structures by the earthquakes in July 1957, September 1985, and September 2017. For this work, the definition proposed by Orozco and Reynoso (2007) is considered: "The resonance effect is considered to occur when, during seismic excitation, the natural period of a structure is very similar to the dominant period of the soil on which it is founded." (p. 83).

Based on this theoretical foundation, the present study addresses the dominant soil period, obtained through the application of the empirical equation $T=(4H/V_s)$, proposed by Bard (1997) and applied in more recent studies (Rocabado et al., 2011; Diaz-Segura, 2017). In Bard's proposal, sediments thickness (H), and the shear wave velocity (V_s) are involved. It's important to highlight that the use of this method constitutes a simplification; however, it can be an alternative for urban areas similar to Toluca that lack seismic microzonation. The sediment thickness (H) was acquired through information from 20 boreholes located in the area for hydrological purposes (Expósito, 2012) and 66 boreholes from geotechnical studies conducted from 1992 to 2021 by the Materials Laboratory of the Autonomous University of the State of Mexico. The thickness of unconsolidated materials (H), ranges widely, from 0 to 140.0 m. In the work carried out by Sánchez et al. (2022), modeling of the different lithologies of the metropolitan area of the Toluca Valley was performed. Geotechnical boreholes (of shallow depth) allowed certainty of thicknesses up to the first approximately 25 meters, while boreholes with hydrogeological purposes (average depth of 150 m) clarified the depth of the rock stratum roof.

The most commonly used drilling method in geotechnical investigations in the municipality was the Standard Penetration Test (SPT). This allowed characterizing each soil layer based on the recorded number of blows (N). In this way, it was possible to apply the empirical correlations proposed by Dikmen (2009), which are based on the number of blows (N), to obtain the shear wave velocities (V_s) of the soils in the area (Table 1). Considering the vertical heterogeneity of the cross-section (intercalation of different layers), the equivalent V_s was determined using the equation (Federal Electricity Commission [CFE], 2015):

$$V_s = \frac{\sum_{i=1}^N V_i h_i}{H_s}$$

Where V_i corresponds to the shear wave velocity of each layer, h_i represents the thickness of each layer, and H_s represents the total of all thickness. Subsequently, the dominant period of the soil was calculated for the 86 points (boreholes), and the obtained value was interpolated using the geostatistical Kriging method.

Once the approximate values of the dominant period of the soil, on which the urban infrastructure rests, have been clarified, the next step is to estimate the oscillation period of the structures (T_e). For this purpose, various numerical simulations are available, which can be consulted in Oliveira & Navarro (2010). Considering the height of the constructions in the municipality, it was decided to use the National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP, 1994), indicating that $T_e=0.1 N$, where N represents the number of levels with a minimum height of 2.7 meters per floor. The values of T_e were associated with the blocks according to the number of levels (height) most generalized around their perimeter. Then, an overlay was performed between the blocks and the map of the dominant period of the soil. This allowed calculating the T/T_e ratio for each block. Buildings would experience resonance when the results of the ratio fall within the range of 0.7 to 1.2, (Federal District Building Regulations [RCDF], 2004), and polygons in this situation are assigned a weighting value of 1.0, while the rest are assigned 0 (Figure 3A).

Table 1. Lithological types forming the subsurface of the municipality of Toluca and their shear wave velocities

Lithological type	Shear wave velocity ($V_{s_{30}}$ in m/s)
Inorganic clays with low to medium plasticity	161.42 m/s*
Inorganic silts and very fine sands	166.51 m/s*
Well-graded sands	216.61 m/s*
Clayey sands	202.45 m/s*
Inorganic silts	176.19 m/s*
Silty sands	205.44 m/s*
Poorly-graded sands	235.97 m/s*
Poorly-graded gravels	229.09 m/s*
Pyroclastic material	760-1,500 m/s**
Volcanic rock (Andesite)	>1,500 m/s**
Volcanic rock (Basalt)	>1,500 m/s**

Source: *Values obtained applying empirical correlations proposed by Dikmen (2009). **Shear wave velocities proposed by Federal Emergency Management Agency (FEMA, 2003) for lithological types like those studied in this case study; Own elaboration

2.2.1.2. Construction age indicator

For the analysis of the influence of age (Figure 3B), the suggestions contained in Serrano & Temes (2015) and Tinoco et al. (2019) were considered. Additionally, the Cadastral Manual of the State of Mexico (Institute of Geographic, Statistical and Cadastral Information and Research of the State of Mexico [IGECEM], 2022b) was consulted, which proposes the period of useful life for constructive typologies (Example: H1, precarious housing typology with 15 years of useful life). The analysis of the cited works refers to (1) the incidence of aging of structures on their resistance capacity against seismic events and (2) the construction period, which likely suggests improvements in safety protocols in design. The two mentioned approaches were attempted to be summarized in Table 2, and with the support of SQL queries in GIS platform, possible options were identified. The age of different constructive developments for Toluca is extracted from IGECEM, (2022a). The second element to consider refers to the enforcement of the General Regulation of Constructions of the Municipality of Toluca (Municipal Government of Toluca, 1993), where explicitly in the Tenth Title “Structural Safety”, in chapters I to VI stipulate actions aimed at improving construction protocols (Ramírez et al., 2002).

Table 2. Integration of factors associated with the age of constructions

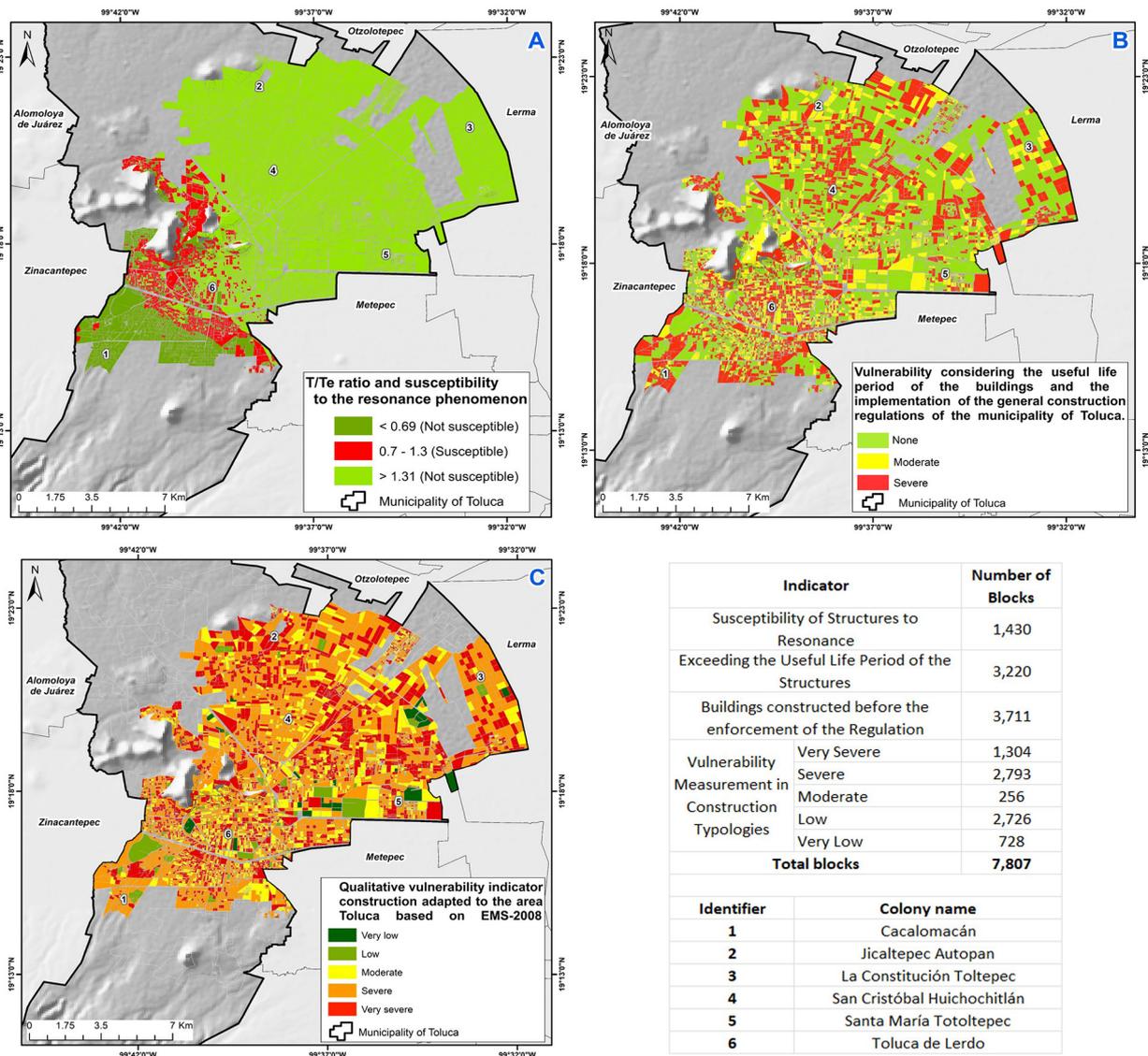
Null vulnerability Weight value 0	Moderate vulnerability Weight value 0.5	Moderate vulnerability Weight value 0.5	Severe vulnerability Weight value 1
Construction exceeding the useful life period	Construction exceeding the useful life period	Construction not exceeding the useful life period	Construction exceeding the useful life period
Construction post-enforcement of the General Regulation of Constructions of the Municipality of Toluca	Construction post-enforcement of the General Regulation of Constructions of the Municipality of Toluca	Construction pre-enforcement of the General Regulation of Constructions of the Municipality of Toluca	Construction pre-enforcement of the General Regulation of Constructions of the Municipality of Toluca

Own elaboration

2.2.1.3. Construction typology indicator

Up to this point, seismic resonance and building age indicators have been described. Now, building typology is addressed. In this case study, a large volume of data is employed, analyzing approximately 157,365 dwellings distributed across 7,807 blocks. The building typology indicator (Figure 3C) is introduced as a third criterion to define the predisposition of structures to suffer damage during seismic events. Martins & Silva (2021) indicate that seismic performance assessments of buildings can follow two routes: (1) through empirical methods (Iglesias Asenjo et al., 2006; European Seismological Commission, 2008; Novelo-Casanova & Suárez, 2024, among others) or (2) employing analytical methods (Federal Emergency Management Agency and National Institute of Building Sciences [FEMA/NIBS], 1999; NIBS, 2000; Milutinovic & Trendafiloski, 2003; Molina et al., 2010).

Figure 3. Spatial behavior of the indicators used for the analysis of structural vulnerability in the municipality of Toluca



Where Box A represents the seismic resonance indicator, Box B represents the age of constructions indicator, and Box C corresponds to the constructive typology indicator

Own elaboration

Considering the current level of information available for the municipality of Toluca, the empirical methods approach will be pursued, where two criteria will be evaluated: (1) materials and construction design employed, and (2) experiences of damage to similar structures during historical earthquakes in Mexico. For a detailed analysis of the two aforementioned criteria, the cartography provided by IGCEM (2022a), is used as a starting point, which includes the blocks of the municipality and is associated with the attribute “Typology”. The typologies identified in the municipality of Toluca are exhaustively described in the Cadastre Manual of the State of Mexico IGCEM (2022b). This allowed correlating the structures of the municipality with similar ones that suffered different degrees of damage in past earthquakes (Ramírez & Lugo, 2000; González et al., 2010; Buendía & Reinoso, 2019; González et al., 2020; Tena-Colunga et al., 2021). Additionally, the vulnerability classes contained in the European Macroseismic Scale EMS-98 were observed, the latter serving as a validation reference for the decisions made. Thus, Table 3 tabulates (a) the eleven construction typologies present in Toluca, (b) the most common materials and design styles, (c) a representative image, (d) a qualitative assessment of their predisposition to suffer damage with an assigned weighting value, and (e) equivalent (similar) structures that suffered damage in past earthquakes. It is important to note that the procedure results in an approximation or preliminary evaluation of the “building typology” indicator, consistent with the level of information currently available to municipalities in Mexico; and the authors consider it important for future work to transition to the estimation of a Seismic Structural Vulnerability Index, similar to the proposal by Novelo & Suárez (2024).

Table 3. Predisposition of building typologies to suffer damage during seismic events. Qualitative approach for the municipality of Toluca

Typology / Materials and Design Styles	Representative Image for Toluca / Qualitative Assessment of Susceptibility to Damage	Damage to Similar Structures in Past Earthquakes in Mexico
<p>Informal housing (H1) / Precarious dwellings, without formal design. Poor-quality and/or recycled materials, unfinished. Room heights less than 3.0 m, self-construction. Construction surfaces are minimal, generally 40 m² or smaller. Roofing materials include cardboard sheets, tiles, asbestos, galvanized sheets. Wood, adobe, and recycled material are used in walls.</p>	 <p>Adobe construction in Toluca municipality / Very severe susceptibility to damage, weighting value 1.0.</p>	 <p>Collapse of walls and roofs in adobe constructions in the northern region of Guerrero State, during the earthquake on 19/09/2017 (8.1 Mw).</p>
<p>Popular housing (H2) / Economical housing without a defined or partially defined project. Economical materials, with rudimentary finishes, executed with poor quality. Room heights less than 3.5 meters, self-construction. Materials used include concrete, unfinished slabs, brick walls, or similar in walls.</p>	 <p>Economical housing without a defined project / Severe susceptibility to damage, weighting value 0.8.</p>	 <p>Cracks in columns and walls in economical housing without defined projects in the State of Chiapas, during the earthquake on 07/09/2017 (8.2 Mw).</p>
<p>Social Interest Housing (H3) / With a defined typical project. Economical materials with medium-quality execution. Room heights less than 3.5 m. Mass production by private or official companies. Located in urban areas, subdivisions, or isolated lots. Roofing may be concrete, pre-mixed concrete, glass block walls, brick, or similar.</p>	 <p>Social interest housing with a defined typical project / Moderate susceptibility to damage, weighting value 0.6.</p>	 <p>Partial deterioration of surface finishes in social interest housing with a defined project in Mexico City, during the earthquake on 19/09/2017 (8.1 Mw).</p>
<p>Medium Housing (H4) / Housing with regular, well-defined projects. Materials of medium and good quality with well-executed finishes. Room heights averaging 4.0 m, constructed under professional supervision. Materials used include concrete and vaults. Roofing typically employs waterproofing and tile and/or brick coverings. Walls are made of brick, concrete block, adobe, or stone.</p>	 <p>Medium housing with a well-defined regular project / Moderate susceptibility to damage, weighting value 0.6.</p>	 <p>Cracks in columns and beams, and in structural walls with defined projects in the State of Chiapas, during the earthquake on 07/09/2017 (8.2 Mw).</p>

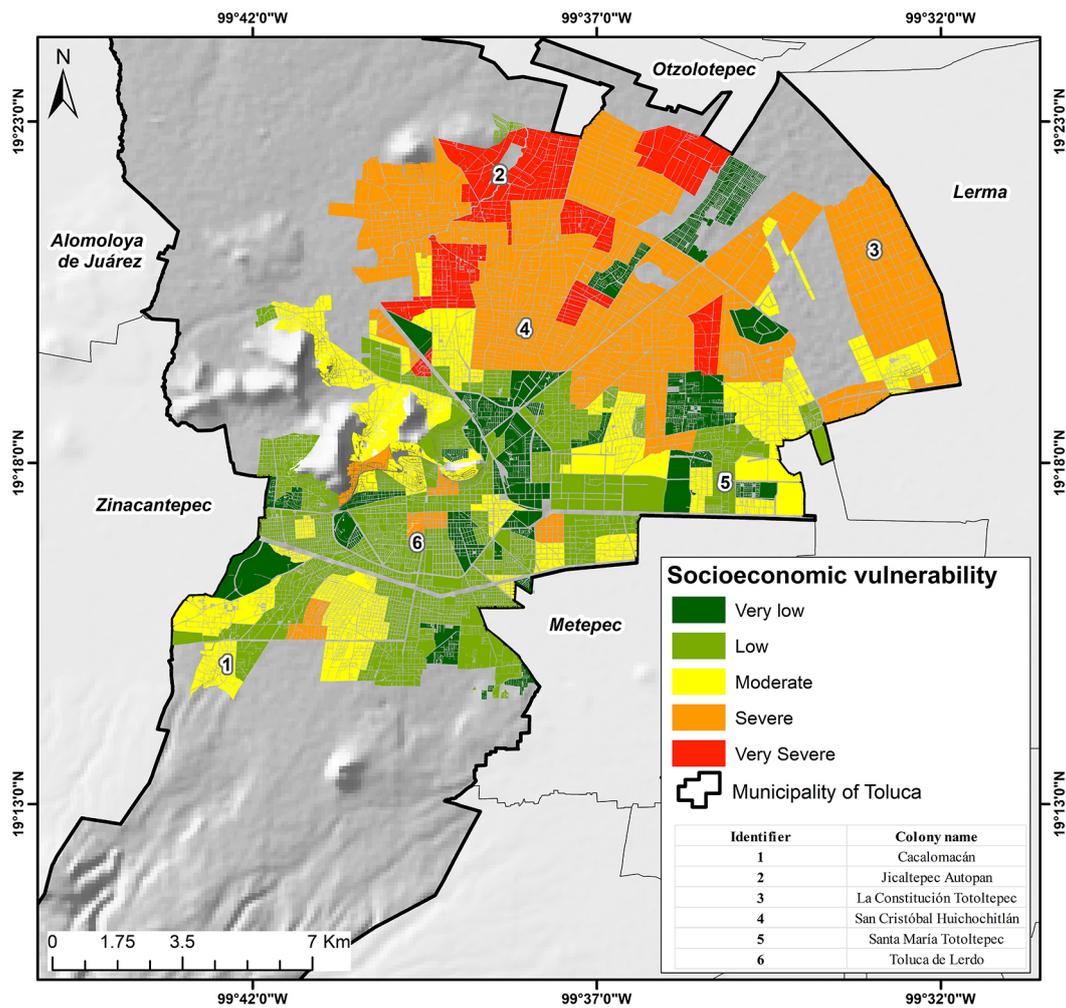
<p>Good Residential Housing (H5) / Houses with good architectural design, functional and quality. Good-quality materials, well-executed finishes with special details. Room heights averaging 6.0 meters, constructed by construction companies. Located in exclusive areas and/or residential subdivisions.</p>		<p>Good residential housing with functional architectural design / Low susceptibility to damage, weighting value 0.4.</p>		<p>Partial deterioration of surface finishes without structural damage, residential area of Toluca City, during the earthquake on 19/09/2017 (8.1 Mw).</p>
<p>Medium Commercial (C2) / Commercial use constructions. Regular, defined, and functional project. Medium-quality materials with well-executed finishes. Room heights averaging less than 4.0 meters, constructed under supervision or by construction companies. Located in commercial zones, planned commercial corridors, or outside urban areas.</p>		<p>Medium commercial with a defined and functional regular project / Low susceptibility to damage, weighting value 0.4.</p>		<p>Cracks in columns without damage to structural walls with a defined project in Toluca, Mexico, during the earthquake on 19/09/2017 (8.1 Mw).</p>
<p>High Commercial (C3) / Defined, quality functional project, controlled high-quality materials, well-executed finishes with special details, average room heights of 6.0 meters, constructed by construction companies, high-quality and meticulously executed materials.</p>		<p>High commercial with a defined and high-quality functional project / Very low susceptibility to damage, weighting value 0.2.</p>		<p>No evidence of structural damage, except for the fall of products and shelves during the earthquake on 19/09/2017 (8.1 Mw).</p>
<p>Light Industrial (I2) / Defined project, materials ranging from good to medium quality, room heights of over 10 meters, with structural horizontal elements over 1.10 meters, construction by construction companies, typically in industrial parks.</p>		<p>Light industrial with a defined project and high-quality materials / Very low susceptibility to damage, weighting value 0.2.</p>		<p>Falling domes, without structural damage with a defined project in the State of Chiapas, during the earthquake on 07/09/2017 (8.2 Mw).</p>
<p>Equipment (E1) / Buildings with architectural design. Masonry of hollow pieces with interior reinforcements and foundation chains. Walls with extruded blocks, with castles and closure chains. Metal beams and columns, zinc and painted zinc sheets, reinforcement with metal crossbars and stiffening diagonals. This category includes markets, schools, clinics, administrative hospitals, among others.</p>		<p>Special buildings with a defined architectural design / Very low susceptibility to damage, weighting value 0.2.</p>		<p>Cracks in walls and facades, without structural damage in special buildings in the State of Chiapas, during the earthquake on 07/09/2017 (8.2 Mw).</p>

Source: Data and photographs from various publications (Sol de Toluca, 2022; González et al., 2020; Buendía & Reinoso, 2019); Own elaboration

2.2.2. Socioeconomic vulnerability

To analyze socioeconomic vulnerability conditions in the municipality of Toluca, data published by the National Population Council of Mexico (CONAPO, for its acronym in Spanish) regarding the 2020 marginalization index were utilized (CONAPO, 2020a). The marginalization index estimated by CONAPO provides insights into economic, educational, and access-to-basic-services deficiencies, among others, experienced by communities. Currently, for the case of Mexico, it is considered the most robust index for designing programs aimed at connecting the population to economic and social development (Cortés & Vargas, 2011; Bernal & Mungaray, 2017; Peláez, 2023). The cartography reflecting the spatial behavior of the marginalization index was obtained from CONAPO (2020a) (Figure 4), and the indicators comprising the index are thoroughly explained in CONAPO (2020b).

Figure 4. Socioeconomic vulnerability, based on the marginalization index proposed by CONAPO (2020a)



Source: CONAPO (2020a)

The cartography representing socioeconomic vulnerability, according to the CONAPO’s methodology (2020b), considers, among its indicators: (a) total population, (b) percentage of the population aged 6 to 14 not attending school, (c) percentage of the population aged 15 and over without basic education, (d) percentage of the population without access to health services, (e) percentage of occupants in inhabited private housing without drainage, (f) percentage of the population without access to piped water, (g) percentage of the population without access to electricity, (h) percentage of occupants in inhabited private housing with earthen floors, (i) percentage of occupants in inhabited private housing with overcrowding, (j) percentage of occupants in inhabited private housing without access to the internet and without access to cell phones. Each indicator is measured through variables, for example: education is estimated using the percentage of the population aged 6 to 14 not attending school and the percentage of the population aged 15 and over without basic education (CONAPO, 2020b). The marginalization index is used to understand social vulnerability to hazards of natural

origin, especially seismic hazards. Communities with a severe marginalization index are likely to have a lower risk perception, less access to technologies for early warning systems, among other deficiencies. This approach provides a solid and objective foundation for understanding socio-economic disparities in the area, which is essential for formulating strategies and policies aimed at addressing the needs of vulnerable populations.

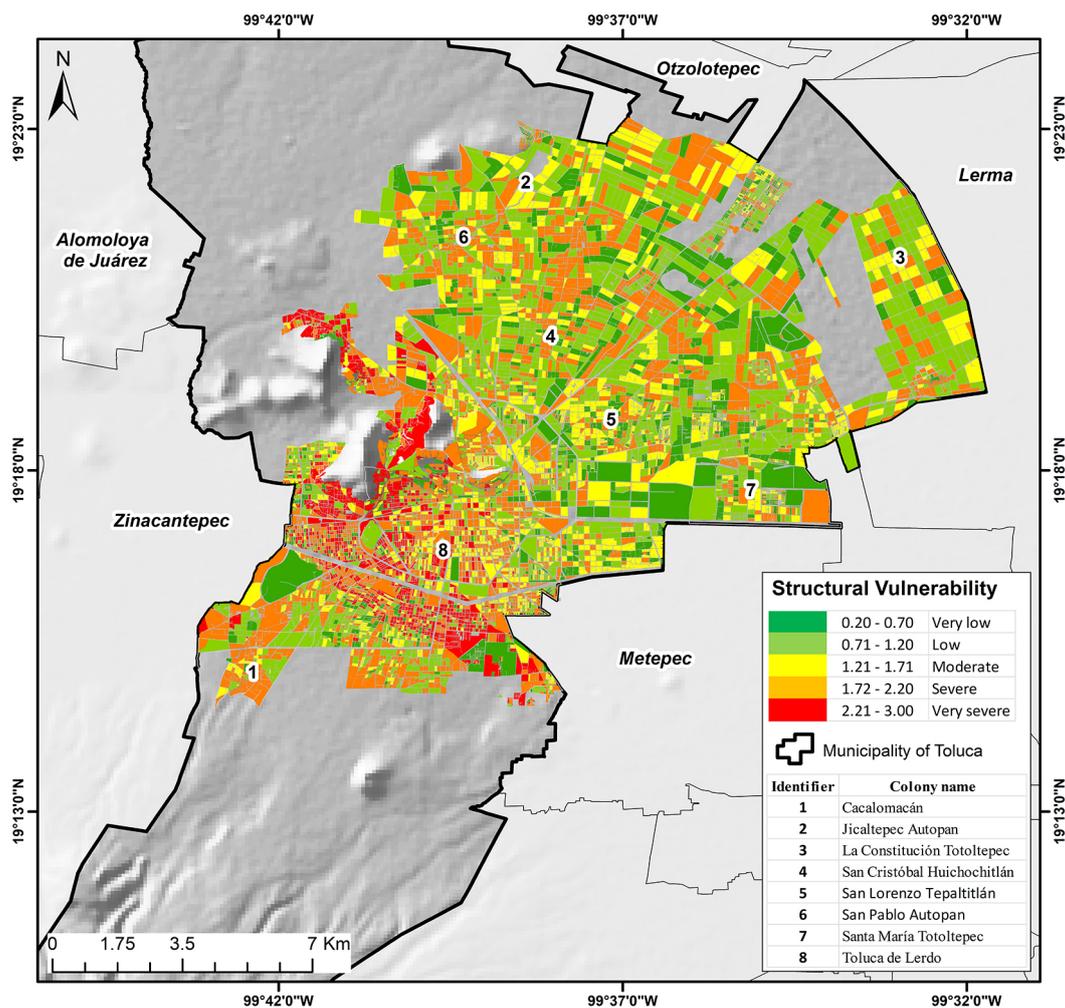
The cartography proposed by CONAPO (2020a) and considered in this study as socioeconomic vulnerability, establishes its stratification into five levels: Very severe, Severe, Medium, Low and Very Low. These levels are assigned weights of 1.0; 0.8; 0.6; 0.4 and 0.2, respectively, to subsequently integrate this result into the estimation of seismic vulnerability of the municipality.

3. Results

3.1. Structural vulnerability

The resulting cartography of structural vulnerability is achieved by summing the “weight value” attribute contained in the layers of the three involved indicators (seismic resonance, age of constructions, and construction typology) explained in the previous section (Figure 5). The three indicators are scaled from 0 to 1, with the sum of the indicators yielding a minimum of 0.2 and maximum of 3.0; while the intervals were established with the support of the Principal Components and Dalenius and Hodges methods explained in Lee & Oh (2022) and commonly applied in risk studies (Díaz et al., 2020; Eboh et al., 2021; Saha & Saha, 2021). Cartographic analysis revealed that 870 blocks are classified under a condition of very severe structural vulnerability, 2,240 in severe structural vulnerability, 1,573 in moderate, 2,254 in low, and 870 blocks are in very low structural vulnerability.

Figure 5. Cartography of structural vulnerability for the municipality of Toluca



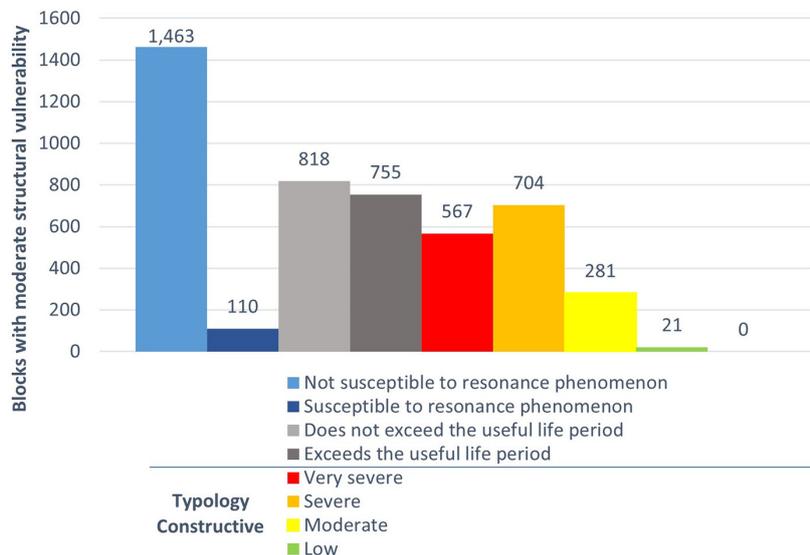
Own elaboration

The blocks with a very severe level of structural vulnerability do not follow a well-defined distribution pattern. Reviewing the attributes in each of the shapes representing the considered indicators indicates that 74.4% of these blocks have exceeded their useful life, according to data from IGCEM (2022a). It is demonstrated that, of the total blocks with a very severe level of structural vulnerability, 100% are prone to seismic resonance, and the three most frequent types of structures were precarious housing (H1), economical housing (H2), and social interest housing (H3).

The blocks classified at the level of severe structural vulnerability are mainly concentrated in the areas of the Toluca de Lerdo neighborhood and other areas in the northern part of the municipality. In these blocks, the most frequent characteristic was the age of the buildings, with 80% of them exceeding the useful life span and being constructed before the enactment of the General Building Regulations of the municipality. Meanwhile, in the northern part of the municipality, the neighborhoods with the most blocks in the category of severe structural vulnerability were San Pablo Autopan (137 blocks) and San Lorenzo Tepatlán (182 blocks), where the indicator of constructive typology (Precarious housing, H1) influenced significantly.

The level of “moderate” structural vulnerability, representing 20.14% of the blocks. Figure 6 represents the frequency of the three indicators in the 1,573 blocks in the “moderate vulnerability” category.

Figure 6. Influence of seismic resonance, age of buildings, and structure type on the 1,573 blocks classified as having moderate structural vulnerability



Own elaboration

The 2,254 blocks representing low structural vulnerability are notably influenced by 1,218 blocks consisting of social housing structure (H3). It is also noteworthy that 70% of the 2,254 blocks are within the lifespan for which they were designed.

On the other hand, the 870 blocks classified as very low structural vulnerability do not have a defined distribution pattern. The most common characteristics in this level of vulnerability can be summarized as follows: (1) 97.4% of the blocks are within the lifespan for which they were designed, (2) 91.2% of the blocks are located in sites not susceptible to the occurrence of seismic resonance, and (3) none of the 870 blocks, according to the type of structure, fall into the categories of severe or very severe vulnerability.

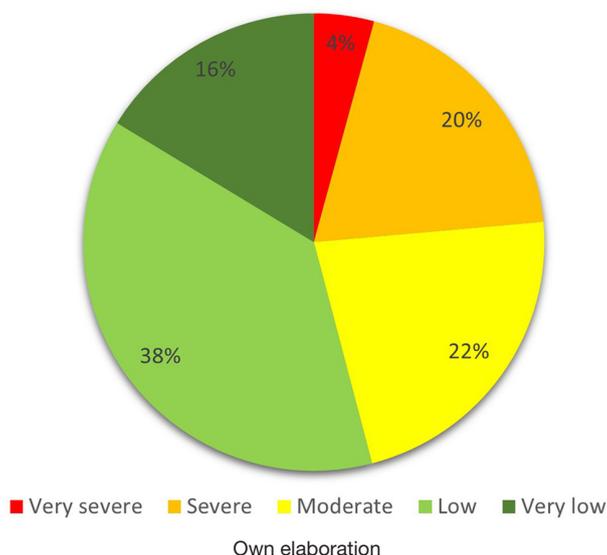
The analysis of the cartography of structural vulnerability conducted so far indicates priority areas in terms of structural reinforcement measures. Among the components of the seismic risk equation, structural vulnerability is probably the most complex to address due to the substantial economic resources required. However, the spatial analysis of structural vulnerability obtained in this study would support the definition of priority zones for the allocation of resources.

3.2. Cartography for socioeconomic vulnerability

The indicators described in section 2.2 allowed the National Population Council of Mexico (CONAPO) to approach critical aspects of the quality of life and socioeconomic conditions of different communities. The

cartographic analysis, for the particular case of the municipality of Toluca, revealed that a total of 329 blocks fall into the category of very severe socioeconomic vulnerability. Likewise, 1,512 blocks are in the category of severe socioeconomic vulnerability, 1,745 blocks present a moderate socioeconomic vulnerability, 2,950 blocks have low vulnerability, and 1,271 blocks are in the category of very low socioeconomic vulnerability (Figure 7).

Figure 7. Approach to socioeconomic vulnerability according to CONAPO's (2020a) margination index. The graph expresses the percentage of blocks in each category for 7,807 blocks that make up the municipality of Toluca



The blocks classified as very severe socioeconomic vulnerability are concentrated north of the urban area, especially in the neighborhoods of Jicaltepec Autopan (94 blocks with this classification), and San Pablo Autopan (108 blocks in this category). The analysis of various indicators shows that the percentage of the population without health insurance affiliation is the characteristic that exerts the greatest influence in this vulnerability category.

The blocks classified in the severe vulnerability category amount to a total of 1,512 (19.4%). These blocks exhibit a unique spatial distribution pattern, predominantly located in the northern zone of the municipality, covering the neighborhoods of La Constitución Totoltepec and San Cristóbal Huichotitlán. Regarding the latter neighborhood, the CONAPO database (2020a) indicates that it has the highest concentration of people with disabilities to go up or down stairs compared to the rest of the municipality. This information is crucial for the objective of the present research. Likewise, with the purpose of validating and quantifying the information, the Census of Population and Housing (INEGI, 2020a) was consulted, which identifies 52 people in this locality with motor disabilities.

The blocks classified in the moderate vulnerability category amount to a total of 1,745, representing 22.3% of the total blocks analyzed. The most influential indicator is the percentage of the population aged 6 to 14 who do not attend school.

The blocks classified as having low and very low socioeconomic vulnerability represent 35% and 17% of the municipal total, respectively, and are spatially located in the center of the municipality. They coincide with areas where urban infrastructure has been consolidated, with the presence of 525 schools (covering all educational levels), 81 sites offering some medical service, 15 government offices, and an extensive network of businesses totaling 208 establishments (National Statistical Directory of Economic Units [DENUE], 2020).

3.3. Seismic vulnerability

The seismic vulnerability in the municipality of Toluca is obtained by adding together the structural and socioeconomic vulnerabilities (Figure 8). Both vulnerabilities were standardized between 0 and 1; the sum yielded a minimum of 0.2 and a maximum of 1.8. Stratification is performed using a similar procedure to that employed in estimating structural vulnerability. Table 4 provides a summary of the most frequent characteristics of the five seismic vulnerability (VS) categories. The summary of the most frequent characteristics in each vulnerability category can serve as a guide for local risk management, particularly in the disaster risk reduction stage.

Table 4. Most frequent characteristics according to the seismic vulnerability level

Level of seismic vulnerability (stratification values)	Number of Blocks	Most frequent characteristics according to the seismic vulnerability level	
		Structural	Socioeconomic
Very low (0.4 – 0.68)	848	3 block exceeds the useful life period.	99% of the blocks have electricity.
		Only the constructions of eleven blocks are prone to the resonance phenomenon.	98.2% of children aged 6 to 14 attend school.
		62.1% of the blocks classify as very low vulnerability according to construction typology.	79% of people residing in the 848 blocks have affiliation with some type of health insurance.
Low (0.69 – 0.96)	1,462	99% of the blocks do not exceed the designed useful life period.	It is relevant that 99.2% of the population aged 6 to 14 attends school.
		Only the structures corresponding to two blocks could suffer the effects of the resonance phenomenon.	
Moderate (0.97 – 1.24)	2,669	Approximately 40% of the structures exceed the useful life period of their design.	39% of households in these blocks are classified as overcrowded.
		Structures located in 87% of these blocks probably will not experience resonance in case of an earthquake.	
		41.4% belong to moderate vulnerability based on construction typology indicator.	
Severe (1.25 – 1.52)	1,852	Structures located in 69.1% of these blocks have exceeded the useful life period of their original design.	Approximately 33% of the population aged 6 to 14 living in these blocks does not attend school. 16.8% of the homes lack drainage and sanitary facilities, classified by IGCEM (2022b) as precarious housing (H1) and economic housing (H2).
		Structures located in 25.6% of these blocks probably will experience resonance in case of a moderate to severe-magnitude earthquake.	
		39% of the blocks in this category exhibit very severe vulnerability according to the construction typology indicator.	
Very severe (1.53 – 1.8)	976	Structures located in 90.5% of these blocks have exceeded the useful life period of their original design.	Approximately 29.5% of the population aged 6 to 14 living in these blocks does not attend school. 21.3% of the homes in blocks with this category lack drainage and sanitary facilities, classified by IGCEM (2022b) as precarious housing (H1) and economic housing (H2). 48.6% of households in these blocks are classified as overcrowded.
		Structures located in 28.9% of these blocks probably will experience resonance in case of a moderate to severe-magnitude earthquake.	
		76.3% of the 976 blocks in this seismic vulnerability category have homes that belong to structurally fragile construction typologies (H1), generally without foundations and sometimes consisting of adobe walls (IGCEM, 2022b).	

Own elaboration

Later, .shp files of seismic vulnerability were overlaid with the exposure database (IGCEM, 2022a) and the population census (INEGI, 2020a). This allowed for correlating the most representative neighborhoods with the level of seismic vulnerability, the number of homes, and the population. This approach provides key information for more effective seismic risk management at the municipal level. This exercise was carried out for the levels of moderate, severe, and very severe Vs, as expressed in Table 5, note that the Toluca de Lerdo neighborhood is predominant in the moderate and severe Vs levels.

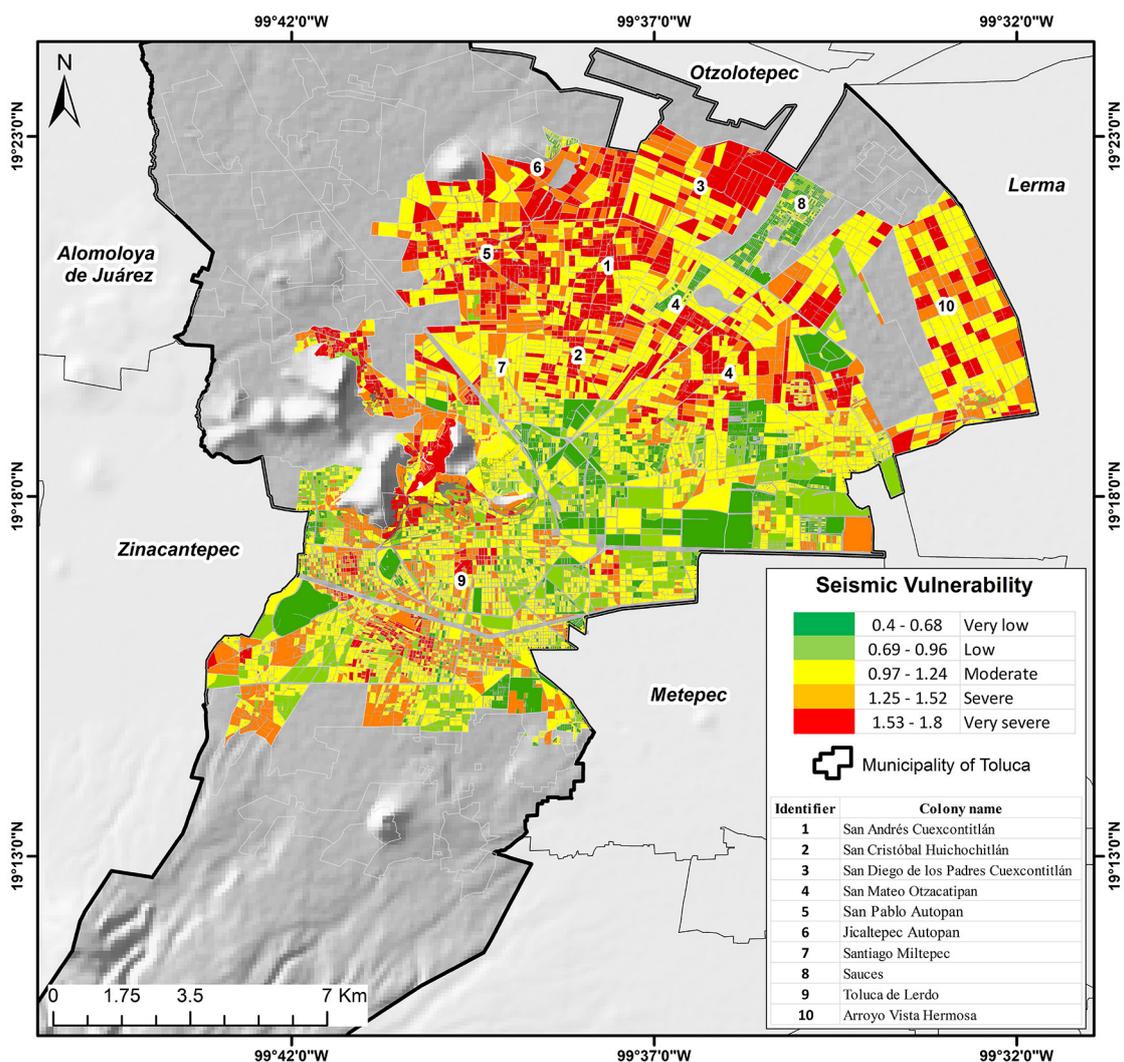
Table 5. Distribution of housing and population in neighborhoods of the municipality of Toluca according to moderate, severe, and very severe levels of seismic vulnerability (V_s).

Seismic vulnerability level	Representative neighborhoods	Number of housing	Population
Moderate	Toluca de Lerdo	9,524	43,365
	Sauces	4,828	11,181
	Santiago Miltepec	396	3,924
Severe	Toluca de Lerdo	27,751	120,012
	San Pablo Autopan	2,189	18,635
	San Cristóbal Huichochitlán	2,376	20,869
	Jicaltepec Autopan	2,020	10,968
	Santiago Miltepec	1,615	8,923
Very severe	Arroyo Vista hermosa	2,051	10,255
	San Diego de los Padres Cuexcontitlán	13,025	72,058
	San Mateo Otzacatipan	1,210	8,960
	San Andrés Cuexcontitlán	832	4,301

Own elaboration

This summary highlights the distribution of seismic vulnerability in neighborhoods of the municipality of Toluca de Lerdo, considering the number of homes and the population. It is presented concisely to facilitate understanding of the areas with higher seismic risk and their demographic impact in the region.

Figure 8. Cartography for the distribution of blocks in different ranges of seismic vulnerability in the municipality of Toluca



Own elaboration

4. Discussion of results. Seismic vulnerability, local risk management, and development management

Cardona (2023), in his conference “The Future of Risk Management”, where he stated:

“The Future of Risk Management is precisely that there is no Risk Management; what should exist is Development Management, where risk management no longer has to be explicitly stated but is already properly incorporated into Development Management”.

Certainly, this comment represents a paradigm shift, where the results generated from academia should permeate and be articulated in territorial planning instruments (such as the Municipal Urban Development Plan in the case of Toluca). The results obtained in this study enhance two significant aspects:

- (1) Immediately, a path of priorities for disaster risk reduction is outlined, starting from the hypothesis that vulnerability is the only variable in the risk equation that can be influenced. The cartography obtained on the GIS platform and interpreted in this research indicates at the block level where priority attention sites are located and what the focus for the solution (physical or social) would be.
- (2) In the very short term, it would enhance the Municipal Urban Development Plan, which would be generated in 2025 (Administration 2025-2027). Specifically, the results obtained here can be considered in the sections of diagnosis, foresight, and strategies. It would justify the allocation of resources for vulnerability reduction.

This research provides a detailed view of vulnerability to seismic risk in the municipality of Toluca, thoroughly addressing 7,807 blocks in a city of approximately 910,608 inhabitants. To integrate the obtained results into risk management processes, at least two concrete actions are proposed from academia before the end of the current year: (a) becoming part of the Advisory Council of the State Coordination of Civil Protection. Currently, the academic space where this research is conducted has two proposed members for the council, and (b) conducting a risk management synergy workshop in September. This event is held every year; for example, in 2023, it was named “Institutional Civil Protection Week”. Dissemination spaces are relevant to visualize vulnerability to natural threats and establish areas of opportunity.

This methodology considers variables not only related to construction typologies but also to geology, geotechnical indicators, structural behavior, and socioeconomic indicators. The only similar research for the case study was conducted by Ordaz Hernández et al. (2020), where they worked on 5,121 blocks, excluding 2,686 blocks located mainly in the northern zone of the municipality at that time. The mentioned work focused on the analysis of structural vulnerability, considering construction typology and the age of buildings. However, it did not consider the possible occurrence of the seismic resonance phenomenon.

The seismic risk vulnerability analysis presented in the current proposal can be improved. The authors of this work are currently working on determining institutional vulnerability, where the relevance of government structures and the preparedness of public servants can be assessed. Both governmental structures and the technical personnel within them should enable a robust approach to risk reduction, emergency response, and recovery (the three main stages of disaster risk management).

A second future line of work consists of transitioning from the block scale to the property scale, where the 976 blocks classified in this study with very severe vulnerability to seismic risk will be prioritized in a first stage. At the property scale, details such as plan and vertical irregularities can be defined, similar to the approach taken by García (2015) in the Benito Juárez Delegation of Mexico City. The property-level study could lead to obtaining vulnerability functions for representative buildings in the municipality of Toluca.

Finally, the socioeconomic assessments conducted in this study based on the CONAPO marginalization index constitute a vital input for all three levels of government (municipal, state, and federal). The cartographic result obtained (Figure 4), and its analysis justify the design of consistent governmental actions involving educational programs, expanding employment opportunities, and improving the structural conditions of homes, with a focus on blocks classified as having severe and very severe socioeconomic vulnerability. It is suggested to implement and monitor some of the social programs for poverty alleviation and labor inclusion proposed by the Economic Commission for Latin America and the Caribbean (Abramo et al., 2019). Additionally, efforts can be directed towards participating in projects within the Social Inclusion and Development Program designed by the Inter-American Development Bank (2023).

5. Conclusions

The presented work offers a simple and viable alternative to replicate for other municipalities in Mexico. The procedure converges structural and socioeconomic components, with the purpose of obtaining a product of relevance for the subsequent design of Disaster Risk Reduction strategies.

The results obtained are consistent with the level of available information; however, short-term work is needed to: (1) obtain seismic microzonation, (2) strengthen the analysis of structural vulnerability to earthquakes at the municipal level, even with opportunities within empirical methodologies, for example, as applied in Novelo-Casanova & Suárez (2024), (3) transition to the application of analytical methods in the medium term (Milutinovic & Trendafiloski, 2003), and (4) conduct detailed analyses of vulnerabilities in lifelines and heritage buildings.

Specifically, for the municipality of Toluca, the cartography obtained for each of the described indicators, and its integration into a seismic vulnerability map, constitute a tool and roadmap for all levels of government with influence in the municipality. It identifies priority blocks for addressing vulnerability reduction.

References

- Abramo, L., Cecchini, S., & Morales, B. (2019). *Programas Sociales, Superación de la Pobreza e Inclusión Laboral: Lecciones de América Latina y el Caribe*, Libro de la CEPAL, No. 155 (LC/PUB.2019/5-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/7d9fb18f-1be1-4e0e-9125-0e3de35b5bc7/content>
- Acevedo, A. B., Jaramillo, J. D., Yepes, C., Silva, V., Osorio, F. A., & Villar, M. (2017). Evaluation of the seismic risk of the unreinforced masonry building stock in Antioquia, Colombia. *Natural Hazards*, 86(1), 31–54. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2647-8>
- Acevedo, A. B., Yepes-Estrada, C., Gonzalez, D., Silva, V., Mora, M. G., Arcila, M., & Posada, G. (2020). Seismic risk assessment for the residential buildings of the major three cities in Colombia: Bogotá, Medellín, and Cali. *Earthquake Spectra*, 36, 298–320. <https://doi.org/10.1177/8755293020942537>
- Acuña, J. (2016). Análisis de la Vulnerabilidad Institucional en el Distrito Metropolitano de Caracas. *Terra Nueva Etapa.*, 13(52), 151-175. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72148468007>
- Alas, R. E., & Grijalva, S. O. (2018). *Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica mediante Curvas de Fragilidad, utilizando Análisis Dinámico No Lineal Incremental* [Master's Thesis, Universidad de Salvador]. Repositorio Institucional UES. <https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/17633>
- Alcántara, I., Garza, M., López, A., Magaña, V., Oropeza, O., Puente, S., Rodríguez, D., Lucatello, S., Ruiz, N., Tena, R., Urzúa, M., & Vázquez, G. (2019). Gestión Integral de Riesgo de Desastres en México: reflexiones, retos y propuestas de transformación de la política pública desde la academia. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, (98). <https://doi.org/10.14350/rig.59784>
- Armaş, I. (2012). Multi-criteria vulnerability analysis to earthquake hazard of Bucharest, Romania. *Natural Hazards*, 63(2), 1129–1156. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0209-2>
- Baquedano, P., Ferreira, T. M., Arriagada, C., Sandoval, C., Palazzi, N. C., & Oliveira, D. V. (2023). Multi-vulnerability analysis for seismic risk management in historic city centres: an application to the historic city centre of La Serena, Chile. *Natural Hazards*, 1-44. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06008-8>
- Bard, P. (1997). Local effects on strong ground motion: basic physical phenomena and estimation methods. *Advanced Study Course on Seismic Risk (SERINA)*, 21-27.
- Baró, J. E., & Monroy, F. (2018). *Enfrentando riesgos socio-naturales*. <https://www.educacionchiapas.gob.mx/docs/ProteccionCivil/EnfrentandoRiesgosSocionaturales.pdf>
- Barrantes, G., & Márquez, R. (2011). De la Respuesta ante Desastres a la Gestión del Riesgo: Una Perspectiva Geográfica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(47), 15-37. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/3966>
- Bernal, G. H., & Mungaray, A. (2017). Los índices de competitividad en México. *Gestión y Política Pública*, XXVI(1), 167–218. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13349779005>
- Buendía, L. M., & Reinoso, E. (2019). Análisis de los Daños en Viviendas y Edificios Comerciales durante el Terremoto del 19 de septiembre de 2017. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 101, 19–35. <https://doi.org/10.18867/ris.101.508>
- Burton, C. G., Toquica, M., Asad, K. M. Bin, & Musori, M. (2022). Validation and development of composite indices for measuring vulnerability to earthquakes using a socio-economic perspective. *Natural Hazards*, 111(2), 1301–1334. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05095-9>
- Cárdenas, X. R. (2021). *Caracterización Estructural y Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones de Adobe* [Doctoral Thesis, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo digital UPM. https://oa.upm.es/67534/1/XAVIER_RICARDO_CARDENAS_HARO_01.pdf
- Cardona, O. D. (2001). Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos [Doctoral Thesis, Universidad Politécnica de Cataluña]. Tesis Doctorals en Xarxa. <http://hdl.handle.net/10803/6219>
- Cardona, O.D. (2023). El futuro de la gestión del riesgo de desastres. In *5º Congreso Internacional sobre Gestión Integral del Riesgo y Resiliencia en Ciudades* (discurso inaugural). <https://www.youtube.com/watch?v=mOGT3TiVKqI&t=2231s>

- Colajanni, P., & D'Anna, J. (2024). Seismic risk assessment of residential buildings by the Heuristic vulnerability model: influence of fragility curve models and inventory scale. *Bul. Earthquake Eng.*, 22, 877–910. <https://doi.org/10.1007/s10518-023-01801-z>
- Conlon, K. C., Mallen, E., Gronlund, C. J., Berrocal, V. J., Larsen, L., & O'Neill, M. S. (2020). Mapping human vulnerability to extreme heat: A critical assessment of heat vulnerability indices created using principal components analysis. *Environmental Health Perspectives*, 128(9), 1–14. <https://doi.org/10.1289/EHP4030>
- Cortés, F., & Vargas, D. (2011). Marginación en México a lo largo del tiempo: sobre el índice de Conapo. *Estudios Sociológicos*, XXIX(86), 361–387. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=59823584002>
- Cui, L., Jing, X., Wang, Y., Huan, Y., Xu, Y., & Zhang, Q. (2023). Improved Swin Transformer-Based Semantic Segmentation of Post earthquake Dense Buildings in Urban Areas Using Remote Sensing Images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 16, 369–385. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2022.3225150>
- Díaz, S. R., Cadena, E., Adame, S., & Dávila, N. (2020). Landslides in Mexico: their occurrence and social impact since 1935. *Landslides*, 17(2), 379–394. <https://doi.org/10.1007/s10346-019-01285-6>
- Díaz-Segura, E. G. (2017). Incertidumbres en la estimación del periodo fundamental de terrenos inclinados. *Obras y proyectos*, 21, 38–44. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132017000100005>
- Dikmen, Ü. (2009). Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils. *Journal of Geophysics and Engineering*, 6(1), 61–72. <https://doi.org/10.1088/1742-2132/6/1/007>
- DRAE. (2014) *Diccionario de la Real Academia Española*. <https://dle.rae.es/vulnerabilidad>
- Eboh, H., Gallaher, C., Pingel, T., & Ashley, W. (2021). Risk perception in small island developing states: a case study in the Commonwealth of Dominica. *Natural Hazards*, 105(1), 889–914. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04342-9>
- European Seismological Commission. (2008). *European Macroseismic Scale 1998*. <https://web.ua.es/urs/sismosurs/Informes/EMS-98.pdf>
- Expósito, J. L. (2012). *Características hidrodinámicas e hidroquímicas del acuífero multicapa del Valle de Toluca y sus implicaciones en la optimización de estrategias para la protección de la calidad del agua subterránea*. CIRA, UAEMéx.
- Federal District Building Regulations (RCDF). (2004). Código de Construcción de la Ciudad de México. Gobierno de la Ciudad de México.
- Federal Electricity Commission (CFE). (2015). Manual de Diseño de Obras Civiles. Sección C: Estructuras. Seguridad Estructural. Capítulo C.1.3. Diseño Sísmico.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2003). Nehrps Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures (Fema 450). *Part 1, Fema 450*, 338.
- Federal Emergency Management Agency and National Institute of Building Sciences (FEMA/NIBS). (1999). HAZUS' 99 Technical Manual. *Earthquake Loss Estimation Methodology*, 1–3.
- García, J. H. (2015). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios urbanos basada en datos geoespaciales* [Master's Thesis, Centro de Investigación Jorge L. Tamayo, A.C.].
- Girish, J., Shailesh G., & Piyoosh R. (2019). *Seismic vulnerability of lifeline buildings in Himalayan province of Uttarakhand in India*. <https://usdma.uk.gov.in/PDFFiles/Joshi%20et%20al%20IJDRR%202019.pdf>
- Goded, T. (2010). Evaluación del riesgo sísmico en la ciudad de Málaga. [Doctoral Thesis, Universidad Complutense de Madrid]. <https://produccioncientifica.ucm.es/documentos/5d1df61029995204f766030e>
- González, R., Borraz, P.A., Sánchez A., De la Cruz, Y., Aguilar, J.A., & Ruiz, A. (2010). Construcción histórica de la vulnerabilidad sísmica en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. In *XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*.
- González, R., Mora, J.C., Aguirre, J., Aguilar, J.A., Paz, J.A., & Moreno, R. (2020). Efectos de sitio en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: Un factor determinante en los daños históricos de edificios. *Ingeniería Sísmica*, (102), 42–64. <https://doi.org/10.18867/ris.102.511>
- Hafidz, H. R., Sarli, P. W., Twinanda, A. P., Santoso, D., & Imran, I. (2024). Building typology classification using convolutional neural networks utilizing multiple ground-level image process for city-scale rapid seismic vulnerability assessment. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.107824>

- Hassan, M. M., Elyamani, A., & Mourad, S. A. (2022). Seismic vulnerability assessment of buildings: case study of Al Khalifa district, Fatimid Cairo. *SN Applied Sciences*, 4(11). <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05192-9>
- Hoyos, M. C., & Hernández, A. F. (2021). Impact of vulnerability assumptions and input parameters in urban seismic risk assessment. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19(11), 4407–4434. <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01140-x>
- Huang, J., Su, F., & Zhang, P. (2015). Measuring social vulnerability to natural hazards in Beijing-Tianjin-Hebei Region, China. *Chinese Geographical Science*, 25(4), 472–485. <https://doi.org/10.1007/s11769-015-0769-7>
- Iglesias Asenjo, S., Irigaray Fernández, C., & Chacón Montero, J. (2006). Analysis of Seismic Risk in Urban Areas Using Geographic Information Systems. Application to the City of Granada. *Cuadernos Geográficos*, (39), 147-166.
- Iglesias-Lesaga, E., & Carmona-Motolinia, J. R. (2016). Inequidades, territorios y vulnerabilidades en el desarrollo de América Latina (1990-2015). *Sociedad y Economía*.31, 123–148. <https://doi.org/10.25100/sye.v0i31.3891>
- Institute of Geographic, Statistical and Cadastral Information and Research of the State of Mexico (IGECEM). (2022a). *Datos sobre el comportamiento de los edificios del municipio de Toluca por propiedad. Datos inéditos.*
- Institute of Geographic, Statistical and Cadastral Information and Research of the State of Mexico (IGECEM). (2022b). Manual Catastral del Estado de México 2022. Gobierno del Estado de México. *Secretaría de Finanzas - Instituto de Información Geográfica, Estadística y Catastral e Investigación del Estado de México*. 5–256. <https://igecem.edomex.gob.mx/sites/igecem.edomex.gob.mx/files/files/ArchivosPDF/Servicios-catastrales/Manual%20Catastral%20del%20Estado%20de%20Mexico.pdf>
- Inter-American Development Bank (2023). *Inclusion and Social Development Program*. <https://www.iadb.org/es/whats-our-impact/PN-L1105>
- Jaimés, D. L., Escudero, C. R., Flores, K. L., & Zamora-Camacho, A. (2023). Multicriteria seismic hazard and social vulnerability assessment in the Puerto Vallarta metropolitan area, Mexico: toward a comprehensive seismic risk analysis. *Natural Hazards*, 116(2), 2671–2692. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05783-0>
- Lee, S., & Oh, S. (2022). A comprehensive seismic risk assessment map of South Korea based on seismic, geotechnical, and social vulnerability. *Environmental Earth Sciences*, 81(1). <https://doi.org/10.1007/s12665-021-10153-3>
- Li, S. Q., & Formisano, A. (2023). Updated empirical vulnerability model considering the seismic damage of typical structures. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 22, 1147-1185. <https://doi.org/10.1007/s10518-023-01814-8>
- Martins, L., & Silva, V. (2021). Development of a fragility and vulnerability model for global seismic risk analyses. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19(15), 6719–6745. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00885-1>
- Meyers-Angulo, J. E., Martínez-Cuevas, S., & Gaspar-Escribano, J. M. (2023). Classifying buildings according to seismic vulnerability using Cluster-ANN techniques: application to the city of Murcia, Spain. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 21(7), 3581–3622. <https://doi.org/10.1007/s10518-023-01671-5>
- Milutinovic, Z. V. and Trendafiloski, G. S. (2003). WP4. *Vulnerability of current buildings. RISK-UE project: An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns*. Institute of Earthquakes Engineering and Engineering Seismology (IZIIS).
- Ministry of Agrarian, Territorial, and Urban Development (SEDATU). (2020). *MGN 2020 Municipio. Gobierno de México: Desarrollo Territorial*. <https://www.gob.mx/sedatu/documentos/metropolis-de-mexico-2020?state=published>
- Molina, S., Lang D.H., & Lindholm, C.D. (2010). SELENA – Na open-source-tool for seismic risk and loss assessment using a logic tree computation procedure. *Computers & Geosciences*, 36, 257-269. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2009.07.006>
- Municipal Government of Toluca (1993). *Reglamento General de Construcciones del Municipio de Toluca*. Honorable Ayuntamiento de Toluca.

- Muñoz-Sánchez, M. L. (2019). Análisis de la Vulnerabilidad Institucional en la Ciudad de Tunja: Un Enfoque para la Gestión de Desastres Naturales [Engineering Thesis, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional Universidad Santo Tomás. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/19002?show=full>
- National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP). (1994). *Nehrp Recommended Provisions For Seismic Regulations For New Buildings Part 1-Provisions Issued by FEMA in furtherance of the Decade for Natural Disaster Reduction*.
- National Institute of Buildings Sciences (NIBS). (2000). https://wbdg.org/FFC/NIBS/nibs_asbestos_specs.pdf
- National Institute of Statistics and Geography (INEGI). (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. <https://www.inegi.org.mx/Rnm/Index.Php/Catalog/71>
- National Institute of Statistics and Geography (INEGI) (2020a). *Censo de Población y Vivienda 2020*. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Datos_abiertos
- National Institute of Statistics and Geography (INEGI) (2020b). *Población total a nivel manzana INEGI Digital Map v.6.3.0*. <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/#Metadatos>
- National Population Council of Mexico (CONAPO). (2020a). *Mapeo digital (shp) del índice de marginalización urbanaporcolonia2020*. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372>
- National Population Council of Mexico (CONAPO). (2020b). *El índice de Marginalización Urbana 2020*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/828844/urbana.pdf>
- National Statistical Directory of Economic Units (DENUE). (2020, Enero). *Directorio de empresas y establecimientos. Directorio de Empresas y Establecimientos del Estado de México*.
- Novelo-Casanova, D. A., & Suárez, G. (2024). Social and seismic structural vulnerability in Zihuatanejo, Guerrero, Mexico. *Natural Hazards*, 120, 4925-4939. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06385-0>
- Olcina, J. (2022). Land Use Planning and Green Infrastructure: Tools for Natural Hazards Reduction. In S. Eslamian & F. Eslamian (Eds.), *Disaster Risk Reduction for Resilience: Disaster Risk Management Strategies* (pp. 129-146). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72196-1_6
- Oliveira, C. S., & Navarro, M. (2010). Fundamental periods of vibration of RC buildings in Portugal from in-situ experimental and numerical techniques. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8(3), 609-642. <https://doi.org/10.1007/s10518-009-9162-1>
- Ordaz Hernández, A., Hernández Millán, J. A., & Garatachia Ramírez, J. C. (2020). Aproximación cartográfica a la vulnerabilidad estructural ante sismos empleando una metodología cualitativa: aplicación para la Ciudad de Toluca. *Cuadernos Geográficos*, 59(2), 178-198. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v59i2.9340>
- Ordaz Hernández, A. (2022). Aproximación Cartográfica a la Respuesta Sísmica Local en la Ciudad de Toluca, México: Una Contribución a la Reducción de Riesgos de Desastres. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 6(2), 60-71. <http://doi.org/10.55467/reder.v6i2.97>
- Orozco, V., & Reinoso, E. (2007). A 50-year review of the damage caused in Mexico City by the earthquake of July 28, 1957 with the help of recent research and geographic information systems. *Journal of Earthquake Engineering*, 76, 61-87. <https://doi.org/10.18867/ris.76.131>
- Parajuli, R. R. (2020). Citizen disaster science education for effective disaster risk reduction in developing countries. *Geoenvironmental Disasters*, 7(1), 1-4. <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00150-2>
- Peláez, O. (2023). "El Índice de Marginación del CONAPO transformado en un indicador cardinal: 50 años de marginalización comparados en el tiempo. *EconoQuantum*, 20(1), 59-82. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=125075173003>
- Pérez-Morente, M. Á., Sánchez-Ocón, M. T., Martínez-García, E., Jiménez Bautista, F., & Hueso-Montoro, C. (2017). Crisis económica, políticas sociales y desigualdades en salud. *Revista de Paz y Conflictos*, 10(2), 207-232. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=205054523010>
- Ramírez, H., Vera, R., Rivera, J. L., Pérez, J. & Manjarrez, L. (2002). Propuesta de Reglamento de Construcción para el Municipio de Toluca. In *XIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural*.
- Ramírez, T. & Lugo, J. (2000). Efectos del terremoto de magnitud 7.0 en la escala de Richter del 15 de junio de 1999 en Puebla y estados vecinos. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, (43), 32-41.

- Ramos, D. (2019). Entendiendo la vulnerabilidad social: una mirada desde sus principales teóricos. *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 7(1), 139-153. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=552364016005>
- Razo, D. G., & Domínguez, O. G. (2020). Evaluación Integral de la Seguridad Estructural de Edificios Existentes Dañados por Grandes Terremotos. *Journal of Earthquake Engineering*, 104, 51-71. <https://doi.org/10.18867/ris.104.565>
- Rocabado, V., Schmitz, M., Hernández, J. J., & Morales, C. (2011). Relación entre el período del suelo y la profundidad del sedimento para la ciudad de Caracas, Venezuela. *Revista de La Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 26, 141-152.
- Ruiz, A., Vidal, F., & Aranda, C. (2016). Estudio de la Vulnerabilidad Sísmica del Centro Histórico de Tapachula, Chiapas, con el Método del Índice de Vulnerabilidad. *Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 15(1). <https://core.ac.uk/download/pdf/296529503.pdf>
- Saha, A., & Saha, S. (2021). Application of statistical probabilistic methods in landslide susceptibility assessment in Kurseong and its surrounding area of Darjeeling Himalayan, India: RS-GIS approach. *Environment, Development and Sustainability*, 23(3), 4453-4483. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00783-1>
- Sallam, M. A., Hassan, H. M., Sayed, M. A., Abdel Hafiez, H. E., Zahra, H. S., & Salem, M. (2023). Seismic vulnerability assessment of historical minarets in Cairo. *Geoenvironmental Disasters*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-023-00260-7>
- Sánchez F., Ordaz A., Baró J. E. y Balderas M. Á. (2022). Cartografía de la respuesta sísmica local: una contribución a la gestión del riesgo en la zona metropolitana del Valle de Toluca. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 42(2), 509-531. <https://doi.org/10.5209/aguc.85182>
- Serrano, B., & Temes, R. (2015). Vulnerabilidad y riesgo sísmico de los edificios residenciales estudiados dentro del Plan Especial de evaluación del riesgo sísmico en la Comunidad Valenciana. *Informes de la Construcción*, 67(539), e104, <http://dx.doi.org/10.3989/ic.13.182>
- Sol de Toluca. (2022). *Mercado 16 de Septiembre en Toluca con daños estructurales*. <https://www.elsoldetoluca.com.mx/local/sismo-edomex-mercado-16-de-septiembre-de-toluca-con-danos-estructurales-7942161.html>
- Tatano, H., Collins, A., & James, W. (2023). Report on the 4th Global Summit of Research Institutes for Disaster Risk Reduction (4thGSRIDRR2019). In H. Tatano & A. Collins (Eds.), *Proceedings of the 4th Global Summit of Research Institutes for Disaster Risk Reduction* (pp. 3-90). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5566-2_1
- Tena-Colunga, A., Hernández-Ramírez, H., Godínez-Domínguez, E. A., Pérez-Rocha, L. E., Grande-Vega, A., & Urbina-Californias, L. A. (2021). Seismic behavior of buildings in Mexico City during the 2017 Puebla-Morelos earthquake. *Asian Journal of Civil Engineering*, 22(4), 649-675. <https://doi.org/10.1007/s42107-020-00338-9>
- Tinoco, T., Cotos, J., & Bayona, R. (2019). Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Edificios en el Área Urbana del Distrito de Chiquián, Utilizando el Constructor de Modelos de ArcGIS. *Aporte. Santiaguino*, 11(2), 263-274. <https://doi.org/10.32911/as.2018.v11.n2.580>
- Vargas, Y. F., Pujades, L., Barbat, A. H., & Hurtado, J. E. A. (2013). Evaluación probabilística de capacidad, fragilidad y daño sísmico de edificios de hormigón armado. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para el Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 29, 63-78. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2013.04.003>
- Zúñiga, F. R., Suárez, G., Figueroa-Soto, Á., & Mendoza, A. (2017). A first-order seismotectonic regionalization of Mexico for seismic hazard and risk estimation. *Journal of Seismology*, 21(6), 1295-1322. <https://doi.org/10.1007/s10950-017-9666-0>



Efectos del cambio de cobertura vegetal en la distribución potencial de la Mosquera (*Croton wagneri* Müll. arg.) en la cuenca hidrográfica del río Mira, Ecuador

Effects of changes in vegetation cover on the potential distribution of Mosquera (*Croton wagneri* Müll. arg.) in the Mira River basin

AUTORÍA

Gabriel Jácome-Aguirre* 
Laboratorio de Geociencias y Medio Ambiente (GEOMA). Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Técnica del Norte, Ecuador.

Grupo de Investigación de Ciencia en Red (eCIER). Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Técnica del Norte, Ecuador.

Digna Farinango-Guatemala* 
Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Técnica del Norte, Ecuador.

Mónica León-Espinoza 
Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Técnica del Norte, Ecuador.

Oscar Rosales-Enríquez 
Laboratorio de Geomática. Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Técnica del Norte, Ecuador.
Grupo de Investigación de Ciencia en Red (eCIER). Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Técnica del Norte, Ecuador.

* Los dos primeros autores aportaron equitativamente en la investigación.

DOI

<https://doi.org/10.14198/INGEO.27083>

CITACIÓN

Jácome-Aguirre, G., Farinango-Guatemala, D., León-Espinoza, M., & Rosales-Enríquez, O. (2024). Efectos del cambio de cobertura vegetal en la distribución potencial de la Mosquera (*Croton wagneri* Müll. arg.) en la cuenca hidrográfica del río Mira, Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, (82), 127-144. <https://doi.org/10.14198/INGEO.27083>

CORRESPONDENCIA

Gabriel Jácome-Aguirre
(gajacomea@utn.edu.ec)

HISTORIA

Recibido: 15 febrero 2024
Aceptado: 6 mayo 2024
Publicado: 10 julio 2024
(Publicación anticipada: 17 junio 2024)

TÉRMINOS

© Gabriel Jácome-Aguirre, Digna Farinango-Guatemala, Mónica León-Espinoza, Oscar Rosales-Enríquez

 Este trabajo se publica bajo una licencia Creative Commons de Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Resumen

La cuenca hidrográfica del río Mira, ubicada al norte de Ecuador, es considerada un mosaico socio ecológico, sin embargo, las dinámicas productivas y económicas de la zona han sido las principales actividades que han puesto en riesgo su riqueza y endemismo. El presente estudio determina la influencia del cambio de cobertura vegetal en la distribución potencial de *Croton wagneri* Müll. arg. (Müller, 1872), mediante imágenes satelitales Landsat de los años 2010 y 2018, que fueron usados como insumos dentro de un modelo de máxima entropía (MaxEnt) junto con variables ambientales. Los resultados obtenidos evidenciaron que durante el periodo de estudio existieron pérdidas en la cobertura de bosque (2,26 %), vegetación arbustiva (3,24 %), vegetación xerofítica (1,72 %) y un incremento en los cultivos (3,73 %), pastizales (1,94 %) y zonas urbanas (0,38 %). Es así como los cambios de cobertura influyen significativamente en la distribución potencial de la especie, ya que las áreas con idoneidad muy alta en el periodo (2000-2010) ocupaban 0,80 % de la superficie, cubriendo parroquias como San Miguel de Ibarra, Ambuquí, Salinas, San Vicente de Pusir, Juan Montalvo y la Concepción, mientras que en el periodo (2010-2020) esta se redujo a 0,19 %. Es así como los resultados obtenidos destacan la importancia de implementar medidas de conservación para proteger la biodiversidad local.

Palabras clave: *Croton wagneri*; especie endémica; nicho ecológico; MaxEnt; cambios de cobertura vegetal; cuenca del río Mira.

Abstract

The Mira River basin is considered a socio-ecological mosaic. However, the productive and economic dynamics of the area have been the main activities that have endangered its richness and endemism. This study determines how changes in vegetation cover influence the potential distribution of *Croton wagneri* Müll. arg. (Müller, 1872), using Landsat satellite images of the years 2010 and 2018 as inputs in a maximum entropy model (MaxEnt), together with environmental variables. The results obtained show that during the study period there were losses of forest cover (2.26%), shrub vegetation (3.24%), xerophytic vegetation (1.72%) and an increase in crops (3.73%), pastures (1.93%) and urban areas (0.38%). This is how changes in land cover significantly influence the potential distribution of the species, since the areas highly suitable

in the period 2000-2010 occupied 0.80% of the surface area, covering parishes such as San Miguel de Ibarra, Ambuquí, Salinas, San Vicente de Pusir, Juan Montalvo and La Concepción, while in the period (2010-2020) this area reduced to 0.19%. These results highlight the importance of implementing conservation measures to protect the local biodiversity.

Keywords: *Croton wagneri*; endemic species; ecological niche; MaxEnt; changes in vegetation cover; Mira River basin.

1. Introducción

A escala global, se calcula que la expansión de la frontera agrícola, la ganadería, el crecimiento demográfico, los incendios forestales, la minería y la explotación de recursos naturales han provocado la pérdida de aproximadamente el 10 % de la cobertura vegetal (Zumaeta, 2019). Esta transformación de la cobertura vegetal, junto con el calentamiento global, constituyen una amenaza para la biodiversidad. Estos factores alteran el hábitat y la distribución de las especies, disminuyen la disponibilidad de recursos y modifican los procesos ecológicos a nivel planetario (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2016).

En Ecuador, se evidencian grandes cambios en la composición paisajística debido al incremento de la presión y extracción de los recursos naturales. Específicamente, los cambios en la cobertura y uso del suelo, como la conversión de bosques a pastizales, áreas agropecuarias e infraestructura urbana están provocando la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad (Campos, 2018; Ojeda et al., 2020). De acuerdo con el Mapa de Ecosistemas del Ecuador Continental, la tasa promedio anual de deforestación bruta ha experimentado una disminución gradual. Durante el período de 1990 a 2000, se registró una tasa de 129.943 ha/año. Esta cifra disminuyó a 108.666 ha/año en el período de 2000 a 2008, y a 97.918 ha/año durante 2008 a 2014. Finalmente, entre 2014 y 2016, la tasa promedio anual de deforestación bruta fue de 94.353 ha/año (Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2017).

Este fenómeno de deforestación y cambio en el uso del suelo es particularmente evidente en la cuenca hidrográfica del río Mira en Ecuador. Considerada un mosaico socioecológico por su diversidad de ecosistemas y riqueza cultural y natural, la cuenca también es un centro de dinámicas económicas y productivas, como la ganadería, la agricultura y la extracción de minerales y madera (Velásquez, 2021). Sin embargo, estas actividades han puesto en riesgo su riqueza y endemismo, razón por la cual es considerada como una de las 25 áreas críticas de biodiversidad a nivel mundial (Gómez et al., 2017; Velásquez, 2021).

Los ecosistemas secos de la cuenca del río Mira se caracterizan por su alto endemismo, sin embargo, los cambios de cobertura afectan principalmente a especies de importancia ecológica como *Croton wagneri* Müll. arg. (Müller, 1872); un arbusto endémico del Ecuador, conocido como Mosquera, que se distribuye en los valles secos del callejón interandino, en las provincias de Loja, Azuay, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Pichincha y Tungurahua (Cerón et al., 2017). Habitualmente crece de forma silvestre y se adapta con facilidad en distintos tipos de suelos: arcilloso, arenoso, franco arenoso, pedregoso, arcilloso (Terán-Portelles et al., 2019). La Mosquera se distribuye en altitudes que varían desde los 500 hasta los 3.012 m s. n. m., abarcando zonas de clima cálido seco, templado y frío. Sin embargo, se ha observado una mayor concentración de ejemplares en altitudes que oscilan entre los 1.300 y 2.380 m s. n. m. (Quintana, 2013; Terán-Portelles et al., 2019). Además, es ampliamente conocida debido a sus usos etnobotánicos dentro de la cosmovisión andina, resaltando sus usos medicinales, debido a sus propiedades antioxidantes y antibacteriales (Terán Portelles et al., 2019; Pinchao Silva, 2024).

De acuerdo con su ecología, es una planta pionera que crece de forma agregada en conjunto con otras especies y genera condiciones ambientales favorables para que las plántulas de otras especies se adapten de mejor manera, aportando a la regeneración eficaz de sitios que han sido perturbados (Quintana, 2013). Algunas de las especies que crecen bajo su sombra son *Alternanthera porrigens*, *Malvastrum tomentosum*, *Baccharis salicifolia*, *Gaya calyprata*, *Evolvulus sericeus*, *Onoseris salicifolia*, *Lantana canescens*, *Pavonia sepium*, *Tetramerium nervosum*, *Opuntia cylindrica* y *Ayenia spp.* (Arévalo, 2012). Las principales amenazas a las que se encuentra expuesta son: introducción de especies, pastoreo, expansión de las zonas para cultivo o construcción de viviendas, incendios forestales (Terán-Portelles et al., 2019); razón por la cual, se encuentra catalogada como "Casi Amenazada" (NT) en el Libro Rojo de Plantas Endémicas del Ecuador (Cerón et al., 2017). En ese sentido, la presente investigación tiene como objetivo analizar la relación entre los cambios en la cobertura vegetal y la distribución potencial de *Croton wagneri*. Los hallazgos son fundamentales para impulsar nuevas investigaciones que puedan generar propuestas y estrategias orientadas a un uso eficiente

semihúmedo (Valles de la serranía), Megatérmico lluvioso, Tropical Megatérmico húmedo (Cordillera occidental) (Chiles, 2020). La temperatura media anual varía de 9 °C hasta 22 °C en las zonas altas y bajas respectivamente (Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología, 2015). Además, la temperatura media en el mes más frío oscila entre los 8,9-25,3 °C y el mes más caluroso aproximadamente hasta los 27,3 °C (MAATE, 2016) y tiene una precipitación anual de aproximadamente 900 mm en las zonas bajas y 2.800 mm en las zonas altas (Gómez et al., 2017).

Desde una perspectiva hidrogeográfica, la cuenca del río Mira presenta una red de drenaje de tipo dendrítico con un orden hídrico de 8, de acuerdo con la clasificación de Strahler (Sellers et al., 2017). Esta cuenca es el punto de confluencia de varios ríos, incluyendo el Apaquí, Mataquí, El Ángel, Chota, Ambi, Lita y Blanco. En términos de vegetación, la zona se distingue por la presencia de bosques tanto en las partes bajas como altas de la cuenca, según la clasificación de Holdridge (Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales [MECN], 2009). La vegetación potencial se compone de diversas formaciones vegetales, incluyendo bosque húmedo premontano, bosque húmedo montano bajo, bosque seco montano bajo, estepa espinosa montano bajo y páramo pluvial subalpino.

Según el Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE] (2012a), la parte alta de la cuenca del río Mira se encuentra sobre los 2.900 m s. n. m., y aquí predominan coberturas de bosques siempreverdes, agrupados en parches aislados inmersos en una matriz de vegetación denominada páramo herbáceo y arbustivo. En la cuenca media, ubicada entre los 1.860-2.900 m s. n. m., las condiciones climáticas de bajas precipitaciones han dado lugar a ecosistemas de bosques y arbustos xéricos interandinos, conocidos como matorral seco montano de los Andes del Norte. Estos ecosistemas están dominados por una variedad de árboles y arbustos pequeños, donde la presencia de *Croton wagneri* es predominante. Además, se pueden encontrar cactáceas propias de ecosistemas secos; además, se registran especies de bromelias epífitas que se adaptan a largos períodos de sequía, como las especies del género *Tillandsia* (MAE, 2012a). Finalmente, la parte baja, que se encuentra entre los 50-1.860 m s. n. m., se encuentra dominada por el bosque siempreverde montano bajo del norte, donde destacan árboles de doseles con 25 y 30 m de altura, dispuestos en pendientes fuertemente inclinadas a escarpadas. Los bosques en esta área de la cuenca se componen de varios estratos, incluyendo dosel alto, subdosel, estratos arbustivo y herbáceo (MAE, 2012a).

La cuenca del río Mira posee una gran diversidad étnica y cultural y alberga alrededor de 96.772 habitantes que se dedican principalmente a la agricultura con cultivos perennes y de ciclo corto, así como a la ganadería con pastos cultivados y la comercialización local (Changjiang Institute Of Survey, Planning, Design And Research [CISPDR], 2016; Gómez et al., 2017). El crecimiento demográfico en la región, acompañado del desarrollo económico, ha generado una mayor demanda de recursos, lo que también ha impulsado un progresivo desarrollo poco planificado de actividades económicas, como la ganadería, agricultura, minería y explotación forestal. Lo que ha resultado en una reducción de la cobertura vegetal, cambios en el uso del suelo y el aumento de áreas urbanas y rurales, causando un impacto en la disponibilidad de los recursos naturales de la cuenca (Arias-Muñoz et al., 2024).

2.2. Adquisición de imágenes para diferentes períodos

Para el análisis de los cambios de cobertura vegetal se emplearon cuatro imágenes satelitales Landsat con resolución espacial de 30 m/píxel. Las imágenes del año 2010 se obtuvieron del sensor ETM+ con fechas: 9 de septiembre y 24 de octubre, mientras que, las imágenes del año 2018 corresponden al sensor OLI con fechas: 23 de enero y 20 de septiembre. La adquisición de imágenes se realizó mediante la página web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey USGS) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>, <https://earthdata.nasa.gov/>). La selección y búsqueda de imágenes se realizó priorizando aquellas con el menor porcentaje de nubosidad (<30 %). Con el software libre QGIS 3.22.7, se realizó la respectiva corrección radiométrica y atmosférica para mejorar los defectos provenientes de los píxeles o bandas. Además, la corrección de franjas de datos inválidos (gaps) en la imagen Landsat 7 se realizó empleando la herramienta *Landsat Gapfill tool for ETM SLC-off data* del software ENVI. Posteriormente, mediante el software ArcGIS 10.8 se realizó la combinación de bandas RGB 6,4,1 (del inglés de Red, Green, Blue) en las imágenes Landsat 7 y RGB 7,5,2 en las imágenes Landsat 8 para interpretar el uso y cobertura del suelo. Adicionalmente, se usó la herramienta *Image analysis - mosaic* para generar un único dataset ráster de múltiples bandas RGB. Finalmente, se proyectó el resultado de la composición al sistema de coordenadas WGS 1984 UTM Z17S y se cortó con el polígono del área de estudio.

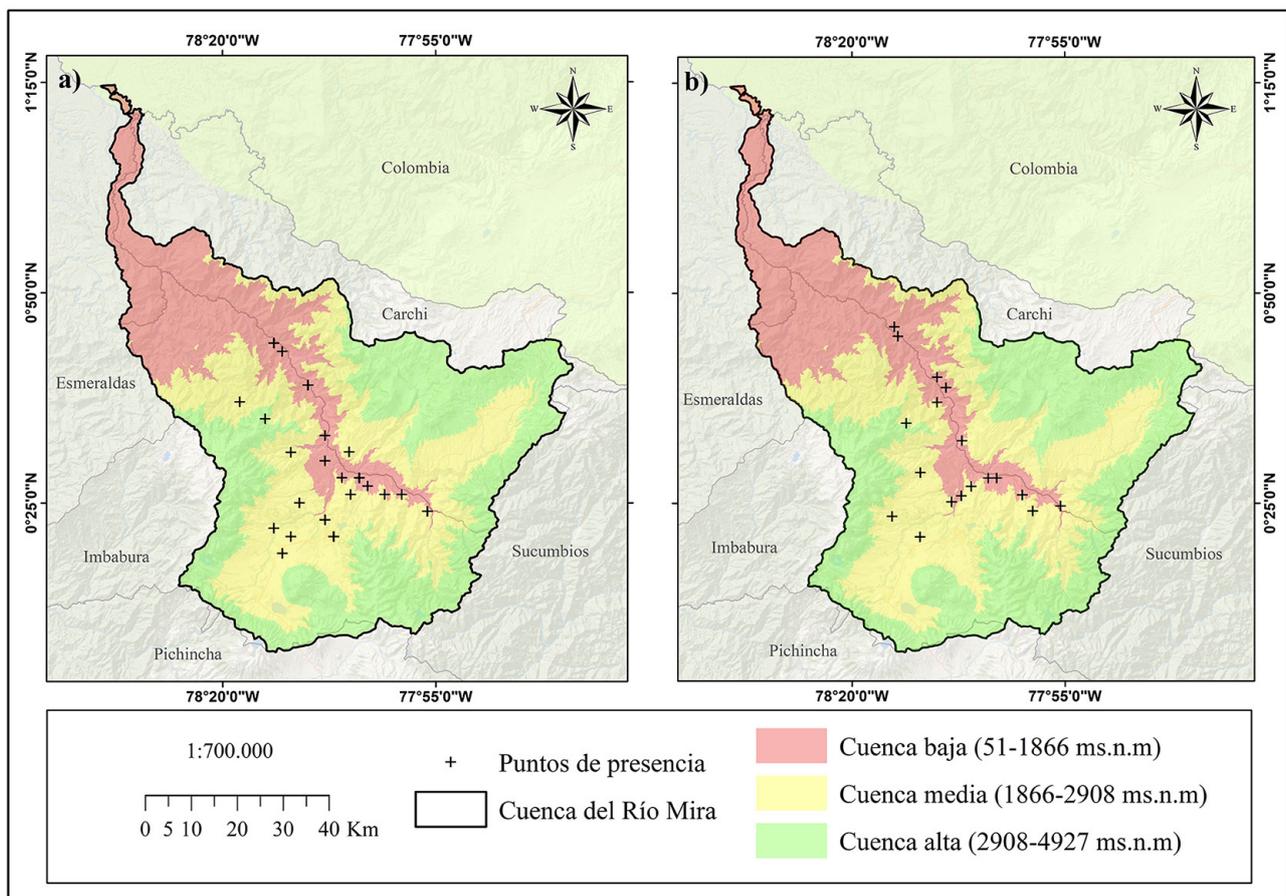
La información de cobertura vegetal se generó mediante una clasificación supervisada en el software ArcGIS 10.8 empleando el método estadístico de máxima verosimilitud. Este método se fundamenta en la existencia

de áreas de entrenamiento conocidas a priori, que se utilizaron para generar una signatura espectral para cada clase de uso y cobertura del suelo (Chuvienco, 2010; Muñoz-Marcillo et al., 2016). Este proceso permitió mejorar el resultado de la clasificación mediante el método de estadística focalizada con la herramienta *Majority filter*. Para cada imagen se identificaron nueve clases: 1) bosque, 2) cultivos, 3) páramo, 4) pastizal, 5) vegetación arbustiva, 6) vegetación xerofítica, 7) área sin vegetación, 8) cuerpos de agua y 9) zona urbana. Además, se realizó una corrección a la clasificación obtenida mediante la edición de polígonos que tuvieron errores de omisión y comisión (Del Toro et al., 2015). La clasificación supervisada de 2010 y 2018 se validó en la aplicación Google Earth Pro mediante la selección de una serie de puntos aleatorios tomados de las imágenes clasificadas en formato *kml*, haciendo coincidir las mismas fechas de toma de las imágenes originales. Posteriormente, se determinó la coincidencia de los puntos observados con los clasificados. Luego, con los puntos observados y clasificados se creó una tabla de frecuencia empleando la herramienta *Frequency*, esto se realizó con la finalidad de obtener valores de campo únicos y el número de apariciones de cada valor de campo único, y a partir de estos datos se creó la tabla pivotante con la herramienta *Pivot table*, la cual generó valores que fueron ingresados a la matriz de confusión. Finalmente, para validar la información obtenida, se empleó la matriz de confusión y el índice Kappa (Dou et al., 2007; Arévalo-Morocho et al., 2023). Los resultados fueron evaluados de acuerdo con la valoración del coeficiente Kappa y la fuerza de concordancia: 0,00 (pobre), 0,01-0,20 (leve), entre 0,21-0,40 (aceptable), 0,41-0,60 (moderado), 0,61-0,80 (considerable) y 0,80-1,00 (casi perfecto) (Landis & Koch, 1997).

2.3. Registros de presencia de la especie

Los registros de presencia de *C. wagneri* se obtuvieron de la base de datos (Global Biodiversity Information Facility [GBIF], 2020) (<https://www.gbif.org>). Posteriormente, se depuró la información verificando posibles errores de localización geográfica. Es así como se adquirió un total de 31 puntos de presencia para un primer periodo (2000-2010) y 19 puntos para el segundo periodo (2010-2020) (Figura 2). Finalmente, para cada periodo se generó un archivo de los registros biológicos en formato CSV (.csv) compatible para el programa MaxEnt.

Figura 2. Puntos de presencia *Croton wagneri* a) 2000-2010 y b) 2010-2020



Elaboración propia

2.4. Variables ambientales

Para determinar la distribución potencial de *C. wagneri* se utilizaron variables bioclimáticas, elevación y cobertura vegetal. Las variables bioclimáticas (promedio de los años 1970-2000) contienen datos mensuales promedio a nivel global y se obtuvieron del portal WorldClim (www.worldclim.org) con una resolución espacial de 30 arcos de segundo que equivalen a 1 km² (Fick & Hijmans, 2017). La variable de elevación también se la obtuvo de esta misma fuente, mientras que la cobertura vegetal se generó utilizando las dos imágenes satelital Landsat 7 (2010) y Landsat 8 (2018) que fueron mencionadas anteriormente. A continuación, la información se procesó en ArcGIS 10.8 manteniendo la resolución espacial y se reajustó el tamaño de las celdas a cada una de las variables con ayuda de la herramienta *reecample* con el objetivo de garantizar una misma resolución espacial (Jácome et al., 2019a). Finalmente, todos los archivos fueron transformados a formato ASCII (.asc) mediante la herramienta *raster to ASCII* dado que es formato requerido para el programa MaxEnt (Correia, 2019).

Es necesario eliminar la correlación entre las variables, dado que estas pueden generar sesgos en los modelos (Jácome et al., 2019b; Arévalo-Morocho et al., 2023), por ese motivo se implementó el análisis Varimax junto con un Análisis de Componentes Principales (Fátima et al., 2016; Jácome et al., 2019a). El número de componentes principales que resume eficazmente la mayoría de las variaciones en los datos y reducen la dimensionalidad del problema (Çoban et al., 2020), se seleccionó en función del porcentaje de la varianza acumulada y valor propio, donde tres de los componentes principales mostraron una varianza superior a 90 % y valor propio >1, este resultado también fue corroborado mediante el gráfico de sedimentación. Finalmente, para seleccionar las variables que no se correlacionan se usó el umbral >0,32 dentro del resultado de rotación Varimax (Dormann et al., 2013). En ese sentido, las variables seleccionadas fueron: Temperatura media anual [Bio 1], Rango diurno medio (promedio mensual (temperatura máxima-temperatura mínima)) [Bio 2], Isotermia (Bio2 / Bio7) (* 100) [Bio 3], Temperatura máxima del mes más cálido [Bio 5], Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6) [Bio 7], Temperatura media de cuarto más húmedo [Bio 8], Temperatura media de cuarto más seco [Bio 9], Temperatura media del cuarto más cálido [Bio 10], Temperatura media del cuarto más frío [Bio 11], Precipitación del mes más seco [Bio 14], Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación) [Bio 15] y Precipitación del trimestre más seco [Bio 17].

2.5. Modelos de distribución potencial con MaxEnt

Para determinar la distribución potencial de *C. wagneri*, se elaboró un modelo por cada periodo, puesto que permite identificar las áreas donde las condiciones ambientales son adecuadas para la supervivencia y reproducción de la especie, también predice como las especies cambiarán o persistirán en un espacio geográfico o ambiental a lo largo del tiempo (Rong et al., 2019). Para ello, se aplicó el modelo MaxEnt versión 3.4.4, conocido como algoritmo de máxima entropía (Phillips et al., 2006). Por lo tanto, para los dos modelos de distribución de los periodos (2000-2010) y (2010-2020) se emplearon las mismas 12 variables bioclimáticas y elevación, mientras que la variable de cobertura vegetal y los puntos de ocurrencia de la especie fueron diferentes para cada modelo. En la interfaz del software MaxEnt se seleccionó las opciones de *Create response curves*, *Make pictures of predictions*, *Do Jackknife to measure variable importance*, puesto que estas opciones permiten hacer una clasificación relativa de las variables y reconocer su contribución en el modelo. Adicionalmente, se configuró el formato de salida a *logistic*, tipo de archivo de salida "asc", porcentaje de prueba aleatoria al 20 %. En configuraciones avanzadas se insertó el valor de 5.000 como valor máximo de interacciones y como prueba de prevalencia se trabajó con 0,5. Finalmente, en las configuraciones experimentales se eligió *write background prediction*, y se corrió el modelo (Moya et al., 2017; Jácome et al., 2019b).

2.6. Validación de los modelos

Los modelos fueron validados utilizando el valor del área bajo la curva (AUC, *Area Under the Curve*) de la curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) (Arévalo-Morocho et al., 2023). Para la clasificación de precisión del modelo se tomó en cuenta lo siguientes umbrales: <0,5-0,6 corresponde un modelo "inválido", entre 0,6-0,7 se considera "malo", entre 0,7-0,8 es "aceptable", entre 0,8-0,9 "bueno" y entre 0,9-1 "excelente" (Araújo et al., 2005). Además, se llevó a cabo una validación utilizando el método de la estadística de habilidad verdadera-True Skill Statistics (TSS, por sus siglas en inglés), ya que se ha demostrado que es un método intuitivo para medir el rendimiento del modelo de distribución de especies, en el que las predicciones se presentan como mapas de presencia-ausencia (Allouche et al., 2006). Los valores oscilan entre -1 a +1,

donde los modelos con valores menores a 0,4 se consideran “pobres”, de 0,4 y 0,8 “buenos”, y por encima de 0,8 “excelentes” (Gallien et al., 2012).

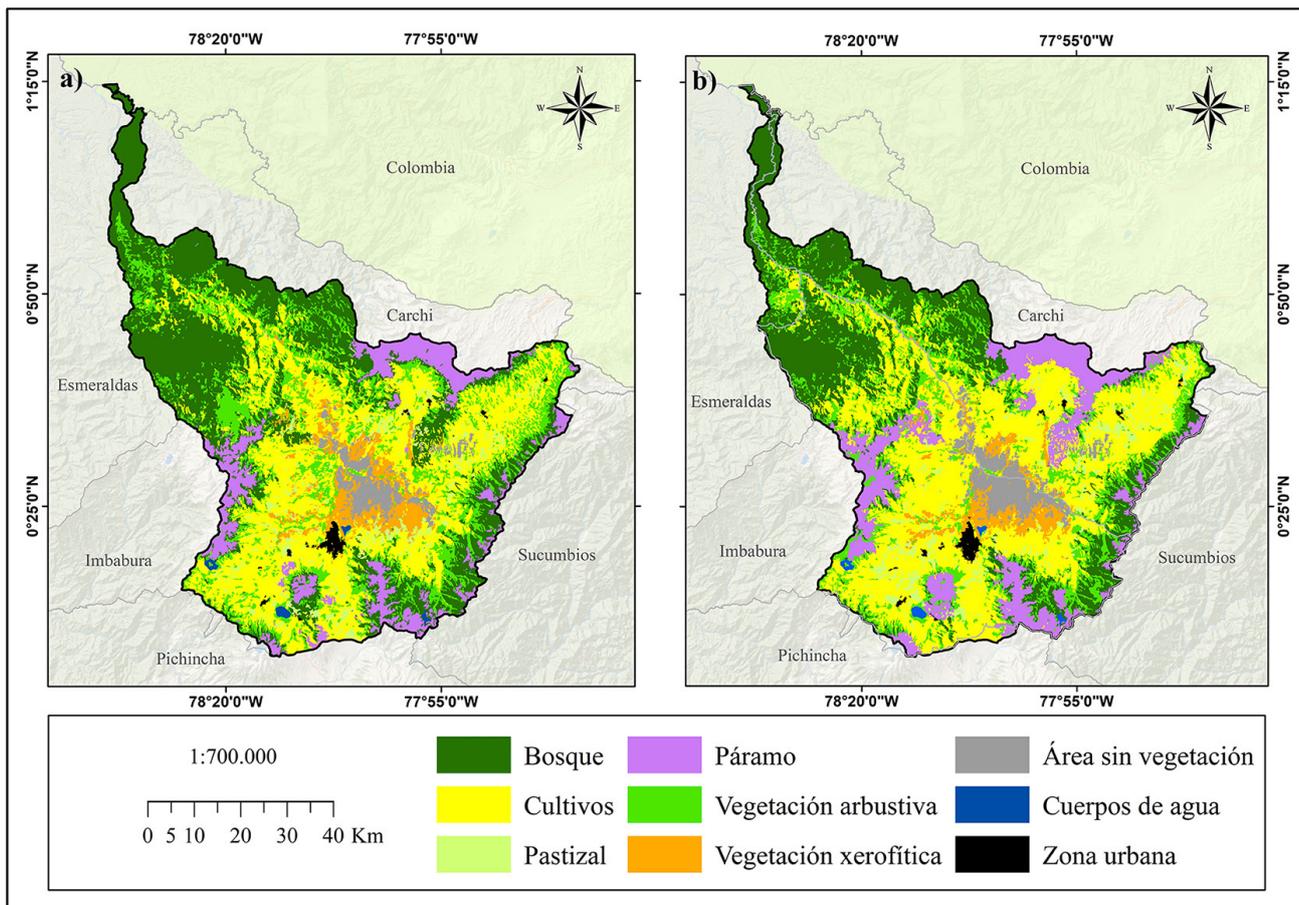
Adicionalmente, se examinó la prueba *Jackknife* para identificar de forma individual las variables más efectivas en predecir la distribución de la especie (Jácome et al., 2019b; Yan et al., 2020). Con el fin de determinar los rangos de tolerancia de la especie, se analizaron las curvas de respuesta de las variables con mayor aporte al modelo según la prueba *Jackknife*. Finalmente, se generaron los respectivos mapas de distribución potencial de *C. wagneri* usando el formato de salida logístico de MaxEnt, el mismo que proporciona la probabilidad de presencia entre 0 y 1. Estos resultados fueron reclasificados en cinco zonas de idoneidad: nula (<0,2), baja (0,2 a 0,4), moderada (0,4 a 0,6), alta (0,6 a 0,8), muy alta (>0,8) (Yan et al., 2020).

3. Resultados

3.1. Cambios de la cobertura vegetal en el periodo 2000-2010 y 2010-2020

Para el año 2010, cobertura como cultivos, bosque y páramo fueron aquellas con mayor distribución dentro de la cuenca del río Mira (Figura 3). En el transcurso de ocho años hubo disminución en la cobertura de bosque de 189.196,99 ha a 177.129,86 ha. De igual forma la vegetación arbustiva tuvo una reducción de 7,58 % a 4,34 %, el área de la vegetación xerofítica en el 2010 ocupaba 22.409,54 ha y en el 2018 disminuyó a 13.217,96 ha y se debe a que fueron reemplazados con otro tipo de cobertura. Además, la cobertura dominante de la cuenca fueron los cultivos, ya que aumentaron de 193.063,02 ha, lo que representa el 36,15 % del total de cobertura en 2010 a 212.960,96 (39,88 %) en 2018. También, el área de las zonas urbanas tuvo un incremento de 0,70 % a 1,08 % (Tabla 1).

Figura 3. Variación temporal y espacial de la cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del río Mira a) 2010 y b) 2018



Elaboración propia

Tabla 1. Área de diferentes tipos de cobertura en el período 2010 y 2018 de la cuenca del río Mira

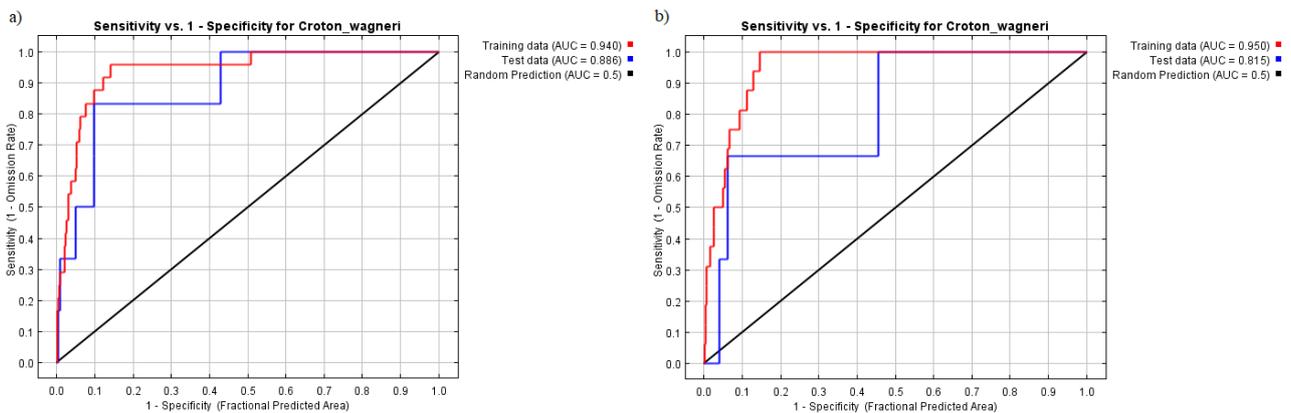
Cobertura	2010		2018		Diferencia
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(%)
Bosque	189.196,99	35,43	177.129,86	33,17	-2,26
Cultivos	193.063,02	36,15	212.960,96	39,88	3,73
Páramo	53.631,40	10,04	53.242,35	9,97	-0,07
Pastizal	15.180,82	2,84	25.513,76	4,78	1,94
Vegetación arbustiva	40.504,56	7,58	23.178,60	4,34	-3,24
Vegetación xerofítica	22.409,54	4,20	13.217,96	2,48	-1,72
Área sin vegetación	14.741,46	2,76	21.429,71	4,01	1,25
Cuerpos de agua	1.585,74	0,30	1.585,74	0,30	0,00
Zona urbana	3.712,09	0,70	5.766,68	1,08	0,38

Elaboración propia

3.2. Distribución potencial de *Croton wagneri* en el periodo 2000-2010 y 2010-2020

El rendimiento y la precisión de los dos modelos de *C. wagneri* mostraron un excelente desempeño predictivo, según el valor AUC (primer periodo: AUC=0,940; segundo periodo AUC=0,950) (Figura 4), esto basado en los criterios proporcionados por Araújo et al. (2005). Además, con el método True Skill Statistics (TSS) los modelos se categorizan como buenos de acuerdo con Gallien et al. (2012), (primer periodo: TSS=0,61; segundo periodo TSS=0,67).

Figura 4. Curva ROC del modelo de distribución potencial de *C. wagneri* a) 2000-2010 y b) 2010-2020



Fuente: Modelo MaxEnt. Elaboración propia

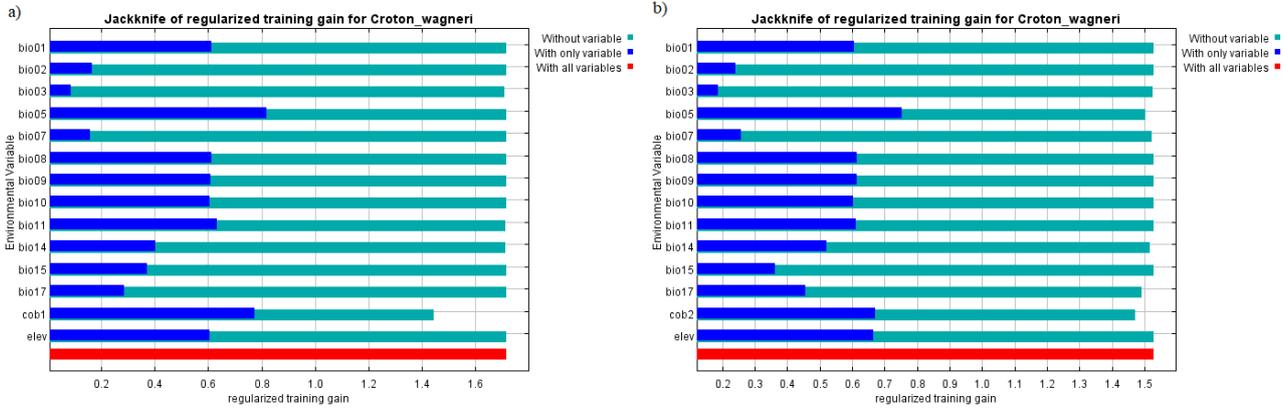
Los resultados de la prueba Jackknife para el período 2000-2010 revelan que las variables Bio 5, cobertura 1 y Bio 11 proporcionaron ganancias superiores a 0,6 cuando se utilizaron de forma independiente. Esto sugiere que estas variables contienen información valiosa por sí solas en comparación con otras. Por otro lado, las variables Bio 1, Bio 8, Bio 9, Bio 10 y la elevación mostraron una ganancia moderada en ese mismo período.

En el período 2010-2020, las variables Bio 5, cobertura 2 y elevación también presentaron ganancias superiores a 0,63, mientras que las variables Bio 1, Bio 8, Bio 9, Bio 10 y Bio 11 mantuvieron una ganancia moderada. Sin embargo, las variables Bio 2, Bio 3 y Bio 7 tuvieron un valor bajo cuando se utilizaron de forma aislada. Esto se debe a que la información contenida en estas variables no es especialmente relevante (Figura 5).

A partir de las curvas de respuesta de las variables utilizadas en el modelo para el periodo 2000-2010 se obtuvieron los respectivos umbrales (probabilidad de existencia >0,6) (Figura 6). Es así como se comprobó que en áreas donde existe vegetación arbustiva y xerofítica la probabilidad de presencia de dicha especie es alta, como también se observa que en áreas sin vegetación esta probabilidad continúa dado que estas se encuentran de forma adyacente a las coberturas antes mencionadas. Además, se ha demostrado que la especie está más presente cuando la temperatura máxima del mes más cálido (Bio 5) oscila entre los 24-26 °C, cuando la

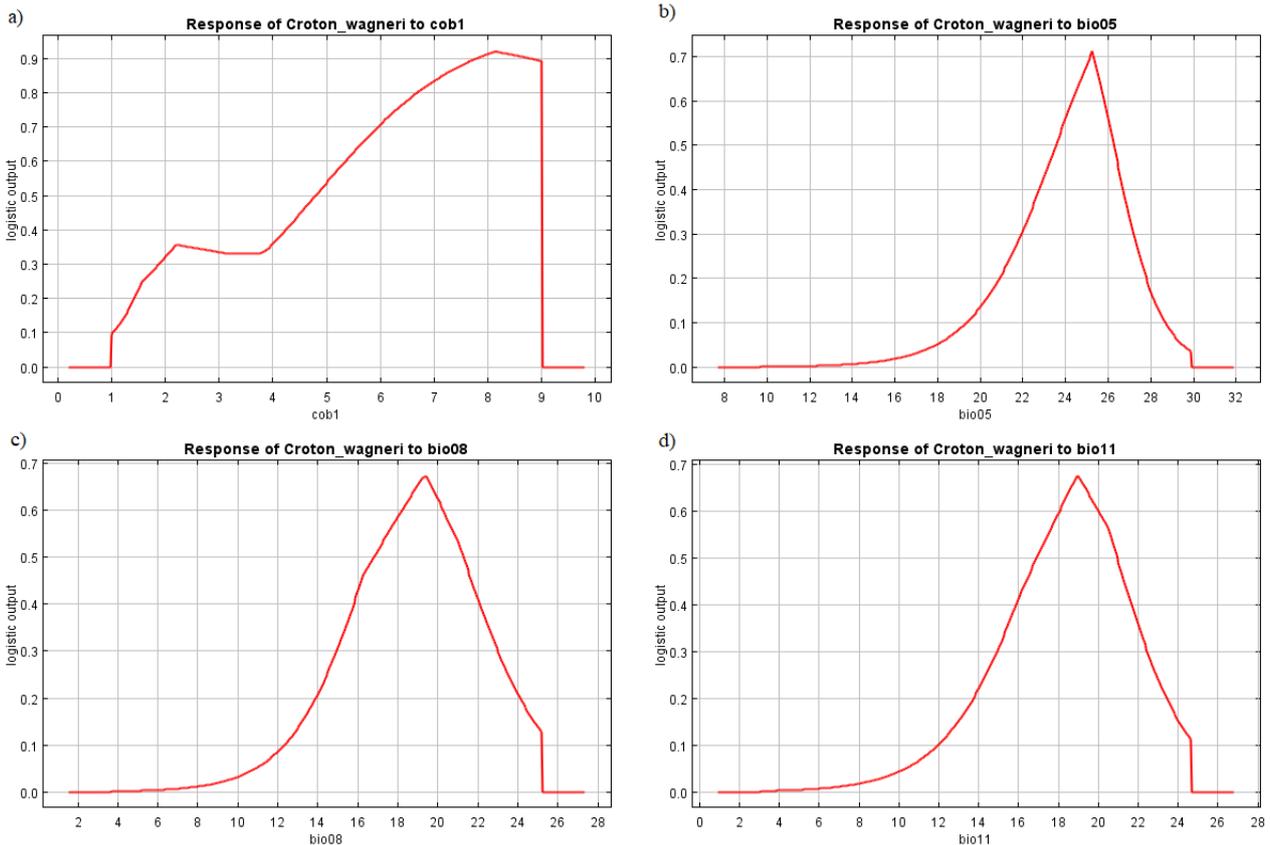
temperatura media de cuarto más húmedo (Bio 8) y la temperatura media del cuarto más frío (Bio 11) fluctúan entre los 18-20 °C.

Figura 5. Prueba Jackknife de contribución de las variables empleadas en el modelo de distribución potencial de *C. wagneri* a) 2000-2010 y b) 2000-2010



Fuente: Modelo MaxEnt. Elaboración propia

Figura 6. Curvas de respuesta de las variables ambientales más importantes identificadas dentro del modelo de distribución de potencial de *C. wagneri* periodo 2000-2010: a) Cobertura vegetal 2010; b) Temperatura máxima del mes más cálido (Bio 5); c) Temperatura media de cuarto más húmedo (Bio 8); d) Temperatura media del cuarto más frío (Bio 11)

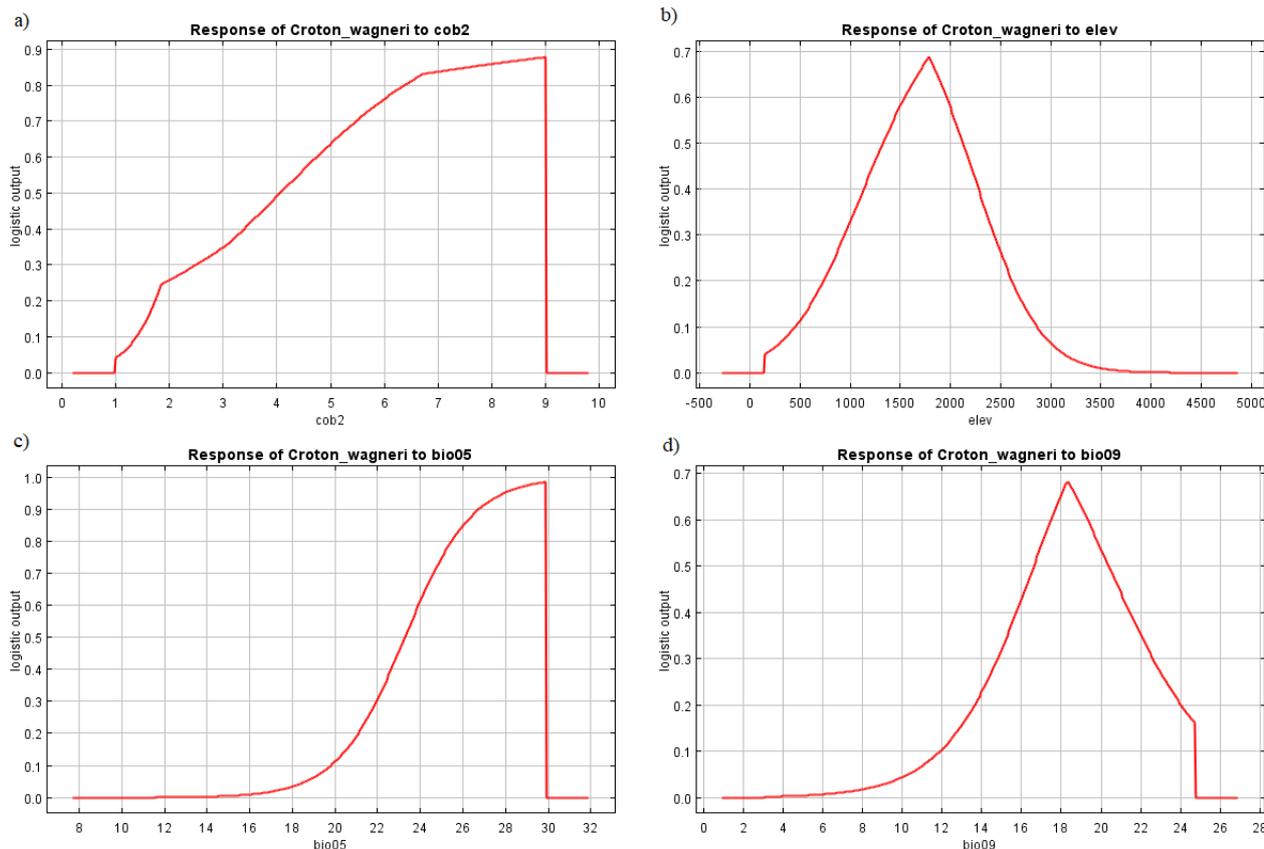


Categorías de cobertura vegetal: bosque (1), cultivos (2), páramo (3), pastizales (4), vegetación arbustiva (5), vegetación xerófila (6), área sin vegetación (7), cuerpos de agua (8) y zonas urbanas (9).

Fuente: Modelo MaxEnt. Elaboración propia

A partir de las curvas de respuesta del modelo para el periodo (2010-2020) se pudo evidenciar que la especie tiene una mayor afinidad en sitios donde está presente la vegetación arbustiva y xerófila, y que el rango de elevación idóneo es de 1.500 a 2.000 m s. n. m. También, se evidencia que hay mayor presencia cuando la temperatura máxima del mes más cálido (Bio 5) es superior a los 22 °C y cuando la temperatura media de cuarto más seco (Bio 9) oscila entre los 16 °C hasta los 20 °C (Figura 7).

Figura 7. Curvas de respuesta de las variables ambientales más importantes identificadas dentro del modelo de distribución de potencial de *C. wagneri* periodo 2010-2020: a) Cobertura vegetal 2018; b) Elevación; c) Temperatura máxima del mes más cálido (Bio 5); d) Temperatura media de cuarto más seco (Bio 9)



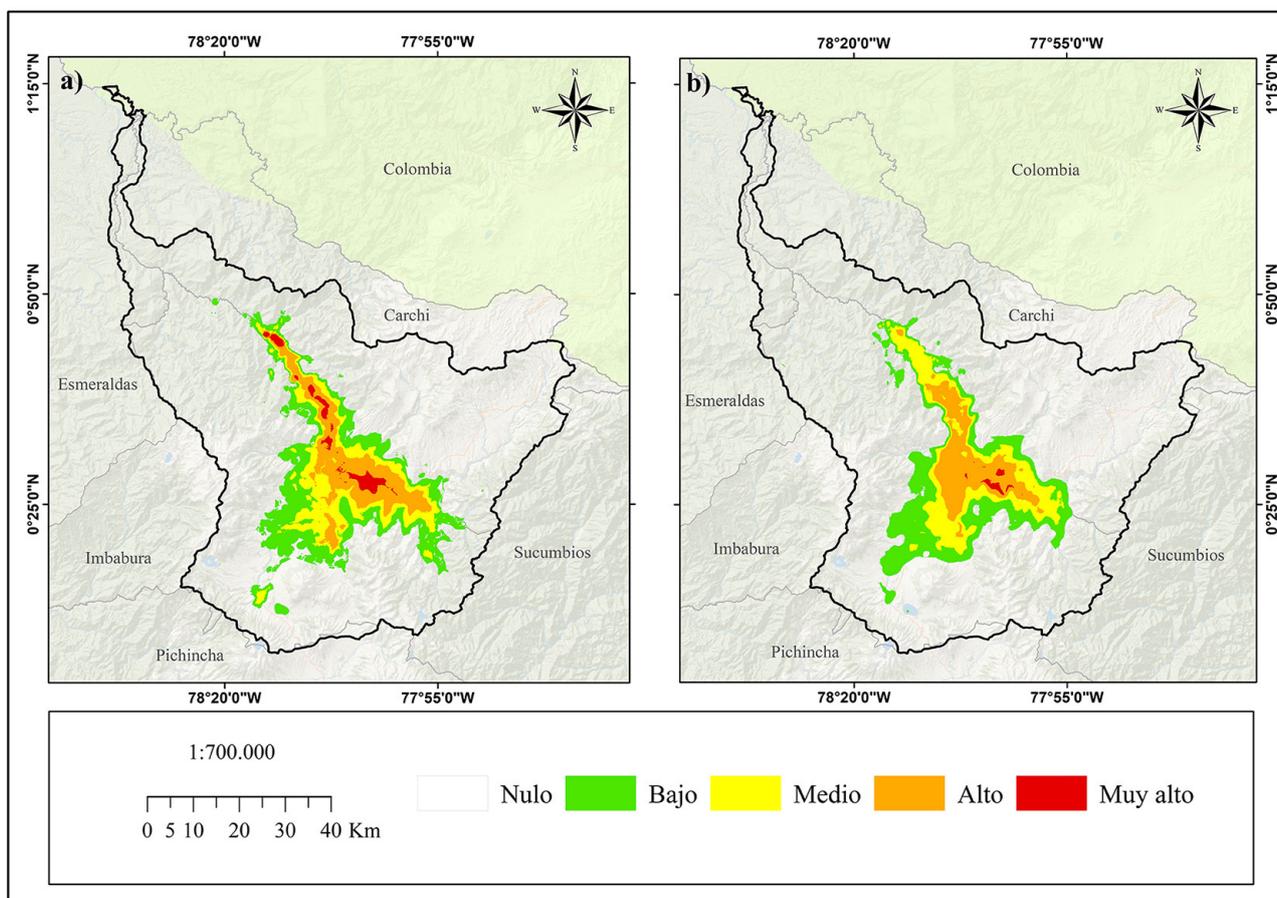
Categorías de cobertura vegetal: bosque (1), cultivos (2), páramo (3), pastizales (4), vegetación arbustiva (5), vegetación xerofítica (6), área sin vegetación (7), cuerpos de agua (8) y zonas urbanas (9).

Fuente: Modelo MaxEnt. Elaboración propia

La distribución de *C. wagneri* dentro de la cuenca presenta una probabilidad de presencia en el primer periodo que va de 0 a 0,89 y en segundo periodo de 0 a 0,83, encontrándose especialmente en la sección baja y media de la cuenca del río Mira. Y está compuesta de cinco zonas de idoneidad de hábitat: nula, baja, media, alta y muy alta (Figura 8).

El área de idoneidad muy alta, en el periodo 2000-2010, ocupaba 4.262,56 ha (0,80 %) de la superficie total, cubriendo localidades como San Miguel de Ibarra, Ambuquí, Salinas, San Vicente de Pusir, Juan Montalvo y la Concepción; mientras que en el periodo 2010-2020, esta se redujo a 990,18 ha (0,19 %), por lo tanto, la pérdida de esta área fue 3.272,38 ha (0,61 %) y las localidades que mantuvieron la muy alta idoneidad fueron San Vicente de Pusir, Ambuquí y San Miguel de Ibarra. Áreas de idoneidad alta presentaron una baja reducción de 4,56 % a 4,29 %, la pérdida fue de 1.447,15 ha (0,27 %) mismas que se localizan en las parroquias de San Antonio, Urcuquí, Tumbabiro, Pimampiro más las parroquias mencionadas anteriormente. De igual forma, el área de idoneidad baja con el transcurso de los años tuvo un decrecimiento de 46.055,14 ha (8,62 %) a 42.439,12 ha (7,95 %), con una pérdida de 3.616,02 ha (0,67 %). En el área de estudio, se evidencia que la zona de idoneidad media en el periodo 2000-2010 representaba 25.864,44 ha (4,84 %) mientras que en 2010-2020 llegó a ocupar el 28.007,52 ha (5,24 %), es decir, incrementó 2.142,08 ha (0,40 %), encontrándose en ciertos sitios de la cuenca media. Finalmente, el área de idoneidad nula representa más del 80 % de la superficie total en ambos periodos y se localiza en los cantones de Espejo, Tulcán, San Lorenzo, San Pedro de Huaca, Cayambe, Otavalo, Cotacachi y ciertas parroquias del cantón Ibarra (Tabla 2).

Figura 8. Distribución potencial para la especie *Croton wagneri* en los periodos a) 2000-2010 y b) 2010-2020



Elaboración propia

Tabla 2. Área de distribución potencial para la especie *Croton wagneri* en los periodos (2000-2010) y (2010-2020) de la cuenca del río Mira

Distribución potencial	2000-2010		2010-2020		Diferencia
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(%)
Nulo	433.558,66	81,18	439.753,84	82,34	1,16
Bajo	46.055,14	8,62	42.439,12	7,95	-0,67
Medio	25.864,44	4,84	28.007,52	5,24	0,40
Alto	24.356,36	4,56	22.909,21	4,29	-0,27
Muy alto	4.262,56	0,8	990,18	0,19	-0,61

Elaboración propia

4. Discusión de resultados

4.1. Cambios de la cobertura vegetal

Los resultados obtenidos coinciden con las investigaciones realizadas por Arias-Muñoz et al. (2023, 2024) en el periodo 1996-2018, en las cuales se menciona que la mayor parte de la superficie de la cuenca se ha convertido en áreas dedicadas a los cultivos. Los productos transitorios más plantados son: cebolla (*Allium spp.*), arveja (*Pisum spp.*), trigo (*Triticum spp.*), etc.) y cultivos permanentes: caña de azúcar (*Saccharum spp.*), plátano (*Musa spp.*), café (*Coffea spp.*), entre otros frutales (Gómez et al., 2017). Además, estos incrementos han transformado coberturas naturales debido al aumento de la población, que ocasiona la necesidad de establecer nuevas tierras para la agricultura, tal como sucede en la cuenca cercana del río Guayllabamba (Abad-Auquilla, 2020). Durante el periodo de estudio, las zonas urbanas también experimentaron un notable

aumento. Según la investigación de Arévalo-Morocho et al. (2023), entre los años 2000 y 2017, la proporción de áreas urbanas creció del 0,29 % al 1,03 %. Esto produjo una disminución en la cobertura de vegetación xerofítica, ya que, al encontrarse en un ecosistema frágil, como son los bosques secos, la disgregación es mayor. Según Troya et al. (2016) y Chimarro et al. (2023), en el callejón interandino los Bosques del Valle Seco se encuentran altamente fragmentados y reducidos a remanentes aislados a causa de la deforestación extensiva, con graves consecuencias para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Así también, la cobertura de bosque en el periodo 2010-2018 disminuyó un 2,26 %, tal como lo reporta Morocho et al. (2023); de igual manera, en el estudio realizado por Arias-Muñoz et al. (2024), se observa que para el año 2018 los bosques disminuyeron en un 20,4 % con respecto al año 1996. Además, la vegetación arbustiva y los páramos han sufrido una disminución en sus áreas con el transcurso de los años, lo cual se atribuyó fundamentalmente a los incendios forestales, tala indiscriminada, expansión de las fronteras agrícolas y ganaderas. Cabe mencionar que la pérdida de bosques y páramos en los últimos años ha disminuido gracias a la creación del Programa Socio Bosque (PSBII), creado en el año 2008 y que favorece a la conservación de espacios naturales a nivel nacional (MAE, 2012b). Además, este programa realizó convenios desde el 2008 hasta el 2021, a fin de tener bajo conservación un total de 41.594 ha en las provincias de Carchi (22.267 ha) e Imbabura (19.327 ha) (MAATE, 2019).

4.2. Distribución potencial de *Croton wagneri*

Los modelos de distribución son herramientas que permiten evaluar la idoneidad del hábitat para una o varias especies con base en variables ambientales y registros de presencia (Mota-Vargas et al., 2019; Pozo, 2023). En Ecuador, la desactualización de los datos de registros biológicos dificulta la ejecución de estos modelos, sin embargo, se han realizado investigaciones significativas con menos de 10 registros (Shcheglovitova & Anderson, 2013; Toranza et al., 2016). Los factores físicos y ambientales utilizados en este estudio son esenciales para determinar el nicho ecológico y la probabilidad de presencia de *Croton wagneri*, por lo tanto, la elevación del terreno fue una de las variables más importantes que influye en la distribución espacial, debido a que forman barreras naturales y microclimas únicos (Jácome et al., 2019a; Arévalo-Morocho et al., 2023; Vistín et al., 2023). Adicionalmente, los resultados obtenidos muestran que el rango de elevación idóneo para esta especie es de 1.500 a 2.000 m s. n. m., resultados similares obtuvieron Terán-Portelles et al. (2019), quienes mencionan que *C. wagneri* se encuentra en altitudes que van desde los 500 hasta los 3.012 m s. n. m. y que el mayor número de ejemplares se ha localizado entre los 1.300 y 2.380 m s. n. m.

Además, las zonas idóneas donde la especie crece son aquellos sitios moderadamente perturbados donde la vegetación arbustiva y xerofítica están presentes, ya que este tipo de vegetación se localizan en matorrales secos montano bajo o en los bosques secos (Arévalo, 2012; Vélez, 2023; Chimarro et al., 2023). Otras variables que influyen sobre la presencia de esta especie son la temperatura máxima del mes más cálido y la temperatura media de cuarto más seco, dado que la planta prefiere temperaturas altas para un buen crecimiento y reproducción (Terán-Portelles et al., 2019; Vélez, 2023). Sin embargo, si se presentan valores extremadamente altos pueden afectar negativamente la fisiología de la planta, generando afecciones, como deformaciones en los órganos reproductores que podrían afectar la germinación, crecimiento de las plántulas, la floración e incluso causar estrés hídrico principalmente en áreas con escasez de agua (Chaves-Barrantes & Gutiérrez-Soto, 2017). Por otra parte, la temperatura media de cuarto más húmedo y la temperatura media del cuarto más frío son importantes, ya que, las temperaturas bajas podrían estimar una mejor dispersión de las semillas de *C. wagneri* a treves del viento (Arévalo, 2012).

C. wagneri se distribuye a lo largo de la cuenca media y baja del río Mira en áreas idóneas muy restringidas para su presencia, con esta investigación se estima que las áreas con idoneidad muy alta en ambos periodos cubren menos del 1 %, es decir 4.262,56 ha (0,80 %) y 990,18 (0,19 %), de igual manera las zonas con idoneidad alta apenas ocupan el 24.356,36 ha (4,56 %) y 22.909,21 ha (4,29 %) del total del área de estudio. La reducción y fragmentación de su hábitat está principalmente relacionado con las diversas actividades antropogénicas como los incendios forestales, ganadería, introducción de especies invasoras, expansión de las fronteras agrícolas y construcción de viviendas (Terán-Portelles et al., 2019), actividades que se han desarrollado de manera no sostenible, de tal forma, que han provocado una disminución de la cobertura vegetal y un aumento de áreas urbanas y rurales (Arias-Muñoz et al., 2024).

La fragmentación ecológica en la cuenca del río Mira se manifiesta de manera contundente a través de datos concretos obtenidos en el estudio de Vilema-Ramos et al. (2023) sobre los cambios en la cobertura del matorral seco montano en el valle Chota. Según los resultados de este estudio, se ha observado una disminución

alarmante del 30 % en la extensión de hábitats naturales en la región, lo que ha generado una fragmentación significativa del paisaje. Esta reducción en la cobertura vegetal ha llevado a la creación de áreas fragmentadas que han impactado directamente en la distribución de especies endémicas como *Croton wagneri*. Estos datos cuantitativos respaldan la necesidad urgente de implementar medidas de conservación para proteger la biodiversidad local y restaurar la conectividad de los hábitats fragmentados en la cuenca del río Mira.

Un estudio realizado por Vargas et al. (2019) determinó que los principales factores de pérdida de hábitat de las especies en Perú y Bolivia son los cambios del paisaje y la deforestación, tal como sucede en el Ecuador. Además, la disminución en el tamaño de los parches de hábitat pone en peligro la supervivencia de las especies, ya que existe un rango óptimo de supervivencia y un límite de tolerancia en la cantidad y calidad del hábitat (Otavo & Echeverría, 2017). Esta reducción puede aumentar la probabilidad de extinción de la población de una especie, ya que a medida que aumenta el grado de fragmentación el tamaño de los parches se reduce (Fahrig et al., 2019; Arasa-Gisbert et al., 2021). Por lo general, también las especies se enfrentan al efecto de borde que se origina por los cambios de cobertura vegetal y las actividades antropogénicas (Peña-Becerril et al., 2005; Arévalo-Morocho et al., 2023). El efecto borde puede provocar la llegada y establecimiento de especies invasoras que compiten con las especies autóctonas por recursos, alterando la dinámica natural del ecosistema lo que puede afectar la distribución y supervivencia de las especies presentes en el área de borde (Peña-Becerril et al., 2005; Arasa-Gisbert et al., 2021).

5. Conclusiones

Los principales cambios identificados incluyen la pérdida de cobertura forestal, arbustiva y xerofítica, así como el aumento de áreas destinadas a cultivos, pastizales y zonas urbanas. Estos cambios están directamente relacionados con actividades humanas como la agricultura, la urbanización y la ganadería, que han fragmentado el hábitat natural de la especie estudiada. Esta transformación del paisaje ha generado una pérdida considerable de hábitat para *Croton wagneri*, lo que pone en peligro su supervivencia en la región. En particular, el *Croton wagneri* se encuentra distribuido en áreas muy restringidas y específicas a lo largo de la cuenca media y baja del río Mira. Estas áreas idóneas para su presencia se localizan en parroquias como San Miguel de Ibarra, Ambuquí, Salinas, San Vicente de Pusir, Juan Montalvo, La Concepción, San Antonio, Urcuquí, Tumbabiro y Pimampiro. Al comparar los modelos de distribución de esta especie con el mapa de cobertura vegetal, se estima una disminución de 3.272,38 hectáreas (0,61 %) en las áreas con idoneidad “muy alta”, 1.447,15 ha (0,27 %) en áreas con idoneidad “alta” y 3.616,02 ha (0,67 %) en áreas con idoneidad “baja”. Este declive se debe al cambio en la cobertura vegetal, impulsado por la expansión de zonas de cultivo, construcción de viviendas, incendios forestales y ganadería. Estos usos han incrementado la fragmentación y pérdida de hábitat para el *Croton wagneri*.

Las variables que más influyen en el nicho ecológico y la distribución del *Croton wagneri* en el área de estudio son la cobertura vegetal, especialmente en zonas menos perturbadas donde se encuentra la vegetación xerofítica y arbustiva. La elevación óptima para esta especie se sitúa entre 1.500 y 2.000 m s. n. m., aunque también puede encontrarse en altitudes que varían desde los 800 hasta los 2.800 m s. n. m. En términos de temperatura, el rango óptimo se encuentra entre 24-26 °C para la temperatura máxima del mes más cálido (Bio 5), mientras que las temperaturas medias del cuarto más húmedo (Bio 8) y del cuarto más frío (Bio 11) oscilan entre 18-20 °C. Por último, la temperatura media del cuarto más seco (Bio 9) varía entre 16 y 20 °C. Estos factores son clave para entender la distribución de esta especie en su hábitat natural.

Los hallazgos de este estudio pueden ser útiles para futuras investigaciones que busquen analizar cómo los cambios en la cobertura vegetal afectan la distribución de especies en estado de amenaza. Esta información puede ser valiosa para tomar medidas en la conservación de la biodiversidad y la planificación del territorio, especialmente para instituciones gubernamentales, como el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador, organizaciones ambientales locales y comunidades indígenas de la región. Estas entidades pueden usar esta información para implementar medidas de conservación, planificación territorial y manejo sostenible de los recursos naturales en la cuenca del río Mira, con el objetivo de minimizar los daños ambientales evaluados y proteger la biodiversidad a futuro.

La metodología implementada en este estudio ha demostrado ser eficaz para identificar los cambios en la cobertura vegetal y su impacto en la distribución de la Mosquera en la cuenca del río Mira, proporcionando validaciones confiables. Sin embargo, al replicar este procedimiento, es crucial tener en cuenta varios factores. La disponibilidad de imágenes, especialmente en áreas con alta nubosidad, y la complejidad de los datos de teledetección pueden complicar su procesamiento y análisis. Además, las limitaciones

en la resolución espacial y temporal de las imágenes satelitales pueden afectar la precisión del análisis multitemporal. Las correcciones atmosféricas son fundamentales, pero pueden influir en la calidad de las imágenes. En particular, los problemas de fallo del escáner en 2003 con Landsat 7 ETM afectaron la calidad de las imágenes posteriores, lo cual debe tenerse en cuenta al analizar series temporales. El sesgo de muestreo en los datos de presencia y ausencia de especies también debe considerarse, ya que la calidad y disponibilidad de los datos utilizados pueden influir en la precisión de los modelos generados. Por lo tanto, es esencial contar con datos completos y fiables. Finalmente, MaxEnt asume ciertos supuestos, como el equilibrio de las especies con su entorno, que pueden no ser válidos en todos los casos.

Agradecimientos

La autoría desea expresar su más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte, la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales y la Carrera de Recursos Naturales Renovables por el apoyo brindado durante la realización de la presente investigación.

Referencias

- Abad-Auquilla, A. (2020). El cambio de uso de suelo y la utilidad del paisaje periurbano de la cuenca del río Guayllabamba en Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(2), 68-91. <https://dx.doi.org/10.15359/rca.54-2.4>
- Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa, and the true skill statistic (TSS). *Journal of applied ecology*, 43, 1223-1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>
- Arasa-Gisbert, R., Arroyo-Rodríguez, V., & Andresen, E. (2021). El debate sobre los efectos de la fragmentación del hábitat: causas y consecuencias. *Ecosistemas* 30(3), 2156. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2>
- Araújo, M., Pearson, R., Thriller, W., & Erhard, M. (2005). Validación of species-climate impact models under climate change. *Global change biology*, 11(9), 1504-1513. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01000.x>
- Arévalo, A. (2012). *Estructura y distribución espacial de Croton wagneri Müll. Arg. (Euphorbiaceae) en un gradiente del matorral seco del sur de Ecuador* [Undergraduate thesis, Universidad Particular de Loja]. Repositorio Institucional de la UTPL (RiUTPL). <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/3219>
- Arévalo-Morocho, C., Jácome-Aguirre, G., Ortega-Andrade, S., Rosales-Enríquez, O., & Rodríguez-Echeverry, J. (2023). Evaluación del cambio del paisaje boscoso y su impacto en la distribución de *Dipsas elegans* en el norte de Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, (79), 231-250. <https://doi.org/10.14198/INGEO.23541>
- Arias-Muñoz, P., Saz, M., & Escolano, S. (2023). Effects of land use change on soil erosion in the uppermiddle basin of Mira River in Andean-Ecuador. *Acta Geographica Universitatis Comenianae*, 67(1), 115-140.
- Arias-Muñoz, P., Saz, M., & Escolano, S. (2024). Tendencias de cambio de usos y coberturas de suelo en la cuenca hidrográfica media-alta del río Mira en Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, (81), 155-179. <https://doi.org/10.14198/INGEO.25248>
- Campos, C. (2018). *Análisis multitemporal de cambio de uso de suelo y cobertura vegetal para el desarrollo de un modelo probabilístico prospectivo en la cuenca del río Capucuy Imbabura* [Undergraduate thesis, Universidad Internacional SEK]. Repositorio Digital Universidad Internacional SEK. <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3133>
- Cerón, C., Riina, R., Santiana, J., & Tye, A. (2017). *Croton wagneri*. In León-Yáñez, S., R. Valencia, N. Pitmam, L. Endara, C. Ulloa Ulloa y H. Navarrete (Eds), *Libro Rojo de Plantas Endémicas del Ecuador*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://bioweb.bio/floraweb/librorojo/FichaEspecie/Croton%20wagneri>
- Chaves-Barrantes, N., & Gutiérrez-Soto, M. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. I. Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 237-253. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.21903>
- Chiles, G. (2020). *Caracterización de la variabilidad climática de la cuenca hidrográfica del río Mira en el período 1981-2010, con base en la información hidrometeorológica disponible* [Graduate thesis, Universidad Andina Simón Bolívar]. <http://hdl.handle.net/10644/7782>
- Chimarro, J., Cué, J., Arcos, C., & Paredes, H. (2023). *Flora del bosque seco en la provincia del Carchi*. Universidad Técnica del Norte (p. 51). <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15162>
- Chuvieco, E. (. (2010). *Teledetección Ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio* (3rd ed.). Ariel Ciencia.
- Changjiang Institute Of Survey, Planning, Design And Research (CISPDR). (2016). *Plan hidráulico regional de la demarcación hidrográfica Mira*. <https://suia.ambiente.gob.ec/files/MEMORIA%20DH%20MIRA.pdf>
- Çoban, H., Örucü, Ö., & Arslan, E. (2020). MaxEnt modeling for predicting the current and future potential geographical distribution of *Quercus libani* Olivier. *Turquia: Sustainability*, 12(7), 2671. <https://doi.org/10.3390/su12072671>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2016). Daño y pérdida de biodiversidad. *Horizontes 2030*. <https://www.cepal.org/es/temas/biodiversidad/perdida-biodiversidad>

- Correia, M. (2019). Criterios confiables para la construcción del modelo de Máxima Entropía (MAXENT) Segunda parte. *FUNDATUN*. https://issuu.com/fundatun/docs/2019_03_rev_cofa/s/88967
- Del Toro, N., Cánovas-García, F., Alonso-Sarría, F., & Gomariz-Castillo, F. (2015). Comparación de métodos de clasificación de imágenes de satélite en la cuenca del río Argos (región de Murcia). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 67, 327-347. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5035579>
- Dormann, C., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., García Márquez, J. R., Gruber, B., Lafourcade, B., Leitão, P. J., Münkemüller, T., McClean, C., Osborne, P. E., Reineking, B., Schröder, B., Skidmore, A. K., Zurell, D., & Lautenbach, S. (2013). Colinealidad: una revisión de los métodos para tratarla y un estudio de simulación que evalúe su desempeño. *Ecografía*, 36(1), 27-46. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>
- Dou, W., Ren, Y., Wu, Q., Ruan, S., Chen, & Bloyet, D., & Constans, J. (2007). kappa for the agreement measure of fuzzy classifications. *Neurocomputing*, 70(46), 726-734. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2006.10.007>
- Fahrig, L., Arroyo-Rodríguez, V., Bennett, JR, Boucher-Lalonde, V., Cazetta, E., Currie, DJ., & Watling, J. (2019). ¿La fragmentación del hábitat es mala para la biodiversidad? *Conservación biológica*, 230, 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.12.026>
- Fátima, S.H., Atif, S., Rasheed, S.B., Zaidi, F., & Hussain, E. (2016). Species distribution modelling of *Aedes aegypti* in two dengue-endemic regions of Pakistan. *Trop. Med. Int. Health.*, 21, 427-436. <https://doi.org/10.1111/tmi.12664>
- Fick, S., & Hijmans, R. (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Revista Internacional de Climatología*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Gallien, L., Douzet, R., Pratte, S., Zimmermann, N., & Thuiller, W. (2012). Invasive species distribution models – how violating the equilibrium assumption can create new insights. *Global Ecology and Biogeography*, 21, 1126-1136. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2012.00768.x>
- Gómez, L.F., Gallego, B., & Naranjo, L. G. (2017). *Atlas socioambiental de las cuencas transfronterizas Mira y Mataje: aportes para su ordenamiento y gestión integral Colombia-Ecuador*. WWF-Colombia.
- Global Biodiversity Information Facility [GBIF]. (2020). *Occurrence Download*. <https://doi.org/10.15468/dl.f6nxgf>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2015). *Estudios e investigaciones hidrológicas cuenca río Mira*. <https://n9.cl/78efi>
- Jácome, G., Vilela, P., & Yoo, C. (2019a). Present and future incidence of dengue fever in Ecuador nationwide and coast region scale using species distribution modeling for climate variability's effect. *Ecological Modelling*, 400, 60-72. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.03.014>
- Jácome, G., Vilela, P., & Yoo, C. (2019b). Social-ecological modelling of the spatial distribution of dengue fever and its temporal dynamics in Guayaquil, Ecuador for climate change adaption. *Ecological Informatics*, 49, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2018.11.001>
- Landis, J., & Koch, G. (1997). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 159-174. <https://doi.org/10.1148/radiol.2282011860>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE]. (2012a). *Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE]. (2012b). *Socio Bosque: Convenios para colectivos bosque y páramo*. Ecuador ama la vida.
- Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE]. (2016). *Plan hidráulico regional de la demarcación hidrográfica Mira*. Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research. <https://suia.ambiente.gob.ec/files/MEMORIA%20DH%20MIRA.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE]. (2017). *Deforestación del Ecuador continental periodo 2014-2016*.
- Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE]. (2019). *Proyecto Socio Bosque de conservación: Sistema para protección de bosques, páramos, manglares y vegetación*.

- Mota-Vargas, C., Encarnación-Luévano, A., Ortega-Andrade, H., Prieto-Torres, D., Peña-Peniche, A., & Rojas-Soto, O. (2019). Una breve introducción a los modelos de nicho ecológico. In C. E. Moreno (Ed.), *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. Libermex (pp. 39-63). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. http://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD_IKIAM/340
- Moya, W., Jácome, G., & Yoo, C. (2017). Tendencias pasadas, actuales y futuras de la langosta roja basadas en PCA con modelo MaxEnt en las Islas Galápagos, Ecuador. *Ecología y Evolución*, 7(13), 4881-4890. <https://doi.org/10.1002/ece3.3054>.
- Müller Argoviensis, J. (1872). **Croton wagneri**. In *Flora*, 4, 6.
- Muñoz-Marcillo, J. L., Andrade-Mesía, M., & González-Osorio, B. (2016). Cambio multitemporal de la cobertura vegetal y fragmentación en la reserva ecológica "Mache-Chindul" Ecuador. *European Scientific Journal, ESJ*, 12(30), 152. <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n30p152>
- Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (MECN). (2009). Ecosistemas del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Publicación Miscelánea No. 6. Serie de Publicaciones del MECN – Fondo Ambiental del MDMQ. 1 – 51 pp. Imprenta Nuevo Arte. http://inabio.biodiversidad.gob.ec/wp-content/uploads/2018/12/L_Guia_ecosistemas_DMQ-1.pdf
- Ojeda, T., Zhunusova, E., Günter, S., & Dieter, M. (2020). Medición de los ingresos forestales y agrícolas en las fronteras de las selvas tropicales de las tierras bajas del Ecuador: ¿Importan la deforestación y las estrategias de conservación? *Política y economía forestales*, 111, 102034. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.102034>
- Peña-Becerril, J., Monroy-Ata, A., Álvarez-Sánchez, F., & Orozco-Almanza, M. (2005). Uso del efecto de borde de la vegetación para la restauración ecológica del bosque tropical. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 8(2), 91-98. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43220804>
- Phillips, S., Anderson, R., & Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Pinchao Silva, D. E. (2024). *Aplicación de un acabado para otorgarle propiedades antibacterianas utilizando el extracto de hierba mosquera "Crotón wagneri müll. Arg" en un tejido plano 100% algodón* [Undergraduate thesis, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15452>
- Pozo, D. (2023). *Efecto del cambio climático sobre el patrón de distribución y fisiología reproductiva de Croton guatemalensis Lotsy en Chiapas* [Doctoral thesis, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas]. Repositorio UNICACH. <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/4830>
- Otavo, S., & Echeverría, C. (2017). Fragmentación progresiva y pérdida de hábitat de bosques naturales en uno de los hotpost mundiales de biodiversidad. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88(4), 924-935. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.041>
- Quintana, C. (2013). *Plantas silvestres de los valles secos cercanos a Quito* [Guía ilustrada]. In Publicaciones del Herbario QCA, PUCE (p. 270). <https://edipuce.edu.ec/plantas-silvestres-de-los-valles-secos-cercanos-a-quito/>
- Rong, Z., Zhao, C., Liu, J., Gao, Y., Zang, F., Guo, Z., Mao, & Wang, L. (2019). Modelización del efecto del cambio climático en la distribución potencial de la píce de Qinghai (*Picea crassifolia* Kom.) en las montañas Qilian. *Bosques*, 10(1), 62. <https://doi.org/10.3390/f10010062>
- Sellers, C., Buján, S., Corbelle, E., & Miranda, D. (2017). EJE 07-09 Morfología interpretativa de alta resolución usando datos LiDAR en la cuenca hidrográfica del río Paute en Ecuador. *Memorias Y Boletines De La Universidad Del Azuay*, 1(XVI), 399-411. <https://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/view/87>
- Shcheglovitova, M., & Anderson, R. (2013). Estimating optimal complexity for ecological niche models: a jackknife approach for species with small sample sizes. *Ecological Modelling*, 269, 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.08.011>

- Terán-Portelles, E., Cuéllar-Cuéllar, A., Salas-Olivet, E., & Pardo-Andreu, G. (2019). Toxicidad aguda del extracto hidroalcohólico de *Croton wagneri* Müll. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 24(2), 1-13. <https://revplantasmedicinales.sld.cu/index.php/pla/article/view/791/372>
- Toranza, C., Brazeiro, A., & Maneyro, R. (2016). Anfibios amenazados de Uruguay: efectividad de las áreas protegidas ante el cambio climático. *Ecología austral*, 26(2), 138-149. <https://doi.org/10.25260/EA.16.26.2.0.136>
- Troya, A., Bersosa, F., & Espinoza, L. (2016). Insectos de los remanentes de bosques secos Andinos del norte de Ecuador. *Revista Ecosistemas*, 25(2), 79-82-82. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.10>
- Vargas, C., Montalbán, J., & León, A. (2019). Early warning tropical forest loss alerts in Perú using Landsat. *Environmental Research Communications*. 1:121002. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ab4ec3>
- Velásquez, M. (2021). *Efectos sobre las variables hidrológicas y la provisión potencial de servicios ecosistémicos producto del cambio de cobertura vegetal. Caso de estudio sistema socioecológico de la cuenca del Río Mira* [Doctoral thesis, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79796>
- Vélez, D. (2023). *Biotic and abiotic determinants of the sex ratio in a monoecious shrub in a dry ecosystem* [Doctoral thesis, Universidad Rey Juan Carlos]. Dialnet plus. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=317460>
- Vilema-Ramos, B., León-Espinoza, M., Layana-Bajaña, E., & Rosales-Enríquez, O. (2023). Cambios en la cobertura del matorral seco montano del Valle Chota (Imbabura y Carchi, Ecuador) entre 1990 y 2020. *Revista Peruana de Biología*, 30(4), e24672. <https://doi.org/10.15381/rpb.v30i4.24672>
- Vistín, D. A., Salas, E. M., Balseca, J. E., & Lara, N. X. (2023). Distribución potencial de *Polylepis incana* en los Andes ecuatorianos para estudios de fisiología vegetal y planes de rehabilitación forestal. *Ecología Austral*, 33(1), 001-012. <https://doi.org/10.25260/EA.23.33.1.0.1991>
- Yan, H., Feng, L., Zhao, Y., Feng, L., Wu, D., y Zhu, C. (2020). Prediction of the spatial distribution of *Alternanthera philoxeroides* in China based on ArcGis and Maxent. *Global Ecology and Conservation*, 21, e00856. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00856>
- Zumaeta, D. (2019). Análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales E Ingeniería*, 2(3), 81-89. <https://doi.org/10.25127/ucni.v2i3.607>

Theobroma cacao L., land use conflict on the Ecuadorian coast

Theobroma cacao L., conflicto de uso de la tierra en el litoral del Ecuador

AUTHORSHIP

Diego F. Reyes-Yunga 

Instituto Geográfico Militar, Ecuador.

Mauricio Viera-Torres 

Instituto Geográfico Militar, Ecuador.

Gandhy Pérez 

Instituto Geográfico Militar, Ecuador.

Mónica Galeas 

Instituto Geográfico Militar, Ecuador.

DOI

<https://doi.org/10.14198/INGEO.26187>

CITATION

Reyes-Yunga, D. F., Viera-Torres, M., Pérez, G., & Galeas, M. (2024). *Theobroma cacao* L., land use conflict on the Ecuadorian coast. *Investigaciones Geográficas*, (82), 145-165. <https://doi.org/10.14198/INGEO.26187>

CORRESPONDENCE

Diego F. Reyes-Yunga (chess_reyes@hotmail.com)

HISTORY

Received: 12 October 2023

Accepted: 29 January 2024

Published: 10 July 2024

(Advance publication: 25 March 2024)

TERMS

© Diego F. Reyes-Yunga, Mauricio Viera-Torres, Gandhy Pérez, Mónica Galeas

 This work is published under a license Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International

Abstract

Cocoa cultivation is one of the sectors that most contributes to Ecuador's GDP. The aim of this study is to determine the Land-Use Conflict (UC) for cocoa in 71 cities on the coast of Ecuador. Photointerpretation has been applied to locate the crop and geospatial modeling has been used to analyze Land Use Capacity (LUC) criteria, agroecological requirements and LUC at 1:5,000. Of the total study surface area, 4.65% is occupied by cocoa crops and of this value 66.03% is in adequate use (AU) and 33.97% in LUC, and the category of UC over lightly used is the most frequent with 17.25% of the total surface in LUC. In the coastal region, the province of Guayas has the lowest LUC in contrast to Los Ríos; the predominant LUC for the crop is Class III 34.32%. The findings show that the LUC of cocoa has a low concordance with the national Agroecological Zoning (AZ), since this model considers the crop in natural conditions, the main limiting factor is the vegetative wet period and does not take into account whether the crop is present in the territory. The use of national AZ information to establish crops could limit their production, since it has been demonstrated that there are cultivated areas that are not in conflict and that are exploited by farmers. This study is replicable to other crops and scalable to any area.

Keywords: cocoa; conflict; coast; Ecuador; land; GIS; use.

Resumen

El cultivo de la cacao es uno de los sectores importantes que contribuyen al PIB de Ecuador. El objetivo es determinar el Conflicto de Uso (UC) de la tierra para el cacao en 71 ciudades de la costa del Ecuador. Se aplicó fotointerpretación para localizar el cultivo y se utilizó modelación geoespacial para analizar los criterios de Capacidad de Uso de la Tierra (LUC), requerimientos agroecológicos y UC a 1:5.000. Del total del área de estudio, el 4,65 % está ocupada por cobertura de cacao y de este valor el 66,03 % se encuentra en uso adecuado (AU) y 33,97 % en UC, siendo la categoría de UC sobre utilizado ligero la más frecuente con un 17,25 % del total de la superficie en UC; en la región litoral la provincia de Guayas presenta el menor UC en contraste con Los Ríos; LUC predominante para el cultivo es de Clase III 34,32 %. Se encontró que el UC del cacao tiene una baja concordancia con la Zonificación Agroecológica (AZ) nacional, ya que este modelo considera al cultivo en condiciones naturales, el principal factor limitante es el periodo húmedo

vegetativo y no toma en cuenta si el cultivo está presente en el territorio. El uso de la información de AZ nacional para establecer los cultivos, podrían limitar su producción, ya que se demostró que existen zonas cultivadas que no están en conflicto y que son aprovechadas por los agricultores. Este estudio es replicable a otros cultivos y escalable a cualquier superficie.

Palabras clave: cocoa; conflicto; costa; Ecuador; SIG; tierra; uso.

1. Introduction

Cocoa (*Theobroma cacao* L.) belongs to the Malvaceae family and is classified as a tropical tree as it's cultivated in the humid tropics of America and Africa; In Latin America, it is present in countries such as Brazil, Ecuador, Peru, Colombia, Venezuela, Trinidad and Tobago and among others (Moreno-Miranda et al., 2020; León-Villamar et al., 2016).

Cocoa, also called gold nugget or food of the gods, is one of the crops that has impacted the social and economic development of Ecuador, even before the establishment of the republic (Chávez Betancourt et al., 2019). There are records of Cocoa production and exportation dating back to 1770 and 1790, respectively, covering more than 253 years of its cultivation in the country; cocoa is used for the manufacture of chocolate and its fat is used for various industrial processes (Abad et al., 2020). In addition, it is relevant to note that agriculture is the second most profitable sector in the country's economy. Of importance, is the cultivation of bananas, flowers, and cocoa, the latter considered a crop with a long tradition in the country (Parada-Gutiérrez & Veloz-Cordero, 2021).

During the period between 1870 and 1930, Ecuador experienced what is known as the second period of the cocoa boom. The province of Los Ríos, characterized by the excellent environment and geographical conditions for the development of the crop, became the epicenter of the cocoa economy because of its quality product, achieving a better price for export (Abad et al., 2020). Briefly, the cocoa booms can be divided into two established stages. The first boom took place between the second half of the 1700s and the first half of 1800 (Acosta, 2006). Lasting almost a century, cocoa was positions as the economic engine of the time. The second boom occurred in 1870 until 1930, and during this period Ecuador became the world's leading producer of cocoa (Chávez Betancourt et al., 2019).

The volume of cocoa production in the country has experienced significant variations throughout the years due to various factors, such as agrarian transformations, the positioning of other crops in the market, the oil boom in 1972, among others (León-Villamar et al., 2016). However, cocoa has been and continues to be a reference in the productive matrix of the country; moreover, Ecuador contributes 65 % of the production of fine aroma cocoa worldwide, because of its unique flavor and aroma (Vargas Pérez et al., 2021).

In the period from 2019 to 2020, a production of 4.7 million tons of cocoa was registered worldwide; the three countries that contributed the most were Ivory Coast, Ghana, and Ecuador, with a production of 2.1, 0.8, and 0.32 million tons, respectively (García-Briones et al., 2021). At the end of 2020, the price of cocoa reached 2,100 dollars/ton in 2020, cocoa exports reached 60,965 million dollars; the agricultural gross added value (VAB) by 2021 was 7.95 %, and 370,931 t of exports of raw and roasted cocoa were registered by 2022, which corresponds to the highest value in the last four years (Vargas Pérez et al., 2021; Agricultural Public Information System [SIPA], 2023).

According to data from the Central Bank of Ecuador (BCE, 2023), the agriculture sector contributed to the country's economy 8,692,343 dollars in 2021, which corresponds to 8.187 % of the national GDP. By 2022, data from the Continuous Surface and Agricultural Production Survey (ESPAC) indicate that Ecuador has 4.66 million ha for agricultural use, of which 1,366,080 hectares are permanent crops, and 43.30 % (591,557 ha) of the total planted area corresponds to the cultivation of cocoa with a production of 337,149 Tm, and sales of 336,587 Tm; the province of Los Ríos accounts for 30.93 % of the cocoa production, followed by Guayas (20.45 %), and Manabí (14.82 %), among the main provinces (National Institute of Statistics and Censuses [INEC], 2022; García-Briones, et al., 2021).

The relevance of cocoa in Ecuador and globally has prompted research to identify the optimal production areas. Agroecological Zoning (AZ) is a methodology that consists of land evaluation on a continental scale through the characterization of land extensions using quantified information on climate, soils, and other physical factors, which are used to predict the potential productivity of various crops according to their specific environmental and management needs. Agroecological zones are defined as territorial units that

have a similar combination of climatic and soil characteristics, and physical potential (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 1996), which help characterize zones to determine their agricultural suitability (Merchán-Benavides et al., 2019).

At the national level, the Ministry of Agriculture and Livestock (MAG), as the governing body, has identified a series of environmental requirements and physical-chemical characteristics of the soil based on the method established by the FAO. This information allowed for the determination of zones with similar combinations of climate and soil, and for the prediction of the potential productivity of cocoa crops according to their agro-ecological requirements (FAO, 1996; MAG, 2020) (see Table 1).

Table 1. Agroecological zoning of cocoa

PARAMETER	AGROECOLOGICAL ZONING CATEGORIES OF THE CROP			
	OPTIMUM	MODERATE	MARGINAL	UNFIT
Slope (%)	Flat (0-2), very soft (2-5), soft (5-12), medium (12-25)	Medium to strong (25-40)	Strong (40-70), very strong (70-100), steep (100-150)	Very steep (150-200), abrupt (>200)
Soil surface texture	Loam, clay loam, sandy loam, sandy clay loam	Silt loam, sandy clay, silt clay, silt clay loam	Loamy, silty sand	Heavy clay, sand, clayey
Effective Depth (cm)	Deep (>100)	Moderately deep (51-100)	Shallow (21-50)	Superficial (11-20), very superficial (0-10)
Stoniness (%)	Null (does not have fragments), very few (<10)	Few (10-25)	Frequent (25-50)	Abundant (50-75), stony - rocky (>75)
Natural drainage	Well	Moderate	Well, Moderate	Excessive, poorly drained
Water table	Profound (>100), no evidence	Medium deep (51-100)	Shallow (21-50)	Superficial (11-20), very superficial (0-10)
pH	Medium acid (5.5-6.0), slightly acid (6.0-6.5)	Almost neutral (6.5-7.5), neutral (7)	Acid (4.5-5.5), slightly alkaline (7.5-8.0)	Very acid (8.5)
Toxicity (AC: Acids - meq/100 ml); (CAR: Carbonates - %)	Null	Light - AC	Average - AC (0.5-1.5), average - CAR (11-25)	High - AC (>1.5), High - CAR (>25)
Organic material (%)	High - Coast (>2), High - Highland (>5.0), High - Amazon (6.0)	Medium - Coast (1.0-2.0), Medium - Highland (3.0-5.0), Medium - Amazon (3.0-6.0)	Low - Coast (<1.0), Low - Highland (<3.0), Low - Amazon (1.5-3.0)	---
Salinity (ds/m)	Non-saline (<2.0)	Slightly saline (2.0- 4.0)	Saline (4.0-8.0)	Very saline (8.0-16.0), extremely saline (>16.0)
Soil Fertility Level	High	Half	Low, very low	---
Temperature range (°C)	24-26	21-24	18-21	<18 y >26
Vegetative Humid Period (Days)	210-270	180-210 / 270-300	160-180 / 300-365	<160
Precipitation (mm)	1,800-2,600	2,600-3,200 / 1,500-1,800	1,200-1,500 / 3,200-3,800	<1,200 y >3,800
Altitude (m.a.s.l.)	0-500	500-1,000	1,000-1,500	>1,500

Source: MAG, 2020. Own elaboration

In addition, since 2022 the Military Geographic Institute (IGM) has been carrying out the project “Determination of the reception capacity of the territory for urban development purposes through the generation of thematic geoinformation at a scale of 1: 5000” which has provided useful geospatial information about Ecuador, such as Land Use Land Cover (LULC), Land Use Capacity (LUC) and Land Use Conflict (UC). Based on these investigations, there is information about the location of cocoa crops and their limitations in the territory.

It is important to know how the aforementioned geospatial information is defined; LULC mapping and change detection allows us to evaluate the impact of human activities on the earth’s surface; in this way, the Land Use (LU) map refers to the human activities that take place in a certain portion of the territory, such as agriculture, forestry, urbanization, transportation, and recreation (García-Álvarez et al., 2022). Land Cover (LC) indicates physical and biological cover, such as forests, grasslands, wetlands, bodies of water, and urban areas; LULC mapping allows us to understand the changes that occur on the earth’s surface and their impacts on the environment and ecosystems (Amini et. al, 2022).

The development of timely and accurate LULC maps is important for a variety of applications such as urban and regional planning, risk and disaster monitoring, natural resources, environmental management, and food security. LULC mapping can help address several significant large-scale challenges, such as global warming, accelerating species habitat loss, unprecedented population migration, increasing urban sprawl, and growing inequality within and between nations (Szarek-Iwaniuk et al., 2022; Zhang & Li, 2022).

LUC refers to the ability of a portion of the territory of the earth's surface to support different uses, such as agriculture, forestry, and urban development, among others, based on its physical and chemical properties (García-Álvarez et al., 2022). The Land Capacity Classification (LCC) system, evaluates if the land is suitable for different uses, considering factors such as the type of soil, slope, drainage, and climate; this system assigns certain classes to the land according to the degree of specific soil limitations, such as erosion, excess moisture, problems in the area due to biotic factors, and climatic limitations (Quandt et al., 2020). It is also important to consider geology, hydrography, and topography, as these features limit the extent of land accessible for various purposes (Gebrehana et al., 2018).

UC can be defined as the phenomenon of spatial competition and conflict of interest between humans and land, that is, situations in which different land uses compete for the same space or resources, which generates tension, disputes, and negative impacts on the environment, the economy, and society. These conflicts can arise between different types of land uses, such as agriculture, forestry, fisheries, and urbanization, as well as between different stakeholders, such as farmers, developers, and environmentalists. Land use conflicts often arise from competing demands for limited resources, such as land, water, and energy, and are exacerbated by factors such as population growth, urbanization, and climate change (Zou et al., 2021).

According to Fienitz & Siebert (2022), land use conflicts often arise from competing claims over access to and control of land and natural resources, as well as conflicting perceptions of land use practices and their impacts on the environment and society. These conflicts can be complex, emotional, and challenging for the local stakeholders involved, and require effective communication, collaboration, and participatory processes to resolve them and achieve sustainable land use outcomes (Fienitz & Siebert, 2022). By way of example, consider population growth; the world population has grown from 2.6 billion in the 1950s to 7.7 billion, and is expected to reach approximately 9.7 billion by 2050 (Hemati et al., 2021). As a result, there is an increased demand for resources such as energy, food, housing provision, water supply, transportation, and health. Therefore, said demand entails the exploitation of natural resources and hence, the change of the earth's surface along with adverse effects on the environment and ecosystems.

For example, according to Amini et al., (2022), an abrupt change in urban structures was observed from 1985 to 1993, during that period, the built-up area extended from 18,595.7 to 41,538.94 ha, so urban growth has an annual average that oscillates between 0.51 % and 0.86 %. In an alternative example, it was observed that a disorderly agricultural production model that does not consider the physical, chemical, and biological characteristics of the soil results in low production, generating a conflict in land use and consequently a loss for the farmer (Flores Guzmán, 2018).

It is relevant to know the use of Geographic Information Systems (GIS) in the analysis and management of conflicts over land use. According to Jing et al. (2021), as well as Fienitz and Siebert (2022), a GIS can provide a platform to integrate and analyze various spatial data, such as land cover, land use, soil physicochemical characteristics and topography, which are important factors in assessing the suitability of the soil for different uses. By overlaying and analyzing these data layers, GIS can help identify areas where different land uses may compete for the same resources, such as water, land, or ecosystem services.

Thus, these systems can support the development of multi-criteria decision-making frameworks to assess the suitability of land for different uses, this involves weighing and combining different criteria, such as environmental, economic, and social factors to identify the most appropriate land use options for a particular area; GIS can help automate and streamline this process, enabling faster and more efficient decision-making (Jing et al., 2021).

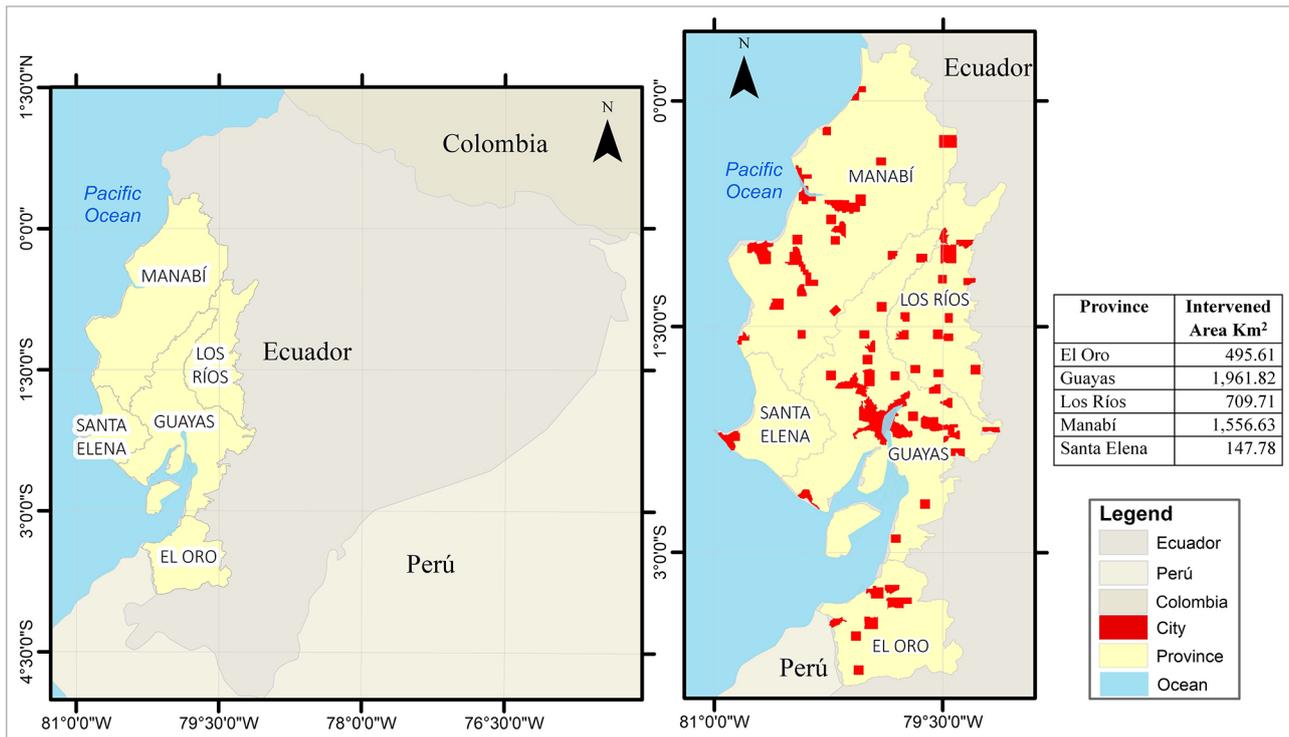
The AZ identifies potential or limited areas for cocoa production, but does not consider the use conflicts of already established crops; moreover, the detail of the cartography generalizes the information, which could imply the lack of use of areas suitable for the crop. In accordance with the preceding, the present work aims to determine the UC of the land for cocoa cultivation in 71 cities on the coast of Ecuador, using the LUC methodology, photo-interpretation, and agroecological requirements for production, through geospatial technologies for the construction of geo-information at a scale of 1: 5,000 for informed decision-making by producers and authorities who manage and plan the territory.

2. Methodology

2.1. Study area

The study area is located in the country of Ecuador (continental platform) located between latitudes 1°30' N and 5° S and longitudes 75° 2' W and 81° W, the intervention areas are located in the coastal region, covering 71 cities belonging to the provinces of El Oro, Guayas, Los Ríos, Manabí and Santa Elena. The study surface includes 4,852.79 km² with an average of 43.07 km², a maximum of 416.79 km², and a minimum of 24.76 km², the area of interest starts from the consolidated area of each city and extends up to cover the average area that expanded or reduced according to the cantonal limits (see Figure 1).

Figure 1. Location map of the study areas



Source: IGM, 2023. Own elaboration

The coastal zone of Ecuador is made up of three climatic regions. The Tropical mega-thermal semi-arid region has rainfall of less than 500 mm/year and an average annual temperature of 23.4 °C; the tropical dry to semi-humid mega thermal region has rainfall ranging from 500 to 1,000 mm/year and an average annual temperature above 24°C; and the humid tropical mega thermal region has rainfall between 1,000 to 2,000 mm/year, the average annual temperature fluctuates around 25°C (Pourut, 1983; Cedeño & Donoso, 2010; Varela & Ron, 2018).

The intervened cities in the coastal region are characterized by a series of environmental variables that influence the formation of unique ecosystems. Climatic factors, such as temperature and precipitation, as well as proximity to the coastline and topography that varies from altitudes close to sea level to elevations above 910 m.a.s.l., play a fundamental role in determining the distribution and composition of the ecosystems, among them, we can mention the desert shrubland, the deciduous shrubland, the deciduous forest, the semideciduous forest, the seasonal evergreen forest, the piedmont evergreen forest, the riparian floodplain grassland, the flooded lake and mangrove (Ministry of Environment [MAE], 2013; Watkins, 2023).

2.2. Supplies

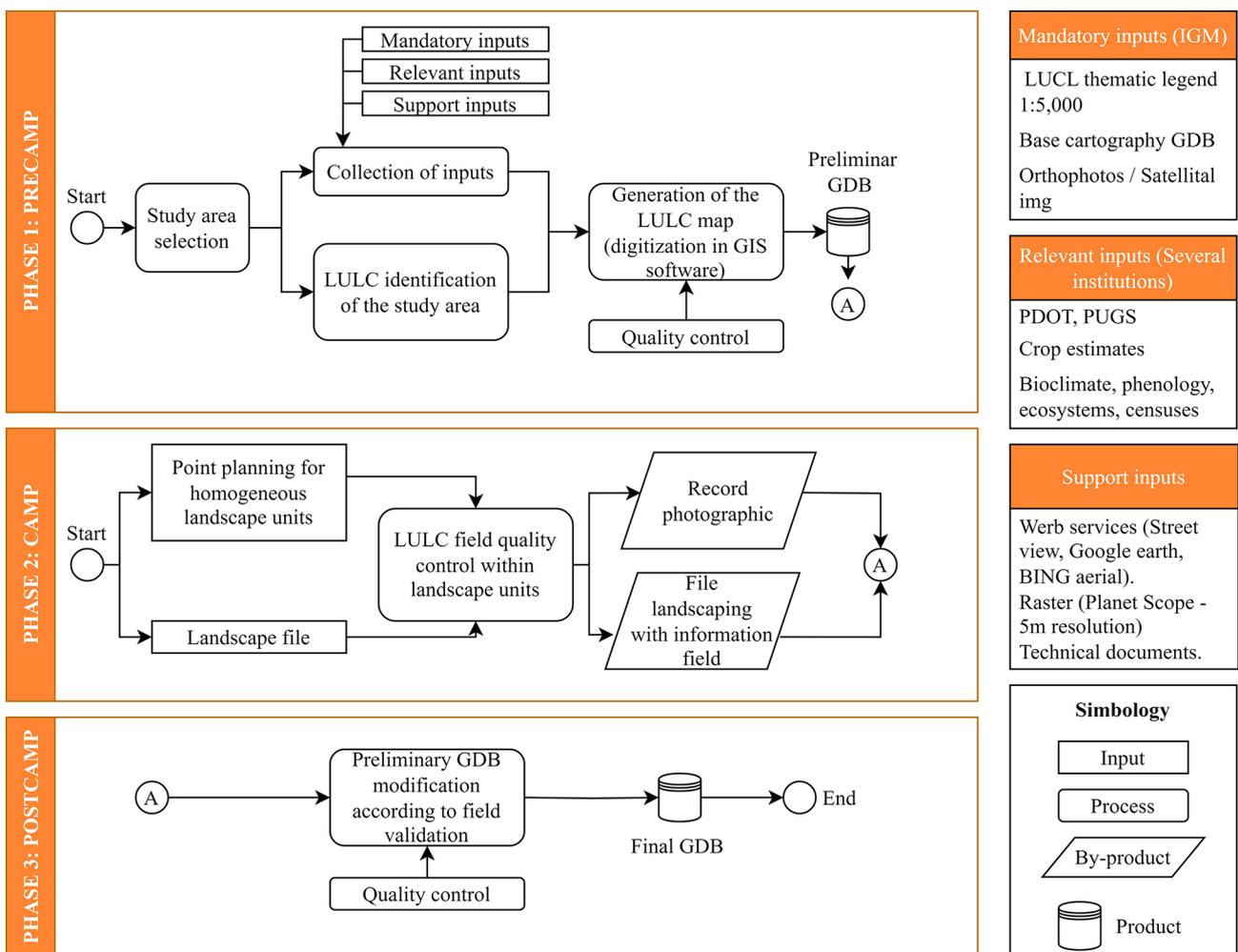
The inputs used belong to the IGM and include orthophotos and satellite images collected with a spatial resolution that varies from 10 cm to 50 cm, and with an average pixel size of 30 cm. These range values allow for the construction of cartographic products at scale 1:5,000, where the required spatial resolution is 50 cm and with a minimum mappable area of 400 m² (IGM, 2016, 2022a). The 89.8 % of the inputs have a

temporal resolution ranging from 2018 to 2022, and 10.2 % have a resolution earlier than 2018. Other inputs collected are the aforementioned LULC and LUC maps, which are part of the projects: Determination of the Reception Capacity of the Territory (CA) for urban development purposes through the generation of thematic geoinformation at a scale of 1:5,000 and Generation of geospatial information at a scale of 1:5,000 for the determination of the physical aptitude of the territory and urban development that are executed by IGM (2023).

2.3. Land cover and use flowchart

It is necessary to consider that the concept of LU and that of LC, although related, are technically different (Nedd et al., 2021). LC refers primarily to direct observation of terrestrial ecosystems, natural resources, and habitats on the earth's surface, while LU generally describes a certain type of soil produced, modified, or maintained by human arrangements, activities, and inputs. LU refers to the intended use of a portion of the land, but LC specifies its patterns and characteristics. It is important to note that most maps only provide information on land cover. In other cases, they focus on the land use of certain specific covers, such as artificial or agricultural areas, thus providing LULC data. This is the reason why information on land use and land cover is usually shown, as these two aspects tend to be combined within the same data sets (Figure 2) (García-Álvarez et al., 2022; Zhang & Li, 2022).

Figure 2. Land cover and use flowchart



Own elaboration

After the brief clarification of the LULC, it should be considered that in the present study, a map has been prepared that covers both land cover and land use; it was developed in three specific phases. The first phase begins with the collection of official and secondary inputs. According to the Agustín Codazzi Geographic Institute (IGAC) (2021), three types of information must be gathered: mandatory inputs (necessary for photointerpretation and digitization of coverage of interest), relevant inputs (provide context, criteria, and help

in decision-making) and support inputs (complement or verify technical and thematic criteria). This collected data, contributes to the process of identifying specific crops and other coverages. Immediately afterward, the digitalization of the coverages is carried out according to the photointerpretation, a process that consists of the visual interpretation of shapes, colors, and textures that are associated with a particular coverage, with which a preliminary map is obtained.

After the first phase, there is the camp phase, in which validation is carried out in the territory of the study area. This process consists of capturing the coordinates of the coverage observed in the territory within a landscape unit. The latter, is delimited spatially by the geomorphological unit and qualitatively by characteristics of the phenosystem and cryptosystem. Lastly, in this phase, the digitized coverage is updated according to the observed change. The quality control process is carried out continuously in all phases, this process consists of control of completeness, omissions, logical consistency, and thematic, temporal, and spatial accuracy.

2.4. Land use capacity flowchart

The creation of the LUC map follows four phases: 1) identify the spatial analysis unit that corresponds to the geomorphological unit belonging to the geomorphology map of the CA project, a theme that stores the morphogenetic, morphological, morphodynamic characteristics, geology, type of deposits and geological factor; 2) correlate the physical, chemical and biological characteristics of the soil with the geomorphological unit; 3) classify the geomorphological units based on erosion, soil, humidity, and climate factors. These are detailed in ten parameters that can be limiting depending on the category; if the limitation is severe, it is enough to reclassify the unit into the next class with the lowest potential regardless of the degree of the other limitation, as described in Table 2 (IGM, 2022b).

Table 2. Criteria to determine the Land Use capacity

Variables	Classes of Capacity of Use							
	Agriculture and other arable uses				Little risk of erosion	Forest use or for conservation purposes - Non-arable		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Slope (%)	<5	≤ 12	≤ 25	≤ 40	≤ 12	≤ 70	≤ 100	Xi
Effective depth (cm)	>100	>50	>20	>20	Xi	>20	>20	Xi
Surface texture	Group 1	Group 1, 2	Group 1, 2	Group 1, 2	Xi	Xi	Xi	Xi
Stoniness (%)	≤ 10 (very few)	≤ 25 (few)	≤ 25 (few)	≤ 25 (few)	≤ 50 (up to frequent)	≤ 50 (up to frequent)	≤ 75 (until abundant)	Xi
Salinity (dS/m)	< 2 (not saline)	< 2 (not saline)	(slightly saline)	(slightly saline)	(until very saline)	(until very saline)	(until very saline)	Xi
Acidity or carbonate toxicity	without or null	None or none and light	None or none, light and medium	None or none, light and medium	Xi	Xi	Xi	Xi
Sewer system	Well	Good and moderate	Excessive, moderate and good	Excessive, moderate and good	Xi	Xi	Xi	Xi
Flood periods	Without or very short	Without or very short	Without or very short and short	Without or very short and short	Without or very short, short, medium and long	Without or very short and short	Without or very short, short and medium	Xi
Soil moisture regimes	Udic	Udic and Ustic	Udic and Ustic	Udic and Ustic	Xi	Udic, Ustic and Perudic	Udic, Ustic, Perudic and Aridic	Xi
Soil temperature regimes	rt1	rt1	rt1	rt1	rt2	rt2	Xi	Xi

Textures: Group 1: Loam, sandy clay loam, sandy loam, silt loam, silt clay loam, clay loam, and silt. Group 2: Loamy sand, sandy-clay, silty-clay and clayey. Group 3: Sand (very fine, fine, medium, and coarse). Group 4: Heavy clay. Soil temperature regimes: Isohyperthermic and isothermal (rt1), Isohyperthermic, isothermal and isomeric (rt2). Any Xi.

Categories I and II have slight to no limitations, classes III and IV have light to moderate limitations, category V has strong to very strong limitations, and categories VI, VII, and VIII have very strong limitations.

Source: IGM, 2022b

2.5. Land use conflict flowchart for Cocoa cultivation

To determine the UC for cocoa cultivation, geospatial technologies were applied together with a spatial analysis. This approach facilitated the evaluation of complex variables in a graphical and easily interpretable format. Overlapping the LULC and LUC coverage aids in determining the UC concerning the cocoa cultivated area and its agroecological requirement. In addition, it contributes in delimiting the area, quantifying the surface, and categorizing the type of conflict as underutilized, overutilized, or appropriately used. In order to characterize the UC, the following criteria are considered: 1) the biophysical offer expressed by the land use capability; 2) the current demand, expressed as current land cover and use; 3) the classes of conflicts according to their degree of intensity; and 4) the needs for land conservation and recovery (IGAC, 2014; Buzai & Baxendale, 2010).

Once the aforementioned processes were applied, a decision matrix was used to evaluate concordance, compatibility, or discrepancy about the land use through the process of orderly confronting each pair: the use capability - current use. Table 3 below presents the decision matrix created to determine the UC. This matrix is adapted from the decision matrix used to determine conflicts of use in expansion areas, as detailed in IGM (2022b); therefore, the coverage of interest is located in the OTMP column (object plus temporality). In this study case, the cocoa crop was determined as a permanent crop and from this premise, the LUC classes were obtained for the categories: Adequate Use (AU), Light overused (LO), Moderate Overused (MO), and Severe Overused (SO).

Table 3. Decision matrix extract to determine conflict of use

Decision matrix extract to determine UC									
Use and Cover	LUC Classes								
OTMP (Object + Temporality)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Not apply
Native forest	U	U	U	U	AU	AU	AU	AU	NA
Annual crop	AU	AU	AU	LO	MO	MO	SO	SO	NA
Semi-permanent crop	AU	AU	AU	AU	LO	LO	SO	SO	NA
Permanent crop	AU	AU	AU	AU	LO	MO	MO	SO	NA

Adequate Use (AU), Light overused (LO), Moderate Overused (MO) and Severe Overused (SO), Underutilized (U), Not apply (NA).

Source: IGM, 2022b

2.6. Data normalization

Data normalization is an information preprocessing task and one of the first to be performed during intellectual analysis, particularly in the case of tabular data. This process consists of scaling or transforming the data to ensure an equal contribution from each feature (Izonin, et al., 2022; Singh & Singh, 2020). In this case study, the data was normalized through the use of the maximum value within the range of the variables of interest (simple normalization as detailed in equation 1), which consisted of the area of the cities and the surface of cocoa present in each city; this resulted in two normalization factors that were multiplied by the LUC and UC values of each study area. This procedure prevented the comparison between cities with a large area of cocoa crops and minimal territorial size, and those cities with a smaller cocoa crop area but a larger territorial expanse.

$$Value_{normalized} = \frac{value}{maximum\ value} \quad (1)$$

2.7. Cross tabulation of LUC and AZ cartographic models

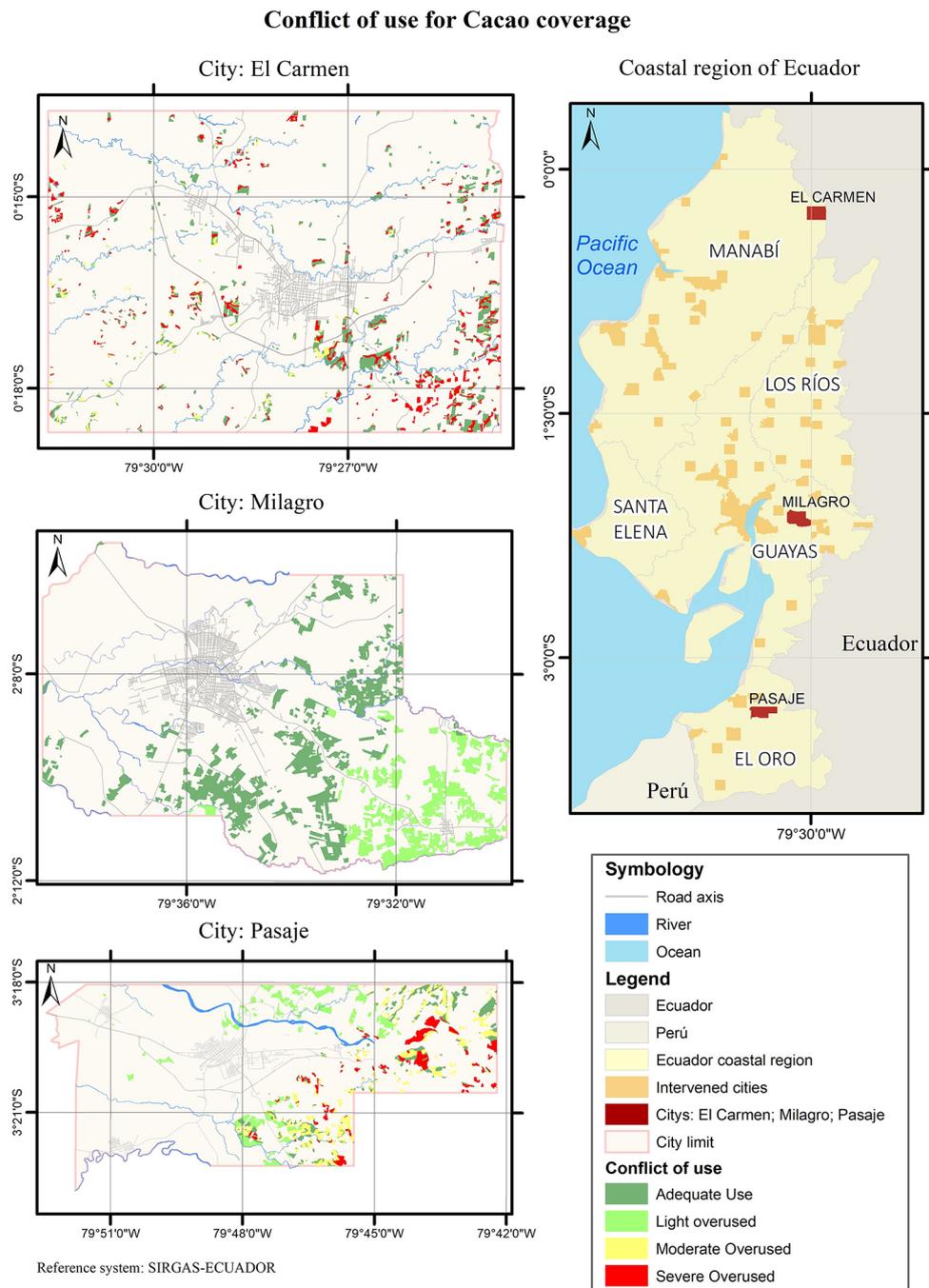
To make the comparison between LUC and AZ, a cross-tabulation was used. As detailed in Eastman (2012), this process facilitates the identification of changes between pairs of images, that is, it displays the frequencies within which the classes of each input have remained the same, thus providing detailed information about the changes between classes and their respective calculation of area. To carry out this process, the cities were grouped according to the province they belong. Consequently, raster with LUC and AZ datasets were used as inputs, both with the cities grouped at the level of administrative political division mentioned.

3. Results

Of the 100 % of the study area (4,852.79 km²), 4.65 % is occupied by the cultivation of cocoa (226.076 km²). Of the provinces of the Ecuadorian coast, Los Ríos stands out with 94.358 km² (41.74 %) of cocoa crops and, in second place, Guayas with 79.273 km² (35.06 %). Of the 71 cities identified, 13 cities do not have cocoa crops within the defined area, because they consider the built-up area as the epicenter and extend an average of 43.07 km², leaving out other areas that can be occupied for cultivation and can modify the results.

Of the cocoa cultivation area present in the 53 cities, it was identified that Naranjal (11.15 %, 2,522.24 ha), Milagro (9.28 %, 2,097.65 ha), Montalvo (8.35 %, 1,886.61 ha), San Jacinto de Buena Fe (8.19 %, 1,852.36 ha) and Quinsaloma (8.09 %, 1,829.46 ha) are the cities with the largest cocoa cultivation area identified in the territory in the area study.

Figure 3. Extract of cartographic models of the conflict of use of Cocoa in 71 cities of the coast of Ecuador



Source: IGM, 2023. Own elaboration

Of the 226,076 km² of cocoa cultivation based on land use capacity, it was identified that Class III (34.32 %, 77.6 km²), Class II (25.86 %, 58.46 km²), and Class V (17.25 %, 39.009 km²) are the most predominant.

The most representative values for each UC category, based on the normalization scale over 100 points (pts) and the analyzed provinces, resulted in the following classification: Class I (Los Ríos 2.27 pts, 5.92 km²), Class II (Guayas 22.26 pts, 21.008 km²), Class III (Guayas 38.84 pts, 36.64 km²), Class IV (Guayas 1.30 pts, 3.38 km²), Class V (Guayas 17.75 pts, 16.74 km²), Class VI (Los Ríos 3.07 pts, 8 km²), Class VII (El Oro 0.82 pts, 3.06 km²), Class VIII (Los Ríos 4.76 pts, 12.4 km²).

Of the 53 cities with the presence of cocoa cultivation, it was identified that the most representative values for each TSA category based on the normalization scale over 100 pts are the following: Class I (Montalvo 2.29 pts, 4.82 km²), Class II (Naranjal 7.22 pts, 15.16 km²), Class III (Milagro 16.85 pts, 61.59 m²), Class IV (Quevedo 1.15 pts, 78.04 ha), Class V (Milagro 10.504 pts, 8.05 km²), Class VI (Quinsaloma 1.79 pts, 4.77 km²), Class VII (Passage 3.17 pts, 2.85 km²), Class VIII (El Carmen 2.802 pts, 2.45 km²).

Of the 226.076 km² of cocoa cultivation according to the UC, it was identified that: the area of adequate use corresponds to 14,928.73 ha (66.03 %), the area of the severe overused category is 2,230.31 ha (9.87 %), the area of moderate overuse is 1,547.28 ha (6.54 %) and the area of light overuse is 3,900.95 ha (17.25 %) (Index of cities see Annex 1, Annex 2, Annex 3, Annex 4).

The most representative values for each UC category, based on the normalization scale over 100 pts, and the provinces analyzed are: adequate use (Guayas; 63.34 pts; 5,973.84 ha), severe overuse (Los Ríos; 4.76 pts; 1,240.50 ha), moderately overused (Los Ríos; 3.08 pts; 803.47 ha) and slightly overused (Guayas; 17.75 pts; 1,674.70 ha).

Of the 53 cities with the presence of cocoa cultivation, it was identified that the most representative values for each category of UC, based on the normalization scale over 100 pts are the following: adequate use (Milagro; 16.85 pts; 1,292.11 ha), severe overuse (El Carmen; 2.80 pts; 245.84 ha), moderate overuse (Pasaje; 4.71 pts; 423.72 ha) and light overuse (Milagro; 10.50 pts; 805.40 ha) (See Figure 3).

4. Discussion

At the national level, Ecuador has an AZ at a scale of 1: 25,000 carried out in 2020. In this project, four types of zones are determined for the cultivation of cocoa, based on their specific climatic and edaphic requirements (FAO, 1996). They consist of optimal zones, which are comprised of surfaces where the natural conditions of soil, landforms, and climate are well-suited for the cultivation of cocoa; moderate zones, which are surfaces where the aforementioned conditions present slight limitations and could be improved with adequate management practices; marginal zones, which are areas that present considerable limitations in the conditions, which entails difficulties in the establishment and normal development of the crop in natural parameters; finally the unsuitable zones, where the crop cannot be established in the natural parameters (MAG, 2020).

By using the agroecological zoning map proposed by MAG (2020), it was possible to identify an area of 219.48 km² of agroecological zones for the cultivation of cocoa, which coincides with the study area. However, there is a difference of 6.59 km² which lacks information regarding the surface of the crop present in the territory, since the methodology applied by the MAG did not consider the areas delimited for protection and conservation purposes, such as Forests and Protective Vegetation (FPV), sites Ramsar, State Forest Heritage (SFH), State Natural Areas Heritage (SNAH), Intangible Zones, among others.

Of the 219.48 km² of cocoa cultivation according to MAG (2020), the following areas were identified: moderate (13.71 %; 30.09 km²), marginal (33.68 %, 73.93 km²), and unsuitable (51.13 %, 112.22 km²). The most representative values for the agroecological zone based on the normalization scale over 100 pts, and the provinces analyzed are: moderate (Los Ríos; 9.86 pts; 25.04 km²), marginal (Los Ríos; 20.93 pts; 53.18 km²), not suitable (Guayas; 64.37 pts; 60.66 km²).

To make a comparison between the results obtained by both methodologies, a cross-validation spatial analysis was carried out, which allows identifying the spatial relationship between the MAG (2020), products and the one proposed in this research, so that category changes are identified. For this process, the categories were normalized (see Table 4).

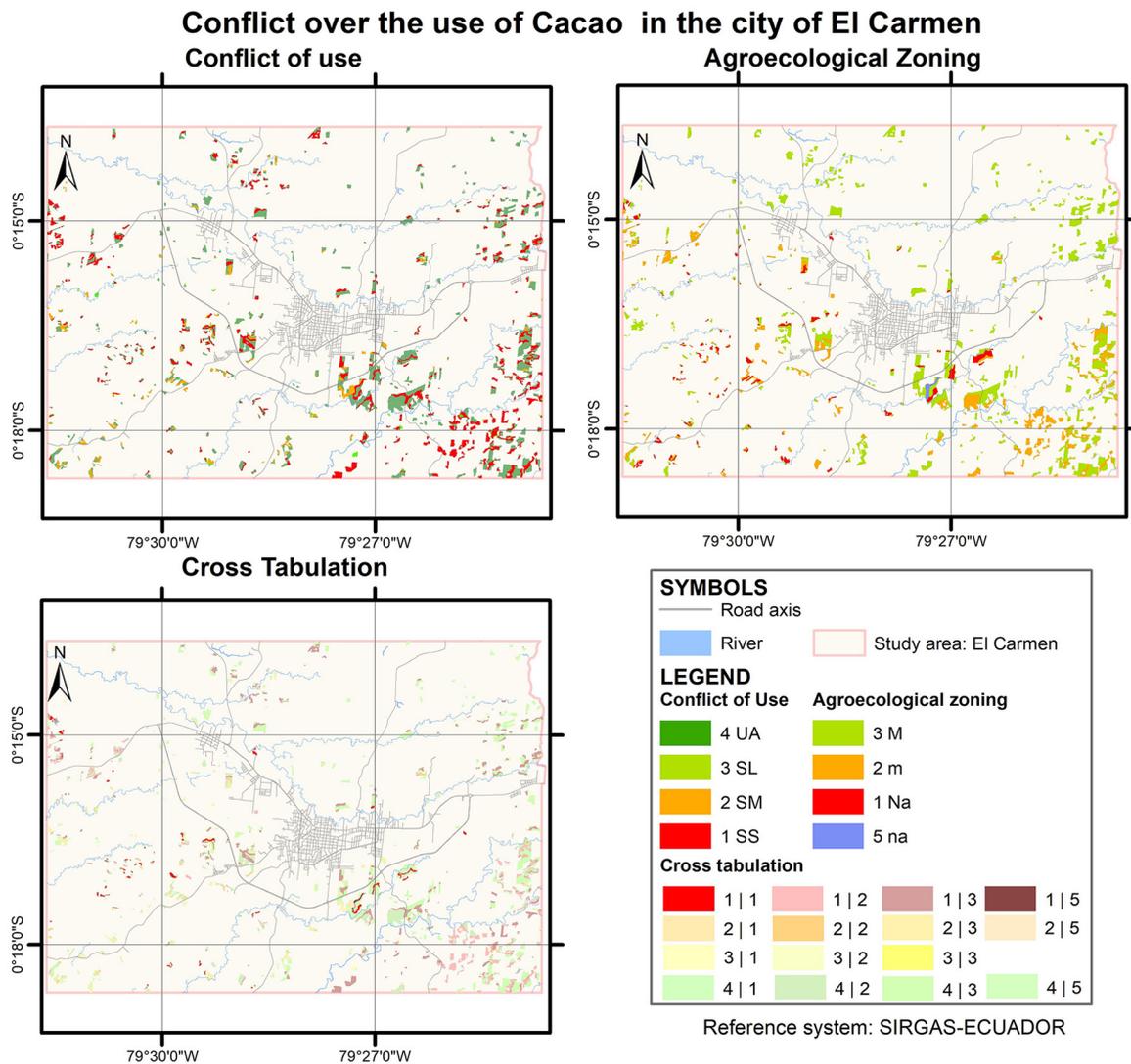
Table 4. Codes identifier

Code	UC	AZ
1	Severe Overused (SO)	Not suitable (NS)
2	Moderate Overused (MO)	Marginal (m)
3	Light Overused (LO)	Moderate (M)
4	Adequate Use (AU)	Optimum (Op)
5	Not Apply (NA)	Not apply (na)

Own elaboration

As a result of the spatial analysis, it was identified that there is a coincidence of code 1 (2.49 %; 520.32 ha), code 2 (2.35 %; 492.03 ha), and code 3 (0.66 %; 139,33 ha); and a variation of 94.48 % (19,737.68 ha). The most significant changes for each of the provinces are the following: El Oro (code 4 to 1; 57.24 %; 1,534.12 ha), Guayas (code 4 to 1; 55.56 %; 4,351.79 ha), Los Ríos (code 4 to 2; 41.701 %; 3,790.91 ha), Manabí (code 4 to 2; 19.99 %; 256.995 ha) and Santa Elena (code 3 to 1; 81.03 %; 1.05 ha).

Figure 4. Comparison of the conflict of use of cocoa, extract (El Carmen city)



Source: IGM, 2023. Own elaboration

Based on the results shown above, it is interpreted that the coincidences between both categories have a maximum of 2.49 %. This discrepancy may be the result of the difference between the scales of the

products and the temporality of the inputs used for the elaboration of the ZA. The methodology developed by MAG (2020), predicts the optimal production areas of the crop at the national level under natural conditions, based on cartographic variables regardless of whether or not the crop is present. In contrast, this proposal determines the areas where the crops are already established, based on the interpretation of various inputs and by defining the type of conflict that the zones have. It is worth mentioning that while the ZA employs continuous data, the proposal presents a discrete characteristic. Nonetheless, it is crucial to have this comparison to identify the suitability of each product. Figure 4 shows an extract from a city (El Carmen) to exemplify the comparative spatial analysis between what was developed by the present investigation, and what was carried out by the Agroecological Zoning. It is observed that there is a coincidence between category 1|1 of 2.51 %, 2|2 of 1.30 %, 3|3 of 0.78 % and 95.41 % present some change between categories, the most significant is 4|3 with 36.82 % and it is followed by 1|3 with 19.11 %.

In general, a producer decides the use that he will give his land following parameters such as market demand, influence of the environment, experience, and they do not have defined long-term planting plans (Pedemonte et al., 2014). They are unaware that there is information indicating the areas with the optimal agroecological requirements for the development of each crop, which may be a consequence of the low coincidence between the optimal zones of the ZA and the CU, (Osty, 1978), mentions that agricultural exploitation comprises an organized whole that considers the objectives and opinions of the producers and that moves away from the simple and uniform criteria of optimization. Likewise, there are regulations in the country that define the use that should be given to rural land; it must be destined for agro-productive activities that are respectful of the environment as stipulated by the law “*Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión De Suelo*” (LOOTUGS) (LOOTUGS, 2016). Therefore, its use and occupation must be oriented through the cartographic information generated considering the capability of the soil and its suitability for the crop.

It is worth mentioning that the AZ considers cocoa production under natural conditions and the main factor that determines that the coincident zones in the study area are marginal and not optimal is the duration of the growth period (DGP) or vegetative period. This refers to the number of days where crop production is favorable under optimum humidity and temperature conditions (FAO, 1996). It is not exclusive; it is a guide where the areas that do not require any adaptation are indicated and the crop can be implemented. In the study area, these days are in different ranges that go from 50 to 290 days (Figure 5 and Figure 6), coinciding in the unsuitable areas with the lowest values. To correct this limitation, management practices can be carried out, such as irrigation, drainage, and shading systems.

Figure 5. Comparison of cocoa crops in the cities of Valencia and Santa Rosa

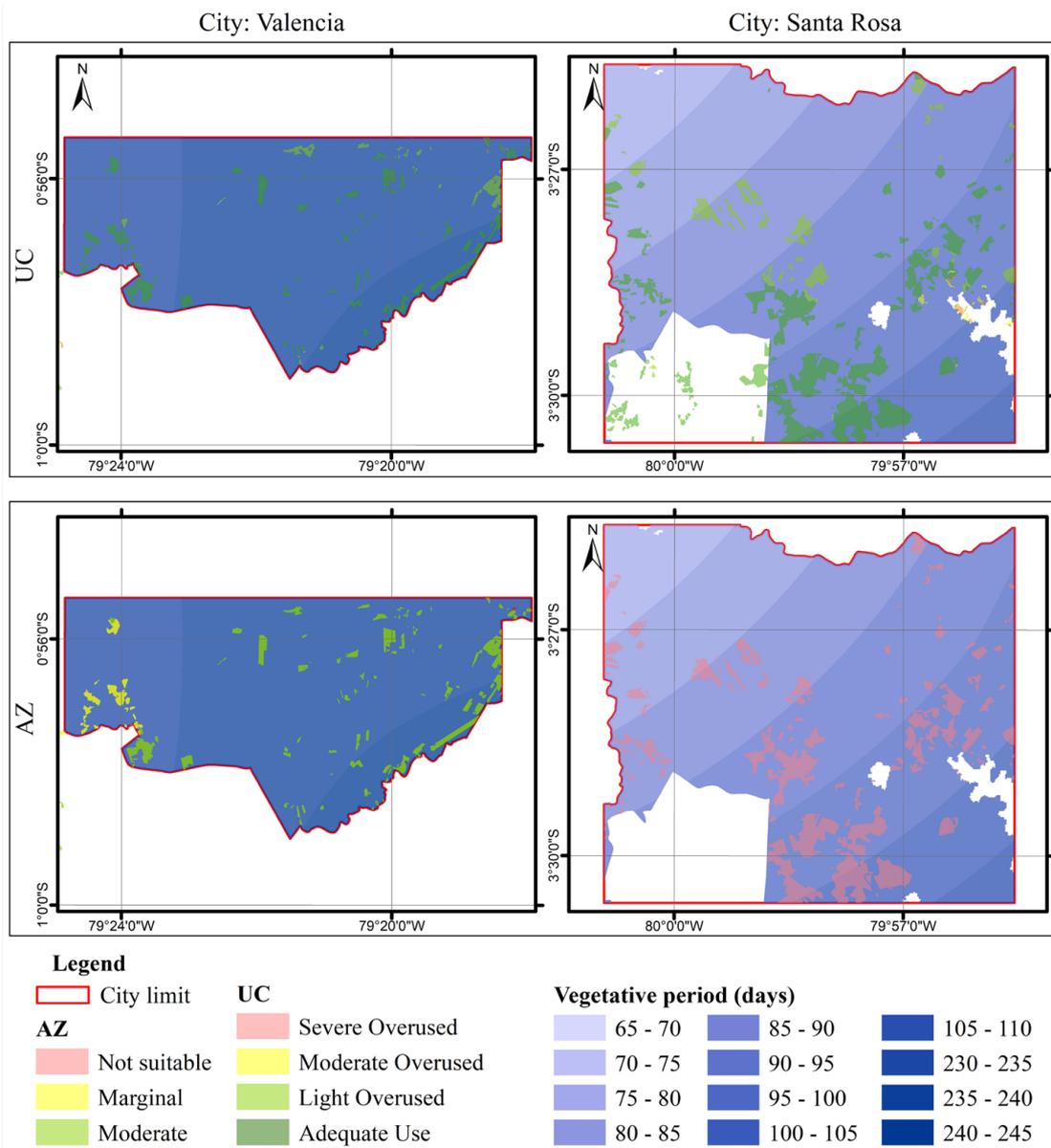


a) Valencia [DGP > 230 days; visually favorable conditions for the plant, presence of weeds that indicate higher soil moisture] and b) Santa Rosa [DGP < 160 days, less favorable conditions for the plant which makes it necessary to implement agricultural practices].

Authors' photograph

Likewise, there is another factor that influences the dilemma between AZ and our model. In the case of Naranjal, Milagro, and San Jacinto de Buena Fe, their biophysical conditions determine that the soil has an adequate use for the establishment of permanent crops, but in the specific case of cocoa, the effective depth (<1 m) is the limitation for its development in optimal conditions. This is due to the fact that in areas with high rainfall the roots need to give stability to the plant, and in areas with prolonged dry seasons the roots need to access soil moisture at depths greater than 1 m (Ibarra, 2019). Even though cocoa can adapt to various types of soils, it is recommended that these be light and with an effective depth of not less than 1.5 m that allows adequate development of the root system (Paredes et al., 2022; Suárez et al., 1994).

Figure 6. Comparison of the DGP of cocoa cultivation between the cities of Valencia and Santa Rosa



Source: IGM, 2023; MAG, 2020. Own elaboration

5. Conclusions

In the cities analyzed, there is a maximum of UC corresponding to the category of light overuse (3,900.95 ha; 17.25 %), in contrast to adequate use (14,928.73 ha; 66.03 %). The surfaces in proper use are concentrated in the LUC categories (Class I to IV) which are equivalent to 66.03 %. On the other hand, there is a conflict of 33.97 % that groups the crop surfaces in classes V to VIII that present severe agricultural limitations, mainly the effective depth, steep slopes, and stoniness.

In the study area according to the AZ, there is a maximum unsuitable area (112.22 ha; 51.13 %) followed by marginal areas (73.93 ha; 33.68 %). These categories are because, in the study area, there are biophysical and agroclimatic parameters, among others, that are not consistent with the agroecological needs for cocoa crop. The most influential is the humid vegetative period whose areas with values less than 160 days are considered unsuitable; likewise, the effective depth must be greater than 100 cm for the correct development of the crop. It is important to emphasize that marginal and unsuitable areas do not indicate the non-establishment of the crop, since agricultural or agroecological practices can be established, such as soil conservation, improvement of its physical parameters (pH, electrical conductivity, salinity, addition of nutrients), use of organic matter, and construction of terraces, among other processes.

From the cross-validation geospatial analysis, it is obtained that there is only a 5.51 % concordance between the categories of both products: code 1 (2.49 %; 520.32 ha), code 2 (2.35 %; 492.03 ha) and code 3 (0.66 %; 139.33 ha); therefore, there is a 94.49 % surface that varies between categories, so that the most representative is the change of appropriate use to areas considered marginal or unsuitable, and about the aforementioned, they are not necessarily areas in which the crop could not be established in a mandatory manner. Consequently, this research underscored the critical relevance of having detailed information about a territory to make decisions suitable to its characteristics. If the information were used at smaller scales, the expected result would not reflect the particularity of the territory.

If the farmers were to use the national AZ information to implement cocoa crops, they could limit their production, since this research showed that there are already cultivated areas that are not in conflict and that are used by farmers.

The present research is not limited to the study area, due to its flexibility and practicality, since the methodology is scalable to other surfaces not analyzed and replicable to other types of crops by modifying their agroecological requirements.

In order to improve the analysis and to adapt it to the farmer's reality, it is suggested to incorporate other criteria focused on the study of the characteristics of the variety of the cultivated species, other physical-chemical requirements necessary for its correct development, integrated management of important pests and diseases, and the farmer's capabilities. It is interesting to incorporate these criteria in future research in order to provide additional data for informed decision making.

Annexes

Annex 1 describes a table with the values of the intervened surface in the 71 cities of the coastal region, the total area of cocoa cultivation photo-interpreted for each study area and the amount of surface that is in conflict according to its category.

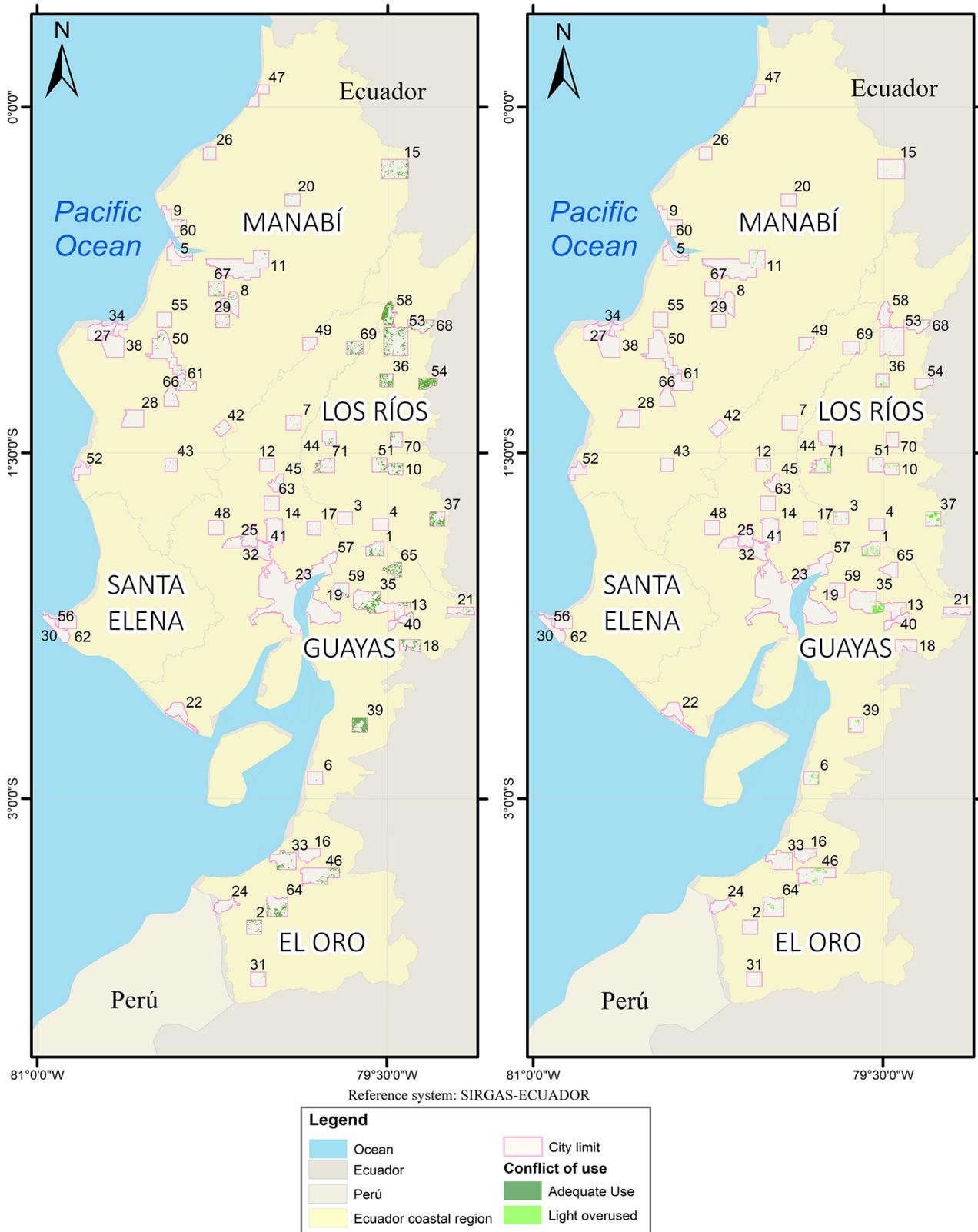
Annex 1. Cocoa area in Ecuador's coastal cities

Index	City	Area [ha]	Cocoa area [ha]	UC [ha]				
				LO	MO	SO	NA	AU
1	Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan)	5,107.60	579.78	227.04	0.00	0.23	0.00	352.51
2	Arenillas	5,005.00	387.99	29.04	36.58	48.15	0.00	274.22
3	Baba	4,298.95	69.22	69.11	0.00	0.11	0.00	0.00
4	Babahoyo	4,370.76	5.43	5.36	0.00	0.00	0.07	0.00
5	Bahía De Caráquez	5,758.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Balao	4,376.01	327.27	314.55	0.41	3.70	0.00	8.60
7	Balzar	5,005.00	32.06	0.00	2.28	0.52	0.00	29.25
8	Calceta	7,036.61	217.87	27.63	21.81	6.06	0.00	162.36
9	Canoa	6,732.70	22.98	2.11	0.00	0.01	0.00	20.86
10	Catarama	3,871.88	489.46	88.99	0.40	3.15	0.00	396.91
11	Chone	22,985.94	241.57	130.42	41.77	25.47	0.00	43.91
12	Colimes	4,319.31	42.41	41.53	0.00	0.00	0.00	0.88
13	Coronel Marcelino Maridueña	4,859.77	69.02	22.64	0.00	0.00	0.00	46.38
14	Daule	9,268.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	El Carmen	11,985.07	696.73	10.81	61.31	245.84	0.00	378.77
16	El Guabo	5,387.85	27.61	25.73	0.00	1.88	0.00	0.00
17	El Salitre (Las Ramas)	4,256.17	26.77	20.36	0.00	0.55	0.00	5.85
18	El Triunfo	5,181.30	667.31	21.89	34.50	0.30	0.00	610.62
19	Eloy Alfaro (Duran)	15,928.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	Flavio Alfaro	4,233.79	145.06	0.00	3.90	123.50	0.00	17.66
21	General Antonio Elizalde (Bucay)	4,397.27	82.93	2.69	2.97	22.58	0.00	54.69
22	General Villamil (Playas)	6,553.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	Guayaquil	41,679.26	0.86	0.00	0.00	0.06	0.00	0.80

24	Huaquillas	4,879.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	Isidro Ayora	4,463.51	27.60	0.45	9.89	0.00	0.00	17.26
26	Jama	3,697.21	4.85	1.24	0.00	0.00	0.00	3.61
27	Jaramijó	2,476.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	Jipijapa	7,669.12	1.24	0.00	0.14	0.25	0.00	0.85
29	Junín	4,126.49	91.71	4.33	7.24	6.48	0.00	73.66
30	La Libertad	2,527.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	La Victoria (Las Lajas)	5,005.00	37.41	0.12	5.90	2.99	0.00	28.40
32	Lomas De Sargentillo	5,885.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	Machala	8,844.69	455.59	46.75	0.00	0.00	0.33	408.50
34	Manta	7,691.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	Milagro	13,710.95	2,097.65	805.40	0.00	0.15	0.00	1,292.11
36	Mocache	3,988.89	818.06	78.00	25.99	282.63	0.00	431.45
37	Montalvo	5,005.00	1,886.61	619.63	38.57	43.51	0.00	1,184.90
38	Montecristi	10,091.84	5.87	1.88	3.99	0.00	0.00	0.00
39	Naranjal	5,005.00	2,522.25	168.06	0.96	132.19	0.00	2,221.04
40	Naranjito	5,176.78	166.72	6.88	0.00	0.00	0.00	159.84
41	Narcisa De Jesús (Nobol)	5,758.83	4.66	1.38	0.00	0.00	0.00	3.28
42	Olmedo	3,723.67	36.76	0.00	3.09	4.73	0.00	28.94
43	Pajan	3,694.20	20.22	1.07	0.00	1.58	0.00	17.56
44	Palenque	4,396.70	89.34	6.78	2.64	0.14	0.00	79.77
45	Palestina	4,198.05	19.88	10.33	0.00	0.00	0.00	9.55
46	Pasaje	11,687.51	1,260.66	374.11	423.72	210.18	0.00	252.65
47	Pedernales	5,118.94	4.49	0.00	0.44	0.00	0.00	4.05
48	Pedro Carbo	5,005.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
49	Pichincha	3,985.32	96.26	0.00	51.43	29.61	0.00	15.23
50	Portoviejo	14,710.79	242.64	2.91	7.29	18.56	0.00	213.88
51	Puebloviejo	5,020.92	333.50	30.21	0.15	0.01	0.00	303.12
52	Puerto López	4,263.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
53	Quevedo	15,512.14	1,052.14	38.36	91.89	107.31	0.00	814.58
54	Quinsaloma	3,938.73	1,829.46	50.56	477.90	270.25	0.00	1,030.76
55	Rocafuerte	5,005.00	17.93	6.02	4.49	1.09	0.00	6.33
56	Salinas	6,778.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
57	Samborondón	16,871.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
58	San Jacinto De Buena Fe	5,168.11	1,852.37	0.79	151.41	492.14	0.00	1,208.04
59	San Jacinto De Yaguachi	5,005.00	110.80	25.57	0.00	0.00	0.00	85.24
60	San Vicente	5,037.72	1.23	1.19	0.00	0.04	0.00	0.00
61	Santa Ana De Vuelta Larga	5,555.87	139.38	1.28	4.74	28.51	0.00	104.84
62	Santa Elena	5,472.32	1.30	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00
63	Santa Lucía	5,005.00	8.59	0.79	0.00	0.00	0.00	7.79
64	Santa Rosa	8,751.48	898.35	165.13	10.48	5.57	0.00	717.17
65	Simón Bolívar	4,357.60	796.83	0.13	0.00	5.48	0.00	791.21
66	Sucre	5,077.94	51.78	1.48	2.51	1.48	0.00	46.31
67	Tosagua	5,004.35	136.95	0.27	1.95	0.00	0.00	134.73
68	Valencia	5,796.00	308.65	56.76	0.57	2.01	0.00	249.30
69	Velasco Ibarra (El Empalme)	4,807.46	343.96	5.01	0.00	62.04	0.00	276.92
70	Ventanas	4,099.01	173.81	5.32	13.94	33.11	0.00	121.44
71	Vinces	5,504.14	527.84	341.57	0.00	6.14	0.00	180.12

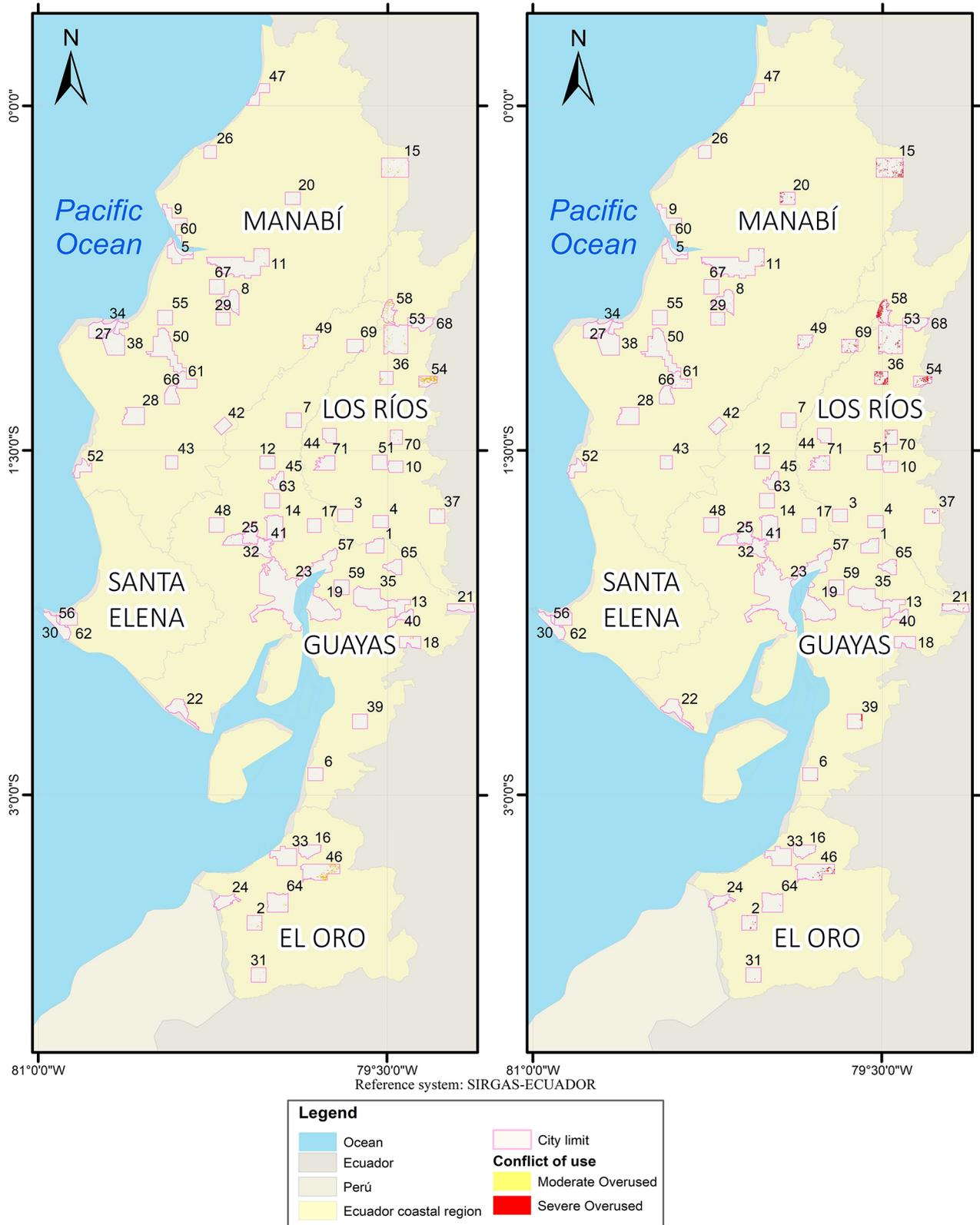
Own elaboration

Annex 2. Cartography of Cocoa Use Conflict Area (Appropriate Use; Light Overuse)



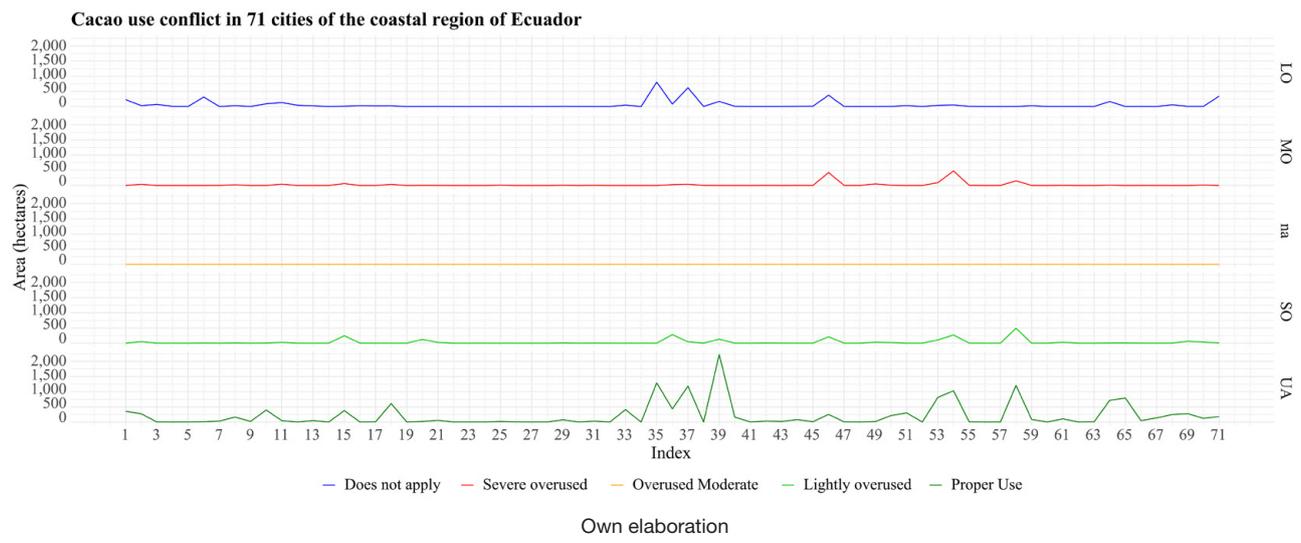
Own elaboration

Annex 3. Cartography of Cocoa Use Conflict Area (Moderate Overused; and Severe Overused)



Own elaboration

Annex 4. Conflict area of use of Cocoa



References

- Abad, A., Acuña, C., & Naranjo, E. (2020). El cacao en la Costa ecuatoriana: estudio de su dimensión cultural y económica. *Estudios de la Gestión: revista internacional de administración*, (7), 59-83. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.7.3>
- Acosta, A. (2006). *Breve historia económica del Ecuador*. Corporación editora nacional. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/58004.pdf>
- Agricultural Public Information System (SIPA). (2023). Valor agregado bruto agropecuario. *Sistema de Información Pública Agropecuaria*. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/sipa-estadisticas/estadisticas-economicas>
- Agustín Codazzi Geographic Institute (IGAC). (2014). *Metodología para la clasificación de las tierras por su capacidad de uso*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. <http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/instructivos/2014/M40100-02%2014V2%20Para%20la%20clasificacion%20de%20las%20tierras%20por%20su%20capacidad%20de%20uso.pdf>
- Agustín Codazzi Geographic Institute (IGAC) (2021). *Elaboración del Mapa de Cobertura de la Tierra Escala 1:25.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. https://igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/in-gag-pc07-04_elaboracion_del_mapa_de_cobertura_de_la_tierra_escala_125.000.pdf
- Amini, S., Saber, M., Rabiei-Dastjerdi, H., & Homayouni, S. (2022). Urban land use and land cover change analysis using random forest classification of landsat time series. *Remote Sensing*, 14(11), 2654. <https://doi.org/10.3390/rs14112654>
- Buzai, G., & Baxendale, C. (2010). Zonas de potencial conflicto entre usos del suelo: identificación mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). *RASADEP*, (1), 133-142. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/113404>
- Cedeño, J., & Donoso, M. (2010). Atlas pluviométrico del Ecuador. *Programa hidrológico internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe*, 21, 1-86.
- Central Bank of Ecuador (BCE). (2023). Bolentín de cuentas nacionales trimestrales. Resultados en valores corrientes y constantes a precios de 2007 - Período: 2000.II - 2021.IV, *Banco Central del Ecuador*. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/CuentasNacionales/Indices/c118032022.htm>
- Chávez Betancourt, Ricardo Xavier, Carbo Avellán, Suanny Carolina., Lombeida García, Ema, & Cobos Mora, Fernando Javier. (2019). Estudio socio-económico del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la parroquia Febres Cordero, Cantón Babahoyo Los Ríos-Ecuador. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*. <https://www.eumed.net/rev/oel/2019/02/cultivo-cacao-ecuador.html>
- Eastman, J. (2012). *IDRISI Selva - Guía para SIG y procesamiento de imágenes*. Clark University. <https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/IDRISI-Selva-Spanish-Manual.pdf>
- Fienitz, M., & Siebert, R. (2022). "It Is a Total Drama": Land Use Conflicts in Local Land Use Actors' Experience. *Land*, 11(5), 602. <https://doi.org/10.3390/land11050602>
- Flores Guzmán, R. B. (2018). Conflictos de uso de los suelos en la microcuenca Las Playas Tingo María, Perú. *Investigación y Amazonía, Tingo María*, 8(5), 9-19. <https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/201/184>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1996). *Agro-ecological zoning*. Rome, Italy. <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=iWFD2zGLyY&oi=fnd&pg=PA1&dq=FAO:+Agro->
- García-Álvarez, D., Camacho Olmedo, M. T., & Paegelow, M. (Edits.). (2022). *Land Use Cover Datasets and Validation Tools: Validation Practices with QGIS*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-90998-7>
- García-Briones, A., Pico-Pico, B., & Jaimez, R. (2021). La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. *Revista Digital Novasinergia*, 4(2). <https://doi.org/10.37135/ns.01.08.10>

- Gebrehana, G., Workat, S., & Yonas, R. (2018). Land capability classification and suitability assessment for selected crops in Gateno watershed, Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1532863>
- Hemati, M., Hasanlou, M., Mahdianpari, M., & Mohammadimanesh, F. (2021). A Systematic Review of Landsat Data for Change Detection Applications: 50 Years of Monitoring the Earth. *Remote Sensing*, 13(15), 2869. <https://doi.org/10.3390/rs13152869>
- Ibarra, A. (2019). Análisis de la cadena de cocoa en la provincia de los Ríos, Ecuador. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*. https://econpapers.repec.org/article/ervobserv/y_3a2019_3ai_3a261_3a04.htm
- Izonin, I., Tkachenko, R., Shakhovska, N., Ilchyshyn, B., & Singh, K. (2022). A Two-Step Data Normalization Approach for Improving Classification Accuracy in the Medical Diagnosis Domain. *Mathematics*, 10, 1942. doi:<https://doi.org/10.3390/math10111942>
- Jing, W., Yu, K., Wu, L., & Luo, P. (2021). Potential Land Use Conflict Identification Based on Improved Multi-Objective Suitability Evaluation. *Remote Sensing*, 13(12), 2416. <https://doi.org/10.3390/rs13122416>
- León-Villamar, F., Calderón-Salazar, J., & Mayorga-Quinteros, E. (2016). Estrategias para el cultivo, comercialización y exportación del cocoa fino de aroma en Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 9(18), 45-55. <https://www.redalyc.org/pdf/5826/582663825007.pdf>
- Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión De Suelo (LOOTUGS). (2016). Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión De Suelo, 30 de junio de 2016. Oficio No. SAN-2016-1196 del 30 de junio de 2016.
- Merchán-Benavides, S., Delgado-Vera, C., Aguirre-Munizaga, M., Vergara-Lozano, V., Lagos-Ortiz, K., & Martínez-Carriel, T. (2019). Agro-Ecological Zoning of Cocoa Cultivation Through Spatial Analysis Methods: A Case Study Taura, Naranjal. *Springer Nature Switzerland AG*, (901), 88-98. https://doi.org/10.1007/978-3-030-10728-4_10
- Military Geographic Institute (IGM). (2016). *Geoportal :Especificaciones técnicas para la producción de cartografía escala 1:5000*. Instituto Geográfico Militar. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewji1aXcobT-AhV5gIQIHdxUCTMQFnoECCMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.geoportaligm.gob.ec%2Fportal%2F%3Fwpfbdl%3D851&usq=AOvVaw3Yp5tdISG496CKyChd-Ai>
- Military Geographic Institute (IGM). (2022a). *Geoportal: Protocolo de fiscalización para proyectos de generación de cartografía base con fines catastrales a escala 1:5000*. Instituto Geográfico Militar
- Military Geographic Institute (IGM). (2022b). *Memoria técnica del proyecto Determinación de la capacidad de acogida del territorio con fines de desarrollo urbano mediante la generación de geoinformación temática a escala 1:5000” - Ciudad de Arenillas. Instituto Geográfico Militar, Cobertura y Uso de la Tierra*. Instituto Geográfico Militar. <https://www.geoportaligm.gob.ec/nextcloud/index.php/s/CA?path=%2F2022%2FEL%20ORO%2FARENILLAS%2FMEMORIA%20T%20C3%29CNICA>
- Military Geographic Institute (IGM). (2023). *Geoportal: de Proyectos de Inversión IGM*. Instituto Geográfico Militar. <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/proyectos-de-inversion/>
- Ministry of Agriculture and Livestock (MAG). (2020). “Zonificación agroecológica del cultivo de cocoa (Theobroma cocoa L.) en condiciones naturales en el Ecuador continental” escala 1:25.000. *Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Quito. http://geoportal.agricultura.gob.ec/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=43c17b81-711e-4c6e-ba90-db353c5e2629&fname=mt_zae_cocoa_2020.pdf&access=public
- Ministry of Environment (MAE). (2013). Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Ministerio del Ambiente del Ecuador. https://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins_textes/divers11-10/21848.pdf
- Moreno-Miranda, C., Molina, I., Miranda, Z., Moreno, R., & Moreno, P. (2020). The cocoa value chain in Ecuador: proposal of strategies to support sustainability. *Bioagro*, 32(3), 205-214. <https://revistas.uclave.org/index.php/bioagro/article/view/2788>
- National Institute of Statistics and Censuses (INEC). (2022). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2021*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. <https://www.ecuadorencifras.gob>

ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2021/Principales%20resultados-ESPAC_2021.pdf

- Nedd, R., Light, K., Owens, M., James, N., Johnson, E., & Anandhi, A. (2021). A Synthesis of Land Use/Land Cover Studies: Definitions, Classification Systems, Meta-Studies, Challenges and Knowledge Gaps on a Global Landscape. *Land*, 10(9), 994. <https://doi.org/10.3390/land10090994>
- Osty, P. L. (1978). L'exploitation agricole vue comme un système. Diffusion de l'innovation et contribution au développement. *Bulletin technique d'information*, (326), 43-49.
- Parada-Gutiérrez, O., & Veloz-Cordero, R. (2021). Análisis socioeconómico de productores de cocoa, localidad Guabito, provincia Los Ríos, Ecuador. *PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc*, 27(1), 1-12. <https://www.redalyc.org/journal/1815/181565709001/181565709001.pdf>
- Paredes, N., Monteros, Á., Lima, L., Caicedo, C., Tinoco, L., Fernández, F., Vargas, Y. B., Pico, J. T., Subía, C., Burbano, A., Chanaluz, A., Sotomayor, D. A., Díaz, A., Intriago, J., Chancosa, C. A., Andrade, A., & Enríquez, G. (2022). *Manual del cultivo de cacao sostenible para la Amazonía Ecuatoriana*. Manual n° 125. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5833>
- Pedemonte, A., Molina, C., & Álvarez, J. (2014). Proceso de toma de decisiones relacionado al uso del suelo de explotaciones hortícolas familiares. *Agrociencia (Uruguay)*, 18(1), 41-52.
- Pourut, P. (1983). Los climas del Ecuador - Fundamentos Explicativos. *IRD*. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-10/21848.pdf
- Quandt, A., Herrick, J., Peacock, G., Salley, S., Buni, A., Mkalawa, C., & Neff, J. (2020). A standardized land capability classification system for land evaluation using mobile phone technology. *Journal of Soil and Water Conservation*, 75(5), 579-589. <https://doi.org/10.2489/jswc.2020.00023>
- Suárez Capello, C., Moreira Duque, M., Vera B., J., & Vera, J. (1994). *Manual del cultivo de cacao*. Manual n° 25. INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue.
- Singh, D., & Singh, B. (2020). Investigating the impact of data normalization on classification performance. *Applied Soft Computing*, 97, 105524. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105524>
- Szarek-Iwaniuk, P., Dawidowicz, A., & Senetra, A. (2022). Methodology for Precision Land Use Mapping towards Sustainable Urbanized Land Development. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6), 3633. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063633>
- Varela, A., & Ron, S. (2018). *Geografía y Clima del Ecuador*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/GeografiaClima/>
- Vargas Pérez, O., Vite Cevallos, H., & Quezada Campoverde, J. (2021). Análisis comparativo del impacto económico del cultivo del cacao en Ecuador del primer semestre 2019 versus el primer semestre 2020. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(2), 169-179. <https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/390/410>
- Watkins, D. (2023). *30-Meter SRTM Tile Downloader*. NASA. <https://dwtkns.com/srtm30m/>
- Zhang, C., & Li, X. (2022). Land Use and Land Cover Mapping in the Era of Big Data. *Land*, 11(10), 1692. <https://doi.org/10.3390/land11101692>
- Zou, L., Liu, Y., Wang, J., & Yang, Y. (2021). An analysis of land use conflict potentials based on ecological-production-living function in the southeast coastal area of China. *Ecological Indicators*, 122, 107297. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107297>

La reciente migración laboral de población extranjera a los municipios con menor población con relación a la diversificación económica: el caso de la Comunidad Valenciana

The recent labor migration of foreign population to municipalities with smaller populations related to economic diversification: the case of the Region of Valencia

 AUTORÍA

Juan López-Jiménez 

Dpto. Geografía Humana. Universidad de Alicante. España.

 DOI

<https://doi.org/10.14198/INGEO.25729>

 CITACIÓN

López-Jiménez, J. (2024). La reciente migración laboral de población extranjera a los municipios con menor población con relación a la diversificación económica: el caso de la Comunidad Valenciana. *Investigaciones Geográficas*, (82), 167-185. <https://doi.org/10.14198/INGEO.25729>

 CORRESPONDENCIA

Juan López-Jiménez (juan.lopez.j@ua.es)

 HISTORIA

Recibido: 3 agosto 2023
Aceptado: 23 febrero 2024
Publicado: 10 julio 2024
(Publicación anticipada: 27 mayo 2024)

 TÉRMINOS

© Juan López-Jiménez

 Este trabajo se publica bajo una licencia [Creative Commons de Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Resumen

El aumento de la población extranjera en los municipios con menor población de la Comunidad Valenciana se produjo tras un intenso flujo migratorio anterior a la crisis inmobiliaria y financiera. Este proceso albergó la esperanza de frenar la regresión demográfica que sufre el medio rural. Tras un periodo de pérdida de población se está volviendo de nuevo en los últimos años a una recuperación demográfica de ciertos municipios intermedios y pequeños. El objetivo del presente artículo ha sido establecer la analogía entre el aumento de la población de extranjeros y la diversificación económica en estos municipios de destino para favorecer el crecimiento poblacional. A partir de la utilización de una base de datos de población y empleo por sectores de actividad a escala municipal se han hallado indicadores como las tasas evolutivas, el Índice Gibbs-Martin y diferentes diagramas de dispersión para alcanzar los objetivos planteados. La investigación demuestra que se está produciendo un nuevo aumento de la población extranjera en los municipios intermedios, aquellos que poseen entre 2.000 y 10.000 habitantes y que al contrario que en el periodo previo a la crisis, su distribución coincide con la diversificación económica y del mercado laboral local y no en torno a la especialización productiva.

Palabras clave: Extranjeros; medio rural; diversificación económica; inmigración laboral; dinámica demográfica; despoblación; Comunidad Valenciana.

Abstract

The increase in the foreign population in municipalities with smaller populations of the Region of Valencia occurred after an intense migratory flow prior to the real estate and financial crisis. This process harbored the hope of stopping the demographic regression suffered in rural areas. After a period of population loss, in recent years a demographic recovery has been taking place in certain medium-sized and small municipalities. The objective of this article is to establish an analogy between the increase in the population of foreigners and economic diversification in these destination municipalities to promote population growth. Based on the use of a database of population and employment by sectors of activity at the municipal level, indicators have been found such as evolutionary rates, the Gibbs-Martin Index and different scatter plots to achieve the objectives established. The research shows that a

further increase in the foreign population is taking place in medium-sized municipalities of between 2,000 and 10,000 inhabitants and that, unlike in the period prior to the crisis, their distribution coincides with the diversification of economic activity and the local labor market and not productive specialization.

Keywords: Foreign; rural areas; economic diversification; immigration labor; demographic dynamics; depopulation; Valencian Community.

1. Introducción

En la década de los años de 1960 se produjo un fuerte desarrollo económico y poblacional en la Comunidad Valenciana. La tasa de crecimiento poblacional doblaba a la española y permitió durante unos años un cambio demográfico acelerado caracterizado por el fuerte saldo migratorio, junto a un entonces saldo natural dinámico (Burriel & Salom, 2001). Este rasgo migratorio se ha manifestado con diferentes intensidades en la Comunidad Valenciana desde entonces, destacando el producido en las décadas de finales del siglo XX y principios de siglo XXI. En dichas décadas aumentó considerablemente la magnitud del saldo migratorio de personas extranjeras, tanto por motivaciones laborales, como por razones residenciales. Este intenso flujo permitió un crecimiento demográfico, a pesar del desplome del saldo natural producido por el descenso de la tasa de natalidad y de la tasa fecundidad, que se estaba produciendo en las últimas décadas. En el contexto nacional, la inmigración laboral se generalizó y surgió ante la oportunidad de acceder a trabajos muy demandados y poco cualificados que cubrían sectores económicos como la agricultura intensiva, la agroindustria, la construcción, el servicio doméstico y el turismo (Gozálvez, 2010; Collantes et al., 2014; Gil-Alonso & Bayona-i-Carrasco, 2021; Sampedro & Camarero, 2016).

El actual modelo del sistema urbano de la Comunidad Valenciana surge espacialmente en torno a la expansión inicial de la industria y urbanización desde los núcleos industriales pioneros siguiendo los corredores y vías de comunicación (Salom, 1992; Salom & Albertos, 2001; Ponce & Martínez, 2002; Ponce, 2002, 2005, 2013). El fuerte desarrollo inmobiliario de finales del siglo XX, junto a la descentralización económica y terciarización de la economía, completaron finalmente la expansión de la urbanización favorecida por el fuerte saldo migratorio. El modelo fragmentado a partir del desarrollo de extensas promociones inmobiliarias alcanzó al medio rural más accesible desde los principales corredores y vías de comunicación (Burriel et al., 1998; Ponce, 2005). En definitiva, en la Comunidad Valenciana los nuevos patrones de urbanización asociados a la contraurbanización, dentro de la terciarización económica, permitieron el crecimiento de ciudades pequeñas y medias en espacios prelitorales y también de ciertas áreas rurales bien comunicadas en el interior (Sorribes & Romero, 2001). Este proceso también constatado en la Europa occidental y meridional (Kasimis, 2008; Janska, et al., 2014; Hugo & Moret-Alegret, 2008; Heider, et al., 2020; Rowe et al., 2019) se apoyaba del mismo modo en un fuerte saldo migratorio de extranjeros con motivación laboral y residencial, pero también de ocio y esparcimiento. El perfil de estos inmigrantes extranjeros estaba caracterizado por ser originarios mayoritariamente de la Unión Europea y del Reino Unido, con diferentes motivaciones entre las que destacaba la residencial y del ocio y esparcimiento, y del Magreb y Latinoamérica que representaba unas características migratorias de motivación laboral (Esparcia, 2002; Cutillas, 2006). Los ciudadanos europeos se localizaron preferentemente en el litoral y prelitoral y los magrebíes y latinoamericanos de manera más heterogénea en todo el territorio.

Aun así, la pérdida de población en los núcleos de población y municipios menores de 10.000 habitantes ha sido casi una constante desde hace décadas en el contexto autonómico valenciano (Hernández, 2008) y nacional (Vinuesa, 1989; Méndez et al., 2008; Comisionado del Gobierno para el Reto Demográfico, 2018; Martínez et al., 2019; Gil-Alonso et al., 2023). La complejidad manifiesta de diferenciar a estos municipios con menor población como rurales ha quedado expuesta con los años por la incorporación de diferentes matizaciones y variables de análisis para su definición (Hermosilla, 2021). El Instituto Nacional de Estadística (INE) considera a estos municipios como rurales intermedios cuando presentan una población mayor de 2.000 habitantes y menor de 10.000 habitantes, mientras que los que tienen menos de 2.000 habitantes se les denomina como municipios rurales pequeños. Este criterio de valores absolutos poblacionales ha permitido la diferenciación del medio rural respecto al medio urbano para muchos autores e investigaciones con el límite poblacional de los 10.000 habitantes (Vinuesa, 1989; Mallarach & Vilagrasa, 2002; Ganau & Vilagrasa, 2003; López Trigo, 2006; Andrés, 2008, 2020; Méndez et al., 2008; Martínez et al., 2019). Por otro lado, la Ley 45/2007, de 13 de diciembre, para el desarrollo sostenible del medio rural incorpora el límite poblacional de los 30.000 habitantes de uno o varios municipios con densidad inferior a 100 habitantes por km² para definir el medio rural o menos de 5.000 habitantes para definir el municipio rural de pequeño tamaño. Más recientemente en la Unión Europea

se incorporaron los valores de densidad poblacional y extensión de la urbanización para la delimitación del medio rural (Comisión Europea, 2021). Aun así, la aproximación a la definición y delimitación de la ruralidad también se aborda desde un mayor número de variables. El objetivo 5 de la Estrategia Territorial de la Comunitat Valenciana (ETCV) definió el sistema rural en la Comunitat Valenciana con cuatro dimensiones básicas: la económica, la demográfica, la relacionada con la accesibilidad y con la cohesión social (Generalitat Valenciana, 2011). Por otro lado, y también dentro de los criterios de los planes autonómicos valencianos, la Estrategia Avant alude a la complejidad de la definición del sistema rural en la que se deben incorporar variables demográficas, económicas y algunas referentes a los usos del suelo (Generalitat Valenciana, 2019).

En todos estos núcleos de entre 2.000 y 10.000 habitantes o municipios intermedios, sean rurales o no, la pérdida poblacional ha sido constante y la esperanza de revertir dinámicas demográficas regresivas se creyó posible a principios de siglo cuando la afluencia de población extranjera aumentó considerablemente a nivel nacional (Cortés, 2005; Bayona-i-Carrasco & Gil-Alonso, 2013; Camarero et al., 2013; Collantes et al., 2014; Camarero & Sampedro, 2019; Otero-Enrriquez et al., 2019; Gil-Alonso & Bayona-i-Carrasco, 2021), pero también en el contexto internacional europeo (Kasimis, 2008; Fonseca, 2008). La llegada de emigrantes extranjeros derivó en que algunas poblaciones rurales absorbieran parte de esta población, aunque no necesariamente influyó en el cambio de su tasa de crecimiento natural, por entonces ya negativa (Bayona-i-Carrasco & Gil-Alonso, 2013). Este es el caso de los territorios españoles con amplio territorio rural como pueda ser Aragón (Palacios, et al., 2022) y otros litorales con dinámicas demográficas diferenciadas para la inmigración por motivos residenciales y/o laborales como es el caso de Málaga (Larrubia-Vargas et al., 2023) o las Islas Baleares (Salvà, 2018).

El volumen de población extranjera inmigrante que fijó su residencia en los municipios rurales y no rurales, pero de pequeña entidad poblacional, fue generalmente proporcional al tamaño poblacional del municipio de acogida. Cuando más grande era el municipio, mayor número y proporción de población extranjera sobre el total. Los municipios pequeños rurales que presentan una población inferior a los 2.000 habitantes han tenido entre un 5 % y un 7 % de su población con nacionalidad extranjera hasta antes de la crisis económica y consecuente retorno a sus lugares de origen u otros destinos (Consejo Económico y Social, 2019). En algunos casos, los núcleos beneficiados y dinamizados fueron aquellos de mayor tamaño o municipios intermedios o aquellos cercanos a los núcleos urbanos, ámbitos periurbanos, municipios turísticos y litorales. Los municipios pequeños, por debajo de los 2.000 habitantes, mantuvieron la misma tasa negativa de crecimiento, a pesar de que las actividades agrícolas intensivas atrajeron fuertes flujos de población extranjera con motivación laboral. El resultado general fue que esta inmigración impactó demográficamente y de manera temporal para evitar una mayor incidencia de la regresión demográfica en los espacios rurales, pero no en aquellos que eran municipios rurales pequeños (Roquer & Blay, 2008; Gutiérrez et al., 2020).

La fuerte intensidad de flujo migratorio de población extranjera comenzó a decaer de manera significativa a finales de la primera década del siglo XXI (Gil-Alonso et al., 2015) fruto de la crisis económica y del desempleo acuciante. En la Comunidad Valenciana el saldo migratorio se volvió negativo entre los años 2012 y 2013. En esos años se produjo una salida masiva de todos los tipos de extranjeros residentes, tanto de aquellos cuya motivación de llegada había sido cubrir las necesidades del mercado laboral, como de aquellos otros motivados por el consumo de productos inmobiliarios y de servicios y de ocio (Mantecón et al., 2014).

La reciente recuperación del flujo migratorio asociado a la mejoría económica está contemplada en recientes investigaciones (Otero-Enrriquez et al., 2019; Gil-Alonso & Bayona-i-Carrasco, 2021). La activación de la llegada de extranjeros provenientes de otros países, pero también de otros municipios españoles a través de una movilidad residencial interna, suscitan el interés para entrever las nuevas pautas de distribución de este grupo de población en los municipios pequeños con problemas de regresión demográfica y en el medio rural en general. En concreto, la hipótesis de partida es la analogía entre la tasa de crecimiento de la diversificación económica de los municipios intermedios en la Comunidad Valenciana con la tasa de crecimiento poblacional total y extranjera. Los municipios intermedios presentan tradicionalmente los mayores cambios demográficos asociados a la presencia de este grupo de población frente a los núcleos rurales pequeños. A ello han contribuido los factores económicos asociados al mayor tamaño de estas poblaciones. Por el contrario, las poblaciones rurales pequeñas de la Comunidad Valenciana presentan un declive demográfico, económico y social que dentro de un círculo vicioso aumentan la brecha con el resto de los territorios (Esparcia et al., 2020). Este proceso está agravado por las características de la intensificación del envejecimiento progresivo de estas comunidades rurales, tal y como alude la Estrategia España 2050 (Oficina Nacional de Prospectiva y Estrategia del Gobierno de España, 2021), al evitar nuevas oportunidades laborales por la reducción de la población activa y la ausencia de reemplazo generacional garantizado tras unos índices de dependencia muy elevados. El desafío de garantizar la cohesión y el equilibrio territorial

contemplado en la Estrategia España 2050 tiene una implicación social, ambiental y económica de relevancia máxima para el conjunto del país, en donde el factor económico, pulsado por la sucesión de secuencias temporales que combinan tiempos de crisis con tiempos de bonanza económica, ha puesto de manifiesto el importante valor de la economía local ante el reto demográfico.

El objetivo principal que surge tras la formulación de la hipótesis de investigación es identificar a los municipios intermedios y pequeños de la Comunidad Valenciana y hallar su grado de diversificación o especialización económica, con la evolución de su población extranjera y su población total. A partir de este objetivo principal, otro objetivo a alcanzar será vislumbrar el grado de implicación de la inmigración extranjera con motivación laboral en las posibilidades de frenar la despoblación y generar estructuras demográficas estables dado su perfil demográfico.

2. Metodología

La secuencia metodológica se ha establecido, en primer lugar, a partir de una revisión bibliográfica que aproxime la relación y grado de asociación entre la diversificación económica y laboral, la presencia y evolución de la población extranjera y el crecimiento poblacional en el contexto territorial de las pequeñas poblaciones, rurales o no, de la Comunidad Valenciana. Para ello se realizó una búsqueda en base de datos como Scopus, ReColeta, CSIC, Dialnet, y Encolit, sobre publicaciones temáticas relacionadas con la evolución actual de la población extranjera en el medio rural desde su motivación laboral. Al mismo tiempo se tienen en cuenta los planes autonómicos en materia territorial, despoblamiento y regresión demográfica de municipios pequeños como son la Estrategia Territorial de la Comunitat Valenciana y la Estrategia Avant 20-30. Plan Estratégico Valenciano Antidespoblamiento, entre otros aportes de la literatura ampliamente desarrollados en el apartado anterior.

Para alcanzar los objetivos se plantea la necesidad de diferenciar a los municipios rurales de la Comunidad Valenciana y, a su vez, diferenciar dentro de esta a los municipios rurales intermedios y a los municipios rurales pequeños. El nivel máximo de desagregación de los datos de población y población extranjera por municipio de la explotación continua del Padrón Municipal y del actual Censo de Población y Vivienda del año 2021 del INE permite caracterizar sociodemográficamente a las poblaciones rurales. El crecimiento demográfico o real, el crecimiento natural o vegetativo y el saldo migratorio de estos municipios rurales diferenciados se combinan para su análisis con el saldo migratorio de la población extranjera en función de su origen, la proporción y número de inmigrantes extranjeros y la edad media de la población extranjera. A su vez, estas variables junto a los datos sobre empleos por sectores de actividad de diferentes años a escala municipal admiten la exploración de un patrón que permita diferenciar a aquellos municipios rurales con economía diversificada y en crecimiento con una estructura sociodemográfica estable. Para ello se han utilizado los datos de ocupados por sectores de actividad y municipios de la Tesorería General de la Seguridad Social desglosados en el Portal Estadístico de la Generalitat Valenciana. El método de análisis de estos datos se fundamenta en la estimación de las tasas de variación de los datos recopilados de población total, población extranjera y ocupados por sectores de actividad. A su vez, la utilización de un indicador como es el Índice Gibbs-Martin muestra el grado de diversificación económica. Este índice se ha calculado de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$IGM= 1 - ((\sum X_i^2) / (\sum X_i)^2)$$

Siendo x el número de personas ocupadas por cada una de las ramas de actividad.

Por último, la bondad del análisis de datos estadísticos mediante una técnica de asociación espacial como es el diagrama de dispersión (Cebrián-Abellán et al., 2023) se ha estimado tratando de hallar las interrelaciones existentes entre los datos de diversidad económica a escala municipal, respecto a la población y población extranjera de estos municipios. La gráfica de dispersión ha permitido diferenciar la relación de las diferentes variables analizadas para trasladarlas a unas tablas de agrupación según número y porcentajes sobre el total.

3. Resultados: recuperación económica y aumento de la población extranjera en el medio rural de la Comunidad Valenciana

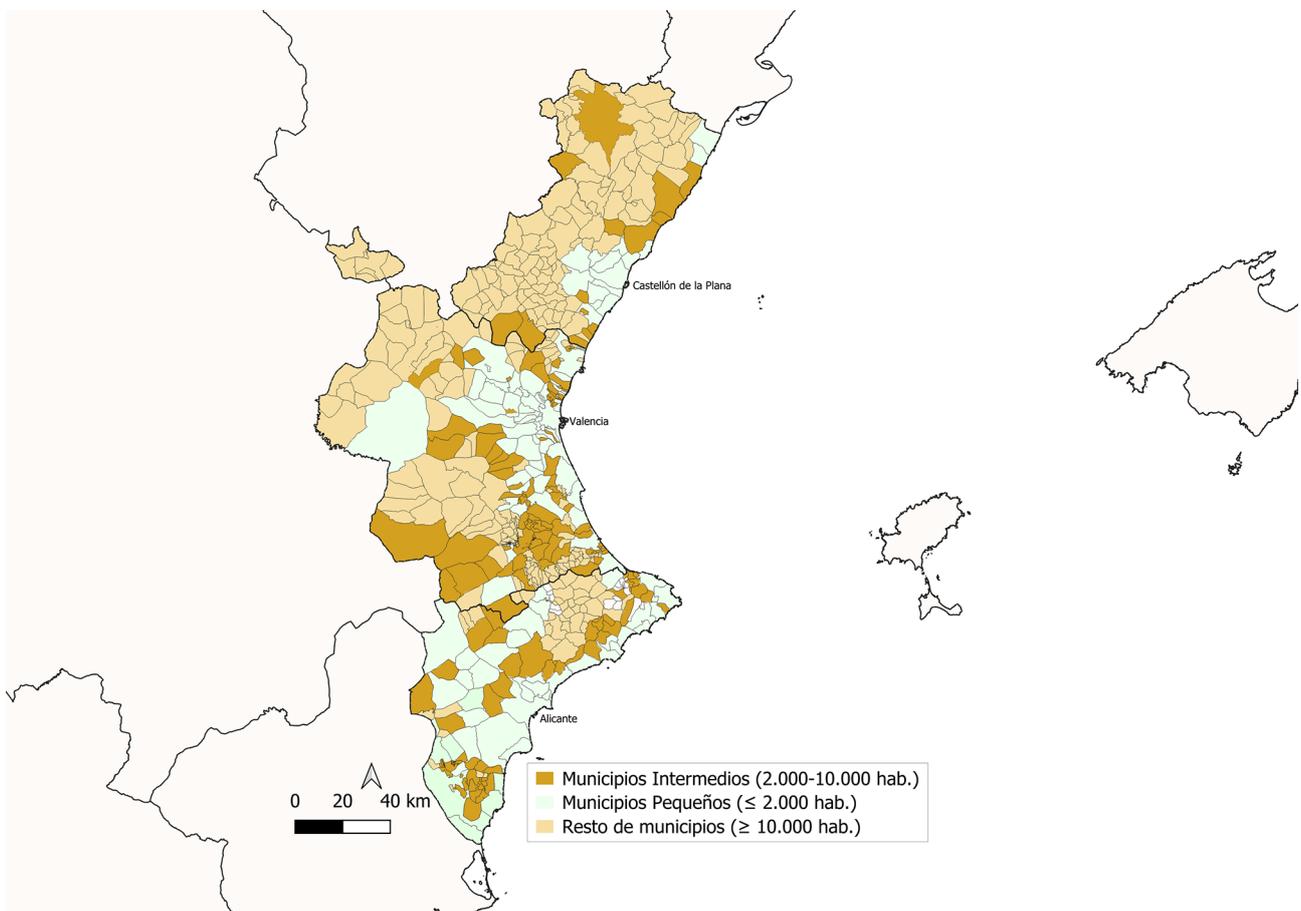
La desigual distribución de la población en la Comunidad Valenciana se mantiene por el cada vez mayor peso absoluto y relativo del poblamiento del medio urbano y litoral respecto al resto de poblaciones, incluidas las del medio rural. Actualmente, del total de los 133 municipios de entre 2.000 y 10.000 habitantes de la Comunidad Valenciana, solo 10 están en el litoral (Figura 1 y Figura 2).

Figura 1. Localización de la Comunidad Valenciana en el contexto autonómico de España



Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN). Elaboración propia

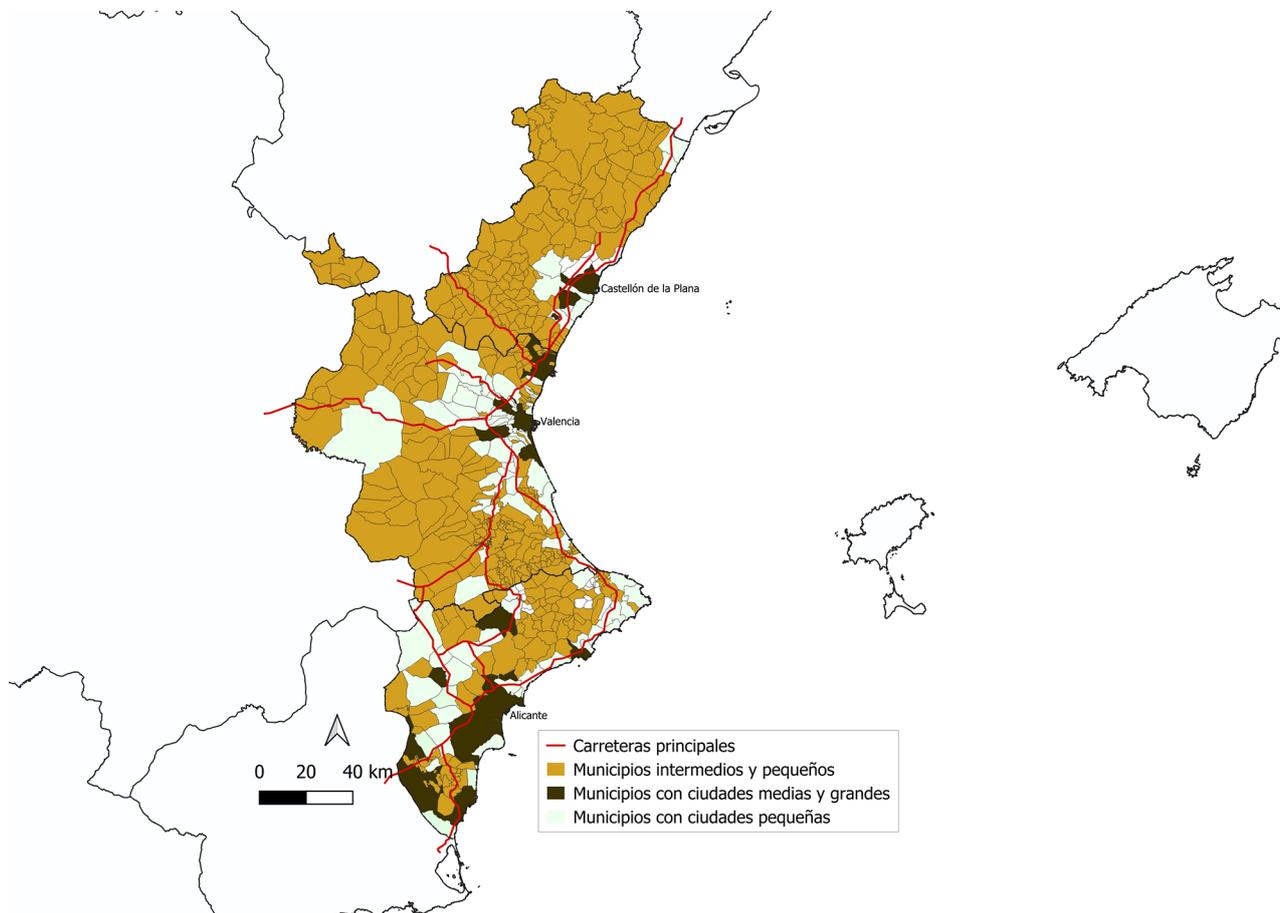
Figura 2. Distribución territorial de los municipios pequeños respecto al resto de municipios en la Comunidad Valenciana en el año 2022



Fuente: Instituto Cartográfico Valenciano (ICV). Instituto Nacional de Estadística (INE). Elaboración propia

En general, la distribución de estos municipios intermedios y pequeños en la Comunidad Valenciana es heterogénea, pero responde a un patrón de distribución espacial con relación a una ubicación más alejada de las principales ciudades, de las principales vías de comunicación y del litoral. En esta lógica de distribución espacial, los municipios intermedios conforman actualmente una interfaz que conecta las principales áreas urbanas y litoral con los municipios pequeños (Figura 3):

Figura 3. Distribución territorial de los diferentes tipos de municipios de la Comunidad Valenciana con relación al trazado de las principales vías de comunicación



Fuente: Instituto Cartográfico Valenciano (ICV). Instituto Nacional de Estadística (INE). Elaboración propia

Los municipios intermedios se han visto beneficiados de la expansión de la urbanización y de la industrialización desde las principales ciudades y que se produjo en décadas pasadas. La citada localización que actualmente se asocia a su proximidad a estas ciudades y en el entorno de las principales vías de comunicación les ha dotado desde el principio de mayores oportunidades económicas y demográficas que el resto de los municipios de menor tamaño. El aumento de la población en algunos de estos municipios intermedios en la década de los años de 1990 y 2000 se produjo a raíz del intenso flujo migratorio. Aun así, el conjunto de estos municipios pequeños siguió perdiendo peso poblacional respecto al resto de territorios (Tabla 1).

Tabla 1. Distribución de la población de los municipios pequeños según tamaño del municipio en la Comunidad Valenciana

Municipios intermedios y pequeños de la Comunidad Valenciana	1998		2012		2022	
	Población	% respecto total	Población	% respecto total	Población	% respecto total
Total	818.475	20,3	883.530	17,2	873.408	17,3
Intermedios	588.296	14,6	665.581	12,9	670.239	13,1
Pequeños	230.176	5,7	217.949	4,2	203.169	3,9

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). Elaboración propia

En estas décadas, los municipios intermedios han mantenido cierto peso poblacional en el total de la Comunidad Valenciana. Por el contrario, los municipios rurales pequeños tienen una tendencia demográfica regresiva y no dejan de perder efectivos y proporción de población respecto al total autonómico.

En lo que se refiere a los últimos diez años, la población ha decrecido, pero los municipios rurales intermedios mantienen un crecimiento de la población absoluta frente a la pérdida generalizada de población en el total de las poblaciones pequeñas y en el medio rural. A ello no contribuye el saldo migratorio y la evolución de población extranjera que sigue migrando (Tabla 2 y Figura 2):

Tabla 2. Tasa de crecimiento de la población total y población extranjera según tamaño del municipio en la Comunidad Valenciana en la última década (periodo 2012-2022)

Tipo de municipio	Tasa variación población	Tasa variación población extranjera
Total	-1,15	-22,9
Municipio intermedio	0,69	-21,64
Municipio pequeño	- 7,27	-29,63
Comunidad Valenciana	-0,61	-17,48

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). Elaboración propia

Los municipios pequeños pierden población total, pero sobre todo población extranjera, en esta década. Aun así, en los últimos años este proceso cambia de manera significativa en los municipios intermedios (Tabla 3).

Tabla 3. Tasa de crecimiento de la población total y población extranjera en municipios intermedios en la Comunidad Valenciana en dos fases diferenciadas de la última década (periodo 2012 a 2017 y periodo 2017 a 2022)

	Periodo 2012-2017	Periodo 2017-2022
Población municipios intermedios	-5,43	4,75
Población extranjera municipios intermedios	-38,27	16,39

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). Elaboración propia

La tasa de variación de la población total, pero, sobre todo, de la población extranjera aumenta considerablemente. Estos valores demográficos cambian al igual que el grado de diversificación económica. El grado de diversificación económica hallado a través del Índice de Gibbs-Martin (IGM) según trabajadores ocupados por sectores de actividad ofrece unos valores resultantes que oscilan entre 0 y 1, siendo 0 cuando se concentra el trabajo en una única actividad y 1 cuando hay máximo reparto equitativo de trabajadores en los diferentes sectores de actividad, es decir, máxima diversificación. La diversificación económica de los municipios intermedios es superior al total de la Comunidad Valenciana (Tabla 4).

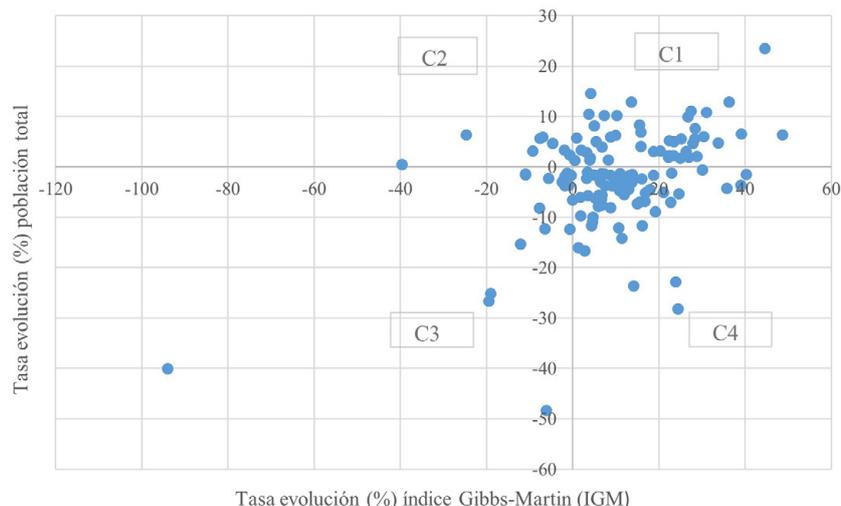
Tabla 4. Índice de Gibbs-Martin: ocupados por sectores de actividad año 2022

	Agricultura		Industria		Construcción		Servicios		IGM
	xi	xi ²	xi	xi ²	xi	xi ²	xi	xi ²	
Comunidad Valenciana	2,84	8,06	15,03	226,03	7,01	49,18	75,11	5642,18	0,41
Municipios intermedios	6,56	43,03	22,55	508,50	11,60	134,56	60,57	3668,72	0,58

Fuente: Tesorería General de la Seguridad Social. Instituto Nacional de Estadística (INE). Portal Estadístico Generalitat Valenciana. Elaboración propia

La menor especialización económica de los municipios intermedios es un rasgo económico que sin duda va asociado a las mayores posibilidades de funcionamiento de sectores y actividades productivas diferenciadas. Pero esta mejora económica no se refleja en la mejora demográfica en el total de la década. La tasa de variación de los valores hallados del IGM no tienen una correlación aproximada con el aumento de la tasa de variación de la población para el periodo comprendido entre el año 2012 y 2022 (Figura 4).

Figura 4. Diagrama de dispersión de los municipios intermedios de la Comunidad Valenciana según tasa de evolución de IGM respecto a la población total (periodo 2012-2022)



Fuente: Tesorería General de la Seguridad Social. Instituto Nacional de Estadística (INE). Portal Estadístico Generalitat Valenciana. Elaboración propia

En el diagrama de dispersión de estos municipios se agrupa en cuatro grupos según su posición en el cuadrante. En el cuadrante 1 (C1) aparecen aquellos municipios que presentan valores positivos para las dos variables, el cuadrante 2 (C2) el valor negativo de la tasa de crecimiento del IGM y otro positivo de la tasa de variación de la población total, el cuadrante 3 (C3) con ambos valores negativos y el cuadrante 4 (C4) que presenta un valor positivo para el IGM y negativo para la población. Estos valores agrupados no muestran un grado de relación clara entre la tasa de crecimiento del IGM y la tasa de crecimiento de la población en el periodo comprendido entre el año 2012 y 2022 (Tabla 5).

Tabla 5. Agrupación en cuadrantes del número y porcentaje de municipios intermedios de la Comunidad Valenciana según el diagrama de dispersión de la tasa de crecimiento de IGM y la población total en el periodo 2012-2022

Cuadrante	Municipios intermedios	
	Número	Porcentaje respecto total
C1 (evolución IGM y evolución población positiva)	45	33,83 %
C2 (evolución IGM negativa y evolución población positiva)	8	6,01 %
C3 (evolución IGM y evolución población negativa)	20	15,03 %
C4 (evolución IGM positiva y evolución población negativa)	60	45,11 %

Fuente: Tesorería General de la Seguridad Social. Instituto Nacional de Estadística (INE). Portal Estadístico Generalitat Valenciana. Elaboración propia

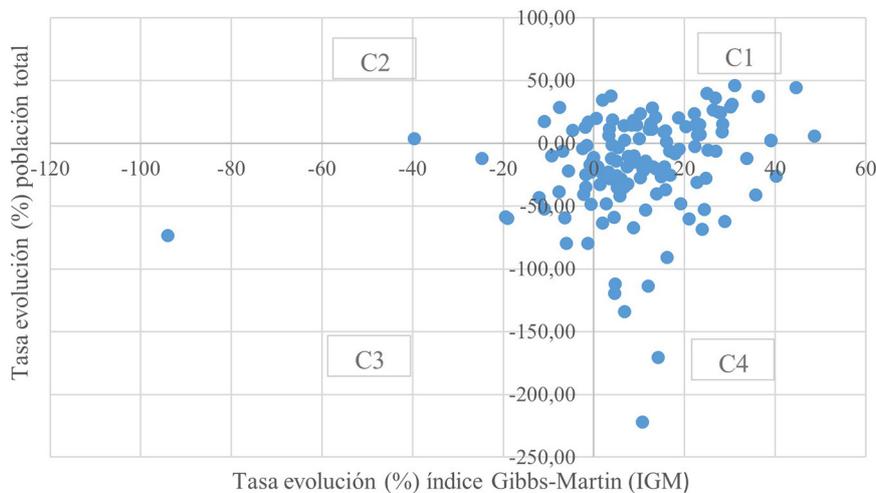
Lo mismo ocurre con la asociación entre la tasa de variación del IGM con la tasa de variación de la población extranjera (Tabla 6 y Figura 5).

Tabla 6. Agrupación en cuadrantes del número y porcentaje de municipios intermedios de la Comunidad Valenciana según el diagrama de dispersión de la tasa de crecimiento de IGM y la población extranjera en el periodo 2012-2022

Cuadrante	Municipios intermedios	
	Número	Porcentaje respecto total
C1 (evolución IGM y evolución población positiva)	43	32,33 %
C2 (evolución IGM negativa y evolución población positiva)	5	3,75 %
C3 (evolución IGM y evolución población negativa)	23	17,29 %
C4 (evolución IGM positiva y evolución población negativa)	62	46,61 %

Fuente: Tesorería General de la Seguridad Social. Instituto Nacional de Estadística (INE). Portal Estadístico Generalitat Valenciana. Elaboración propia

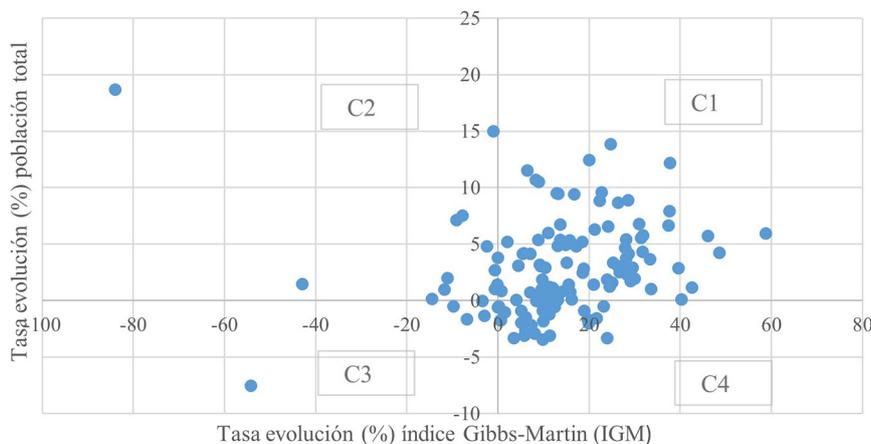
Figura 5. Diagrama de dispersión de los municipios intermedios de la Comunidad Valenciana según tasa de evolución de IGM y población extranjera (periodo 2012-2022)



Fuente: Tesorería General de la Seguridad Social. Instituto Nacional de Estadística (INE). Portal Estadístico Generalitat Valenciana. Elaboración propia

Pero para el caso de los últimos cinco años de esta década el resultado cambia. La agrupación en el primer cuartil de aquellos municipios intermedios con aumento de la diversificación económica que coinciden con aumento de la población alcanza un nivel de correlación muy alto (Figura 6 y Tabla 7).

Figura 6. Diagrama de dispersión de los municipios intermedios de la Comunidad Valenciana según tasa de crecimiento de IGM y población total (periodo 2017-2022)



Fuente: Tesorería General de la Seguridad Social. Instituto Nacional de Estadística (INE). Portal Estadístico Generalitat Valenciana. Elaboración propia

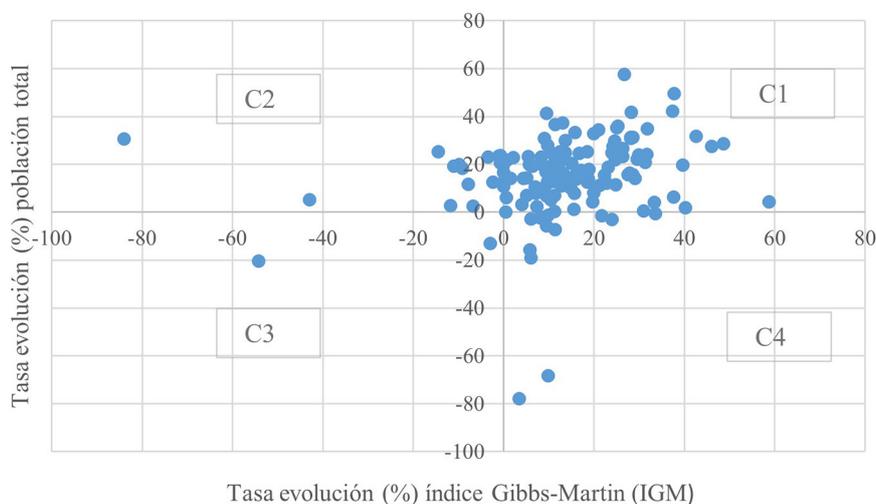
Tabla 7. Agrupación en cuadrantes del número y porcentaje de municipios rurales intermedios de la Comunidad Valenciana según el diagrama de dispersión de la tasa de crecimiento de IGM y la población total en el periodo 2017-2022

Cuadrante	Municipios rurales intermedios	
	Número	Porcentaje respecto total
C1 (evolución IGM y evolución población positiva)	85	63,9 %
C2 (evolución IGM negativa y evolución población positiva)	14	10,52 %
C3 (evolución IGM y evolución población negativa)	5	3,75 %
C4 (evolución IGM positiva y evolución población negativa)	29	21,8 %

Fuente: Tesorería General de la Seguridad Social. Instituto Nacional de Estadística (INE). Portal Estadístico Generalitat Valenciana. Elaboración propia

Al mismo tiempo, cuando se trata de relacionar la tasa de variación de la población extranjera con el IGM, el resultado es el de una correlación aún más alta (Figura 7 y Tabla 8).

Figura 7. Diagrama de dispersión de los municipios intermedios de la Comunidad Valenciana según tasa de crecimiento de IGM y población extranjera (periodo 2017-2022)



Fuente: Tesorería General de la Seguridad Social. Instituto Nacional de Estadística (INE). Portal Estadístico Generalitat Valenciana. Elaboración propia

Tabla 8. Agrupación en cuadrantes del número y porcentaje de municipios intermedios de la Comunidad Valenciana según el diagrama de dispersión de la tasa de crecimiento de IGM y la población extranjera en el periodo 2017-2022

Cuadrante	Municipios intermedios	
	Número	Porcentaje respecto total
C1 (evolución IGM y evolución población positiva)	103	77,44 %
C2 (evolución IGM negativa y evolución población positiva)	15	11,27 %
C3 (evolución IGM y evolución población negativa)	13	9,77 %
C4 (evolución IGM positiva y evolución población negativa)	2	1,5 %

Fuente: Tesorería General de la Seguridad Social. Instituto Nacional de Estadística (INE). Portal Estadístico Generalitat Valenciana. Elaboración propia

Al margen de otros posibles factores causales, el resultado en estos últimos 5 años es que la menor especialización productiva va asociada al mayor crecimiento de población extranjera en municipios intermedios y a un escenario laboral y económico propicio para la mejora del dinamismo demográfico. La población extranjera que ha emigrado y reside en estos municipios de entre 2.000 y 10.000 habitantes presenta un perfil que se aproxima al de inmigrante con motivación laboral, dado que el grupo de edad mayoritario pertenece a la población activa (Tabla 9).

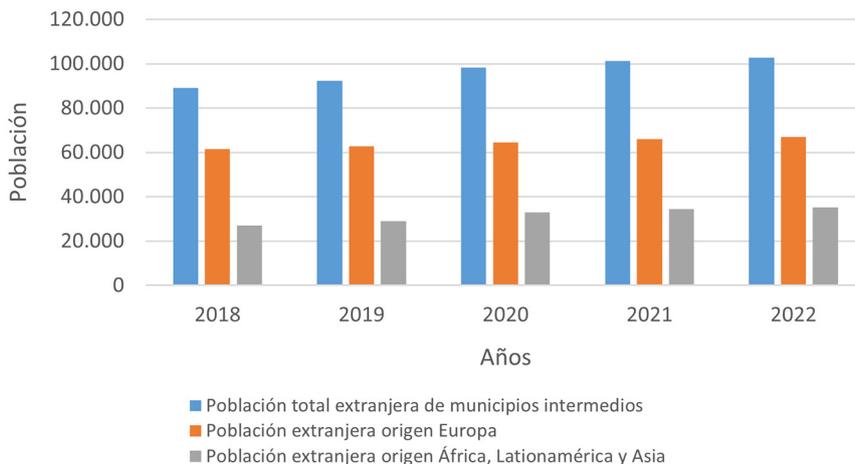
Tabla 9. Grupos de edad de la población española y extranjera en municipios intermedios en el año 2022

	Porcentaje población menor de 16 años		Porcentaje población entre 16 y 64 años		Porcentaje población mayor de 65 años	
	Españoles	Extranjeros	Españoles	Extranjeros	Españoles	Extranjeros
Municipios Intermedios	15,46	14,99	64,15	72,39	20,39	12,62
Comunidad Valenciana	15,13	13,58	63,79	67,09	20,08	19,34

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). Portal Estadístico Generalitat Valenciana. Elaboración propia

El mayor peso relativo de la población joven en los extranjeros se sustenta principalmente en el mayor porcentaje de población de entre 16 y 64 años y menor porcentaje de población mayor de 65 años. Este factor es consecuencia del perfil laboral de estos, si bien, el crecimiento de la población extranjera continúa tanto por aquellos que presentan este perfil, principalmente procedentes de Latinoamérica, África y Asia, como de otros de carácter residencialista y climático, mayoritarios de Europa (Figura 8).

Figura 8. Tasa de crecimiento de la población extranjera según origen en municipios de la Comunidad Valenciana (periodo 2017-2022)



Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). Portal Estadístico Generalitat Valenciana. Elaboración propia

El ciudadano europeo, representado por todos los países de Unión Europea más el resto de Europa entre los que se encuentra los del Reino Unido, también llega a los municipios rurales y a las pequeñas poblaciones, pero con menor intensidad, siendo también un posible perfil de inmigrante que se asocia al mercado laboral, sobre todo en municipios con presencia numerosa de población con la misma nacionalidad. La tasa de crecimiento de población extranjera procedente de Latinoamérica, África y Asia es mayor que la procedente del resto de Europa (Tabla 10).

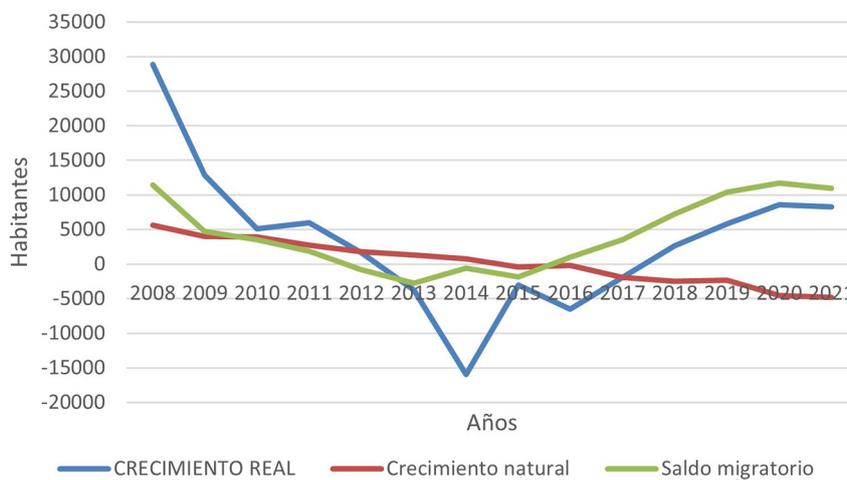
Tabla 10. Tasa de crecimiento de la población extranjera según su origen en los municipios intermedios en la Comunidad Valenciana

	2019	2020	2021	2022
Población total extranjera	3,53	6,44	3,13	1,55
Población extranjera origen Europa	1,96	3,16	2,28	1,19
Población extranjera origen África, Lationamérica y Asia	6,94	13,34	4,67	2,04

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). Portal Estadístico Generalitat Valenciana. Elaboración propia

La población extranjera está permitiendo rejuvenecer la estructura demográfica de los municipios intermedios. En estos territorios la cada vez mayor diferencia entre el crecimiento real y el crecimiento natural o vegetativo es fruto del impacto del saldo migratorio positivo en los últimos 5 años (Figura 9).

Figura 9. Crecimiento real, crecimiento natural y saldo migratorio de la población en los municipios intermedios de la Comunidad Valenciana (periodo 2008-2021)



Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). Portal Estadístico Generalitat Valenciana. Elaboración propia

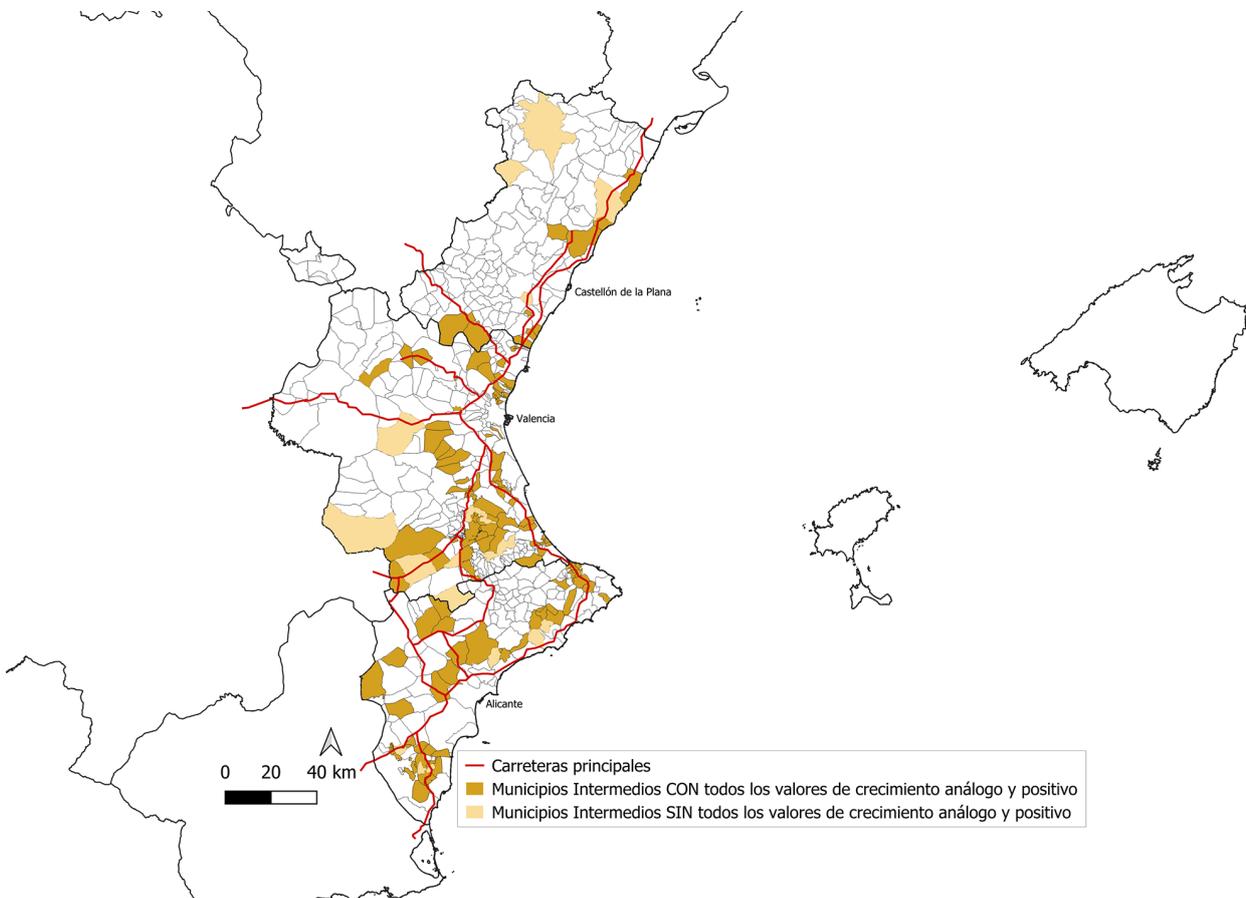
El envejecimiento de la población y la baja natalidad se contrarrestan con un dinámico saldo migratorio que posibilita el actual crecimiento demográfico, pero también unas expectativas de que el crecimiento natural sea positivo, o por lo menos contenido en su descenso, en los próximos años dado el rejuvenecimiento derivado de las características demográficas de la población extranjera. Este fenómeno no ocurre por igual en los municipios pequeños dado el saldo migratorio más contenido (Figura 10).

Figura 10. Crecimiento real, crecimiento natural y saldo migratorio de la población en los municipios pequeños de la Comunidad Valenciana (periodo 2008-2021)



Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). Portal Estadístico Generalitat Valenciana. Elaboración propia

Figura 11. Municipios intermedios con valores de crecimiento análogo positivo de población, población extranjera de origen no europeo y diversificación productiva



Fuente: Instituto Cartográfico Valenciano (ICV). Instituto Nacional de Estadística (INE). Elaboración propia

El saldo migratorio de población extranjera de fuera de Europa conlleva intrínsecamente una oportunidad para permitir a medio plazo el crecimiento natural de la población, así como de una actual cierta estabilidad demográfica, si bien, no todos los municipios intermedios presentan valores de tasa de crecimiento real, diversificación productiva y tasa de crecimiento de población extranjera de fuera de Europa positiva. Los municipios intermedios que están actualmente mejor comunicados a través de la red principal de carreteras presentan ciertas ventajas comparativas y alcanzan estos valores correlacionados, mientras que el resto está en fase de crecimiento de estos valores (Figura 11).

El crecimiento de la población extranjera vinculado a la diversidad productiva se establece como indicador de la estabilidad demográfica, que es un factor difícilmente alcanzable teniendo en cuenta la dificultad de tener estructura y empleo en todos los sectores productivos (agricultura, industria, construcción y servicios), pero que se puede favorecer por las buenas comunicaciones.

En el otro extremo, se encuentran los municipios pequeños del interior, alejados de las principales vías de comunicación y de las áreas de expansión urbana. Estos territorios presentan importantes déficits estructurales, bajos niveles de población, están escasamente equipados y disponen de un complejo agroalimentario poco dinámico. Aquí hay graves problemas de despoblamiento y serias probabilidades de abandono de la población residente. El reto en estos territorios es cómo garantizar a la población unas condiciones de vida dignas, pero también conseguir la preservación y conservación tanto de los espacios naturales, como de la diversidad social y cultural ligada a actividades de larga tradición histórica. Para ello se ha de contribuir al mantenimiento del dinamismo sociodemográfico y económico de los municipios intermedios que actúan en el interfaz urbano-rural como primeros territorios de conexión y conectividad territorial que sirven de amortiguación y freno al avance de la despoblación.

4. Discusión

El aumento de la población en los municipios intermedios de la Comunidad Valenciana en los últimos años es un proceso demográfico que se acompaña con la evolución también positiva de la población extranjera. Los datos de asociación entre el crecimiento poblacional de extranjeros y la diversificación económica de los considerados 133 municipios rurales o no rurales, pero intermedios en la Comunidad Valenciana revelan que el proceso es dinámico y que la oportunidad de desarrollo demográfico se manifiesta mediante unos procesos acelerados en los últimos años. Este proceso rompe la tendencia de fuerte pérdida de población rural y de las poblaciones más pequeñas y para un periodo reciente en España, tal y como apuntan autores como Otero-Enríquez et al. (2019).

En las décadas de los años de 1990 y de 2000 la intensidad del crecimiento demográfico favorecido por el saldo migratorio tuvo un desigual reflejo en los territorios rurales y aquellos del interior con menor población. El aumento del saldo migratorio y las pautas de su distribución se relacionó con el mayor dinamismo económico y laboral de ciertos municipios rurales, si bien, asociado a unas características económicas concretas. En este sentido, los municipios que demandaban ocupación laboral de extranjeros presentaban unas economías especializadas en sectores y actividades productivas según lo aportado por autores como Gozávez (2010), Collantes et al., 2014 y Gil-Alonso y Bayona-i-Carrasco (2021), aunque recientemente otros autores como Camarero y Sampedro (2019) han considerado también la importancia de las economías diversificadas como el elemento de atracción laboral en dicho periodo. En estos municipios, la mayor presencia de población extranjera constituía un indicador socioeconómico positivo, tal y como apunta el Consejo Económico y Social de España (2019) que se demuestra determinante en el crecimiento poblacional de los municipios rurales según las investigaciones de Gil-Alonso et al. (2023). Este saldo migratorio que favoreció a los municipios intermedios se asentó en cierta oportunidad socioeconómica, tal y como describen Roquer y Blay (2008), no siendo el caso para los municipios más pequeños. La realidad actual muestra que, en el caso de la Comunidad Valenciana, el aspecto ligado a las diversas oportunidades del mercado laboral en diferentes sectores productivos prevalece como indicador económico para el desarrollo demográfico. Este factor presente en los municipios rurales intermedios favorece un saldo migratorio positivo de población extranjera y un consecuente perfil demográfico que favorece el rejuvenecimiento de la estructura demográfica.

La literatura reconoce la falta de investigaciones en el contexto europeo sobre el papel que la migración extranjera puede desempeñar en el medio rural (Dufty-Jones, 2014; Heider et al., 2020). Todo ello a sabiendas de lo que su presencia puede aportar para mantener una sostenibilidad demográfica y económica, tal y como analizaron autores como Hugo y Morent-Alegret (2008) y Collantes et al. (2014). En este contexto, otros autores como Gil-Alonso et al. (2023) aluden a la importancia de la ubicación geográfica como factor

de cambio en la población rural y asociado al cambio de modelo de la economía local en la transición del modelo agrario a la economía de servicios. Por su parte, Fredrik y Holm (2020) completan esta visión igualmente con la relevancia del perfil demográfico como factor crucial, en su investigación dentro del contexto europeo. Aun así, Egidi et al. (2020) citan que la inmigración con motivación laboral se sigue combinando con la tendencia migratoria europea de movimientos norte-sur de población de mayor edad que busca acomodo residencial en el medio rural. Este aspecto es reproducido también en la Comunidad Valenciana, si bien, con una clara vinculación a la relación entre diversificación económica y crecimiento demográfico para un tipo de municipios concretos. La hipótesis planteada se resuelve en que en el caso de los municipios intermedios de la Comunidad Valenciana, estén dentro o no del sistema rural, el resultado muestra que la población total y la población extranjera siguen manteniendo una tasa positiva de crecimiento, pero al margen de otras explicaciones causales, a menor especialización productiva o mayor diversificación económica local, mayor crecimiento poblacional y de población extranjera. La vinculación y analogía entre la evolución de la población extranjera con la evolución de la diversificación económica local al dinamismo laboral y a las oportunidades de empleo es muy notable en los últimos años y teniendo cierta correspondencia con la presencia de destacadas vías de comunicación cercanas.

Por otro lado, y teniendo en cuenta lo que aporta recientemente González-Leonardo et al. (2022) al respecto del impacto en la movilidad residencial y migratoria en el medio rural de España derivada del periodo de pandemia reciente por la propagación del virus COVID-19, pero también de Valero (2022) para el caso concreto de la provincia de Alicante y Larrubia-Vargas et al. (2023) para Málaga, los cambios demográficos en el medio rural han sido exigüos, y no ha supuesto un cambio en la estructura demográfica. Estos cambios han sido un poco más evidentes en aquellos espacios cercanos a las grandes ciudades y en los espacios suburbanos. En los municipios con población inferior a 10.000 habitantes de la Comunidad Valenciana, dentro o no del sistema rural, el proceso de crecimiento demográfico está supeditado únicamente a procesos como los apuntados en la investigación.

Los objetivos planteados en la presente investigación se alcanzan una vez expuesto que la evolución de la población extranjera y dado lo que aporta este grupo de población a las características de la estructura demográfica del medio rural a partir del rejuvenecimiento de la población es una oportunidad sociodemográfica. La mejora de la diversificación económica se asocia a la fijación y crecimiento de la población de este tipo de municipios por un saldo migratorio positivo, pero, sobre todo, por la oportunidad real de rejuvenecer la estructura demográfica que permita mejorar incluso el crecimiento natural. Por ello, la diversificación productiva en el contexto municipal favorece el crecimiento poblacional porque se apoya en el crecimiento de la población extranjera. La Estrategia 2050 alude a la necesidad de aumentar la diversificación productiva en los municipios de menor tamaño. En el caso de los municipios intermedios de la Comunidad Valenciana este aumento de la diversificación productiva está produciendo oportunidades laborales y económicas que atrae población, incluida a la población extranjera, lo que permite dado su perfil un rejuvenecimiento demográfico. La mayor juventud de la población extranjera fomentará el crecimiento natural a medio plazo. Teniendo en cuenta lo que aporta Cutillas (2006) que no siempre coinciden los datos de extranjeros empadronados con el total, los datos se aproximan a una realidad diferenciada en la distribución de la población extranjera.

5. Conclusiones

El intenso ritmo inmigratorio de extranjeros a finales de siglo XX y principios de siglo XXI en la Comunidad Valenciana favoreció una acelerada tasa de crecimiento poblacional. Este saldo migratorio permitió una oportunidad demográfica en el medio rural durante estas décadas, ante el desplome del saldo natural producido por el descenso de la tasa de natalidad y la tasa de fecundidad. Aun así, la pérdida de población en los núcleos rurales estaba siendo una constante desde décadas incluso anteriores. Los denominados municipios intermedios o municipios de entre 2.000 y 10.000 habitantes, sean rurales o no, han tenido más oportunidades que los municipios más pequeños, o menores de 2.000 habitantes, para atraer población extranjera y favorecer un mantenimiento, e incluso crecimiento, poblacional. La característica compartida entre ambos tipos de municipios para traer nuevos pobladores era la mayor especialización económica de las actividades productivas locales que requerían mano de obra poco cualificada.

En la actualidad, el crecimiento poblacional apoyado en la mayor presencia de población extranjera se consolida en los municipios intermedios, pero en función de esta diferenciada característica económica, es decir, de su creciente diversificación económica. El grado de asociación en estos municipios entre el crecimiento de la diversificación económica, atendiendo a la estimación de trabajadores ocupados según

tipo de actividad y el crecimiento de la población extranjera es muy elevado. Este resultado revela el valor de esta característica económica para la cohesión y vertebración territorial a partir de permitir una dinámica demográfica más estable. La hipótesis se resuelve con que los municipios intermedios con una vinculación y analogía entre la evolución de la diversificación económica y la evolución de la población extranjera mantienen un crecimiento poblacional constante.

Para finalizar, se hace necesario incorporar al debate la necesidad de dotar de mayor atención a este aspecto económico para favorecer la cohesión territorial ya que ha de ser interpretado como válido por los formuladores de políticas públicas en desarrollo local y reto demográfico. La mejora de la competitividad y el favorecer el desarrollo de nuevas actividades económicas, así como el fomento del emprendimiento que se recoge como Meta 8.2 en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 8 (ODS 8: trabajo decente y crecimiento económicos) se puede valer de este factor para el fomento de planes y programas frente a la despoblación. Estos objetivos fijados a través de planes y programas deben incorporar análisis sobre el impacto de acciones como el Erasmus Rural y la diversificación económica supeditada a la capacidad de teletrabajar en el medio rural. Un territorio equilibrado requiere de una estructura rural socioeconómicamente estable que se vea favorecida por el impulso de los municipios intermedios que jerarquicen la interfaz urbano-rural y sirvan de escudo y defensa territorial al avance de la regresión demográfica. A partir de ello se hace necesario un aumento de la inversión en los municipios rurales pequeños para alcanzar un mayor equilibrio entre sectores productivos que favorezca el dinamismo socioeconómico y sociodemográfico necesario. La presencia de población extranjera refleja un indicador propio que armoniza con la hipótesis del crecimiento o fijación poblacional.

A partir de este factor se abren posibles líneas de investigación futuras asociadas al estudio de las posibilidades de sectores productivos concretos y con posibilidades inherentes de desarrollo en el medio rural conforme a sus valores y recursos propios. Este sería el caso de la industria agroalimentaria, que permitiría la diversificación productiva y las posibilidades de desarrollo local sostenible.

Referencias

- Andrés, G. (2008). Geografía y ciudades medias en España: ¿a la búsqueda de una definición innecesaria?. *Scripta Nova*, XVII, 270(49). <https://revistes.ub.edu/index.php/ScriptaNova/article/view/1474>
- Andrés, G. (2020). Las ciudades medias industriales en España: caracterización geográfica, clasificación y tipologías. *Cuadernos Geográficos*, 59(1), 99-125. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v59i1.8225>
- Bayona-i-Carrasco, J. & Gil-Alonso, F. (2013). Is foreign immigration the solution to rural depopulation? The case of Catalonia (1996-2009). *Sociologia Ruralis*, 53(1), 26-51. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9523.2012.00577.x>
- Burriel, E., Salom, J., & Delios, E. (1998). Continuidad y cambio en las pautas territoriales del crecimiento demográfico valenciano. Análisis del periodo 1991-1996. *Cuadernos de Geografía*, 63, 103-137. <https://ojs.uv.es/index.php/CGUV/article/view/14644>
- Burriel, E. & Salom, J. (2001). La distribución de la población y el sistema urbano. In J. Romero González, A. Morales Gil, J. Salom Carrasco & J. F. Vera Rebollo (Coords.), *La periferia emergente: la Comunidad Valenciana en la Europa de las regiones* (pp. 115-147). Ariel España.
- Camarero, L., Sampedro, R., & Oliva, J. (2013). Trayectorias ocupacionales y residenciales de los inmigrantes extranjeros en las áreas rurales españolas. *Sociología del Trabajo*, (77), 69-91. <https://revistas.ucm.es/index.php/STRA/article/view/60574>
- Camarero, L. & Sampedro, R. (2019). Transnational rurality and depopulation: Recession and settle down in rural Castilla y León. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 19(1), 59-82. <https://doi.org/10.7201/earn.2019.01.04>
- Cebrián-Abellán, F., González-González, M.J., & Vallejo-Pascual, M.E. (2023). Dinámicas de población y vivienda en las áreas urbanas de un grupo de ciudades medias españolas no integradas en áreas metropolitanas. *EURE*, 49(148), 1-25.
- Collantes, F., Pinilla, V., Sáez, L., & Silvestre, J. (2014). Reducing Depopulation in Rural Spain: The Impact of Immigration. *Population, Space and Place*, 20(7), 606-621. <http://dx.doi.org/10.1002/psp.1797>
- Consejo Económico y Social de España (2019). *La inmigración en España: efectos y oportunidades*. Consejo Económico y Social de España, Ministerio de Trabajo y Economía Social. Informe nº 2. Madrid.
- Comisión Europea, Eurostat (2021). Applying the degree of urbanisation: a methodological manual to define cities, towns and rural areas for international comparisons: edition, Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2785/706535>
- Comisionado del Gobierno para el Reto demográfico (2018). Estrategia nacional frente al Reto demográfico. Ministerio de Planificación Territorial y Función Pública, Gobierno de España. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/reto-demografico/temas/directricesgeneralesenfrd_tcm30-517765.pdf
- Cortés, C. (2005). Recuperación demográfica en los municipios rurales de la “montaña alicantina. Nuevas tendencias en una población fuertemente envejecida. *Investigaciones Geográficas*, (38), 93-111. <https://doi.org/10.14198/INGEO2005.38.06>
- Cutillas, E. (2006). El incremento de la población extranjera en la provincia de Alicante. Los contrastes en su distribución espacial. *Investigaciones Geográficas*, (41), 85-104. <https://doi.org/10.14198/INGEO2006.41.06>
- Dufty-Jones, R. (2014). Rural economies in the “age of migration”: perspectives from OECD countries. *Geography Compass*, 8, 368-380. <https://doi.org/10.1111/gec3.12130>
- Egidi, G., Quaranta, G., Salvati, L., Gambella, F., Mosconi, E., Giménez Morera, A., & Colantoni, A. (2020). Unraveling Causes and Consequences of International Retirement Migration to Coastal and Rural Areas in Mediterranean Europe. *Land*, 9(11), 410. <https://doi.org/10.3390/land9110410>
- Esparcia, J. (2002). La creciente importancia de la inmigración en las zonas rurales de la Comunidad Valenciana. *Cuadernos de Geografía*, (72), 289-306. <https://ojs.uv.es/index.php/CGUV/article/view/14499/13244>

- Esparcia, J., Martínez, A., & Querol, V. (2020). Reflexiones en torno al medio rural y la despoblación: la necesidad de superar la vieja política y avanzar hacia transversal y una verdadera gobernanza multinivel. *Revista de treball, economia i societat*, (98).
- Fonseca, M. L. (2008). New waves of immigration to small towns and rural areas in Portugal. *Population, Space and Place*, 14(6), 525-535. <https://doi.org/10.1002/psp.514>
- Fredrik, J. & Holm, M. (2020). The new geography of labour migration: EU11 migrants in rural Norway. *Journal of Rural Studies*, (75), 125-131. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.01.014>
- Ganau, J. & Vilagrasa, J. (2003). Ciudades medias en España: posición en la red urbana y procesos urbanos recientes. In H. Capel (Coord.), *Mediterráneo económico: ciudades, arquitectura y espacio urbano* (pp. 37-73). Cajamar, Caja Rural. <https://www.academia.edu/download/31062685/3-20.pdf>
- Generalitat Valenciana (2011). Estrategia Territorial de la Comunitat Valenciana. Libro Digital. <https://politicaterritorial.gva.es/es/web/planificacion-territorial-e-infraestructura-verde/libro-digital-77497>
- Generalitat Valenciana (2019). Avant. Agenda Valenciana Antidespoblament. <https://avant.gva.es/es/avant>
- Generalitat Valenciana. Portal Estadístico de la Generalitat Valenciana. <https://pegv.gva.es/es/>
- Generalitat Valenciana. Portal de Información Argos. <https://argos.gva.es/es>
- Gil-Alonso, F., Bayona, J., & Pujadas Rúbies, I. (2015). Las migraciones internas de los extranjeros en España: dinámicas espaciales recientes bajo el impacto de la crisis. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, (69). <https://doi.org/10.21138/bage.1896>
- Gil-Alonso, F. & Bayona-i-Carrasco, J. (2021). La población rural tras la crisis y la poscrisis: Municipios regresivos, resilientes y dinámicos (Cataluña, España). *AGER: Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural (Journal of Depopulation and Rural Development Studies)*, (32), 119- 155. <https://doi.org/10.4422/ager.2021.07>
- Gil-Alonso, F., Bayona-i-Carrasco, J., & Pujadas, I. (2023). Is Spanish depopulation irreversible? Recent demographic and spatial changes in small municipalities. *Vienna Yearbook of Population Research*, 21(1), 1-33. <https://doi.org/10.1553/p-9fd9-h7g5>
- Gobierno de España (2007). Ley 45/2007, de 13 de diciembre, para el desarrollo sostenible del medio rural. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-21493>
- Gobierno de España. Tesorería General de la Seguridad Social. <https://www.seg-social.es>
- González-Leonardo, M., López-Gay, A., Newsham, N., Recaño, J., & Rowe, F. (2022). Understanding Patterns of Internal Migration During the COVID-19 Pandemic in Spain. *Population Space and Place*, (28). <https://doi.org/10.1002/psp.2578>
- Gozálvez, V. (2010). Los extranjeros residentes en España: su aportación a la demografía. *Investigaciones Geográficas*, (52), 99-135. <https://doi.org/10.14198/INGEO2010.52.04>
- Gutiérrez E., Moral-Benito, E., & Ramos, R. (2020). Tendencias recientes de la población en las áreas rurales y urbanas de España. *Banco de España*, 27, 1-40.
- Heider, B., Stroms, P., Koch, J., & Siedentop, S. (2020). Where do immigrants move in Germany? The role of international migration in regional disparities in population development. *Population, Space and Place*, (26). <https://doi.org/10.1002/psp.2363>
- Hermosilla, J. (Coord.). (2021). *Estrategia avant 20-30. Plan estratégico valenciano antidespoblamiento*. Universitat de València.
- Hernández, M. (2008). Balance de las políticas de desarrollo rural en la Comunidad Valenciana (1991-2006). *Investigaciones Geográficas*, (45), 93-119. <https://doi.org/10.14198/INGEO2008.45.04>
- Hugo, G. & Morén-Alegret, R. (2008). International migration to non-metropolitan areas of high income countries: Editorial introduction. *Population, Space and Place*, 14(6), 473-477. <https://doi.org/10.1002/psp.515>
- Instituto Cartográfico Valenciano (ICV). <https://icv.gva.es/es>
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). <https://www.ign.es/web/ign/portal>

- Instituto Nacional de Estadística (INE). <https://www.ine.es>
- Janská, E., Čermák, Z., & Wright, R. (2014). New immigrant destinations in a new country of immigration: Settlement patterns of non-natives in the Czech Republic. *Population, Space and Place*, 20(8), 680-693. <https://doi.org/10.1002/psp.1824>
- Kasimis, C. (2008). Survival and expansion: Migrants in Greek Rural Regions. *Population, Space and Place*, 14(6), 511-524. <https://www.doi.org/10.1002/psp.513>
- Larrubia-Vargas, R., Batista-Zamora, A.E. & Natera, J.J (2023). Recent developments in immigration patterns. A case study in the province of Malaga (Spain). *Bulletin of Geography. Socio-economic Series*, (61), 93-102. <https://www.doi.org/10.12775/bgss-2023-0027>
- López Trigal, L. (2006). Las pequeñas ciudades y la ordenación territorial europea. En busca del policentrismo y el desarrollo urbano equilibrado. *Aurora Geography Journal*, (0), 41-50.
- Mallarach, J. & Vilagrasa, J. (2002). Los procesos de descentralización urbana en las ciudades medias españolas. *Eria*, 57, 57-70. <https://doi.org/10.17811/er.0.2002.57-70>
- Mantecón, A. Huete, R., & Estévez, J.F. (2014). El impacto de la crisis económica sobre la movilidad internacional de los residentes extranjeros en la provincia de Alicante. *Revista Internacional de Estudios Migratorios (RIEM)*, 3(2), 155-184. <https://doi.org/10.25115/riem.v3i2.394>
- Martínez, J.M., García, J.A., Escudero, L.A., & Vázquez, C. (2019). Aproximación a las dinámicas constructivas de las ciudades medias españolas y sus coronas en el siglo XXI a partir de fuentes catastrales. *CT: Catastro*, 95, 95-124. https://www.catastro.meh.es/documentos/publicaciones/ct/ct95/Catastro_95_accesible.pdf
- Méndez, R., Sánchez, S., Abad, L.D., & García, I. (2008). Dinámicas industriales, innovación y sistema urbano en España: trayectorias de las ciudades intermedias. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (46). <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/672>
- Oficina Nacional de Prospectiva y Estrategia del Gobierno de España (Coord.). (2021). España 2050: Fundamentos y propuestas para una Estrategia Nacional de Largo Plazo. Ministerio de la Presidencia.
- Otero-Enríquez, R., García-Abad, J., Domínguez-Mujica, J., & Pérez-Caramés, A. (2019). Inmigración y dinámicas territoriales en España: crisis y recuperación (2008-2017). *Anuario CIDOB de la Inmigración*, 190-217. <https://raco.cat/index.php/AnuarioCIDOBInmigracion/article/view/360995>.
- Palacios, A., Pinilla, V., & Silvestre, J. (2022). Emigrating to Depopulated Regions in Mediterranean Europe: Demographic Impact and Choice of Destination in a Case Study in North-East Spain (Aragon). *European Countryside*, 14(2), 258-280. <https://doi.org/10.2478/euco-2022-0013>
- Ponce, G. (2002). Competitividad y mercado de trabajo en los sistemas productivos industriales alicantinos. *Scripta Nova: Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, VI, 119(65). <http://hdl.handle.net/10045/132244>
- Ponce, G. (2005). De la taylorización a la vertebración del territorio valenciano: Nuevas redes y jerarquías urbanas. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 37(143), 105-124. <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/75506>
- Ponce, G. (2013). Estrategias de metropolización de la ciudad de Valencia en la etapa autonómica: la centralidad cuestionada en el "Modelo Postchristaller" de ordenación del territorio. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (62), 147-172. <https://www.bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/download/1573/1493>
- Ponce, G. & Martínez, A. (2002). Caracterización de los sistemas productivos industriales en las comarcas alicantinas. *Alquibla: Revista de investigación del Bajo Segura*, 8, 349-371. <http://hdl.handle.net/10045/77075>
- Roquer, S. & Blay, J. (2008). Del éxodo rural a la inmigración extranjera: el papel de la población extranjera en la recuperación demográfica de las zonas rurales españolas (1996-2006). *Scripta Nova*, XII, 270(129). <https://revistes.ub.edu/index.php/ScriptaNova/article/view/1553>
- Rowe, F., Bell, M., Bernard, A., Charles-Edwards, E., & Ueffing, P. (2019). Impact of Internal Migration on Population Redistribution in Europe: Urbanisation, Counterurbanization or Spatial Equilibrium? *Comparative Population Studies*, 44, 201-234. <https://www.doi.org/10.12765/CPoS-2019-18en>

- Salom, J. (1992). *Sistema urbano y desarrollo regional en la Comunidad Valenciana*. Edicions Alfons El Magnànim.
- Salom, J. & Albertos, J.M. (2001). El modelo de desarrollo de la Comunidad Valenciana. In J. Romero González, A. Morales Gil, J. Salom Carrasco & J.F. Vera Rebollo (Coords.), *La periferia emergente: la Comunidad Valenciana en la Europa de las regiones* (pp. 65-82). Ariel España.
- Salvà, T. (2018). De turistas a residentes: los inmigrantes no laborales en las Islas Baleares. In T. Mazón (Coord.), *Turismo Residencial: Nuevos Estilos de Vida: De Turistas a Residentes* (pp. 31-34). Universidad de Alicante.
- Sampedro, R., & Camarero, L. (2016). Inmigrantes, estrategias familiares y arraigo: las lecciones de la crisis en las áreas rurales. *Migraciones. Publicación del Instituto Universitario de Estudios sobre Migraciones*, 40, 3-31. <https://doi.org/10.14422/mig.i40y2016.008>
- Sorribes, J. & Romero, J. (2001). Dinámica reciente de las áreas metropolitanas. In J. Romero González, A. Morales Gil, J. Salom Carrasco & J.F. Vera Rebollo (Coords.), *La periferia emergente: la Comunidad Valenciana en la Europa de las regiones* (pp. 265-283). Ariel España.
- Valero, J.R. (2022). La pandémie de Covid-19, facteur de revitalisation démographique des zones rurales? Le cas de la province d'Alicante (Espagne). *Espace populations sociétés*, 2-3. <https://doi.org/10.4000/eps.13115>
- Valero, J.R., Amat-Montesinos, X., & Cortés-Samper, C. (2023). The Impact of Retired Immigrants on Quality of Life for the Local Aging Population: Results from the Southeast Spanish Coast. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), 366. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010366>
- Vinuesa, J. (1989). La población de las ciudades medias españolas. *Urbanismo Coam*, 6, 17-27. <https://www.coam.org/media/Default%20Files/fundacion/biblioteca/revista-urbanismo/docs/revista-urbanismo-n6-pag17-27.pdf>

Enoturismo como elemento de promoción y venta en las Rutas del Vino de España en Castilla-La Mancha

Wine Tourism as an element of promotion and sales in the Wine Routes of Spain in Castilla-La Mancha

AUTORÍA

Rogelio Jorge-Martín 

Departamento de Economía de la Empresa y Contabilidad, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), España.

Julio Fernández Portela 

Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), España.

DOI

<https://doi.org/10.14198/INGEO.26191>

CITACIÓN

Jorge-Martín, R. & Fernández Portela, J. (2024). Enoturismo como elemento de promoción y venta en las Rutas del Vino de España en Castilla-La Mancha. *Investigaciones Geográficas*, (82), 187-207. <https://doi.org/10.14198/INGEO.26191>

CORRESPONDENCIA

Rogelio Jorge-Martín (rojorge@lanzarote.uned.es)

HISTORIA

Recibido: 13 octubre 2023
Aceptado: 30 enero 2024
Publicado: 10 julio 2024
(Publicación anticipada: 15 mayo 2024)

TÉRMINOS

© Rogelio Jorge-Martín, Julio Fernández Portela

 Este trabajo se publica bajo una licencia Creative Commons de Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Resumen

El turismo y la exportación son actividades cada vez más importantes para la economía de un territorio. Dentro de la exportación, la supervivencia exportadora, entendida como la continuidad en la exportación sin interrupciones ni abandonos, depende en gran medida del valor añadido del producto. En Castilla-La Mancha, la ausencia de valor agregado en el sector vitivinícola es la principal razón de los bajos precios de exportación e imagen negativa. Sin embargo, el enoturismo ofrece una solución a partir de la creación de experiencias singulares originadas en los elementos territoriales, como la historia, la geografía y el modo de producción, cuyos valores intangibles se transmiten a través de la visita a las bodegas. Además, la venta directa al visitante se convierte en una oportunidad de generar ingresos. Este estudio, basado en el análisis de fuentes principalmente económicas, combinando enfoques cualitativos y cuantitativos de alcance exploratorio; establece que el valor añadido del vino favorece el enoturismo que, a su vez, tiene un impacto directo en la promoción del vino y repercute en la demanda y los precios, lo que influye en las posibilidades de supervivencia exportadora de las bodegas en regiones que necesitan elementos de promoción y venta como Castilla-La Mancha. El estudio sienta las bases para futuras investigaciones en otras regiones y/o productos.

Palabras clave: turismo del vino; valor añadido; territorio; exportación; sector vitivinícola; supervivencia exportadora.

Abstract

Tourism and exporting are increasingly important economic activities for territories. In particular, export survival, understood as continuity in exporting without interruptions or dropouts, depends mostly on the added value of their products. In Castilla-La Mancha (Spain), the absence of added value in the wine sector is identified as the main reason behind the low export prices and the negative image. However, wine tourism offers a solution based on the creation of unique experiences related to the elements of the territory, such as history, geography, and production methods, whose intangible values are transmitted through visits to the wineries. In addition, direct sales during visits become an opportunity for wineries to generate income. This study, based on the analysis of mainly economic sources, combining qualitative and quantitative approaches of an exploratory nature, establishes that the added value of wine favors

wine tourism. This, in turn, has a direct impact on the promotion of wine and affects the demand and prices of wines, which influences the chances of export survival of wineries in regions that need promotion and sales elements such as Castilla-La Mancha. These findings can be used as a basis for the study of other regions and/or products.

Keywords: Wine tourism; added value; territory; export; wine industry; export survival.

1. Introducción

La motivación de este estudio radica en la necesidad de abordar la problemática del sector vitivinícola de Castilla-La Mancha —la mayor región vitivinícola del mundo— que se enfrenta a la imperiosa necesidad de aumentar sus exportaciones debido a la incapacidad del mercado doméstico para absorber su producción anual (más de 3 millones de toneladas de uva en 2022). La exportación se ha vuelto una vía necesaria, y los autores buscan comprender cómo el enoturismo puede desempeñar un papel crucial en la promoción y venta de vino en el extranjero, contribuyendo así a la supervivencia y competitividad de las bodegas de la región. La originalidad del estudio reside en su enfoque en la relación entre el enoturismo y la exportación de vinos de calidad diferenciada en Castilla-La Mancha (España). Y es que, a pesar de los recursos y el potencial de la región, el enoturismo no ha sido explotado de manera efectiva como herramienta de promoción y venta de vino en el extranjero. El estudio busca destacar la importancia del enoturismo, enmarcado en un paisaje vitivinícola de gran valor patrimonial, como una estrategia proactiva para mejorar la imagen y el valor añadido de los productos vitivinícolas de la región que contribuya como signo de diferenciación de la calidad de los vinos, así como su potencial para impulsar las ventas y la supervivencia exportadora de las bodegas castellanomanchegas.

El mercado español no es capaz de absorber la ingente cantidad de uva producida anualmente en Castilla-La Mancha, dando lugar a una exportación reactiva en la que es la región con mayor superficie de viñedo del país, con 453.000 hectáreas, el 49% del total nacional (Universidad de Castilla-La Mancha [UCLM], 2019). En 2023 la región aglutina algo más de la mitad de todo el volumen de vino exportado de España, sin embargo, su valor económico representa solo uno de cada cuatro euros exportados. Esto se debe al bajo precio medio de sus productos vitivinícolas provocado por la falta de valor añadido, a la escasa potenciación de la marca-calidad del vino producido y a las carencias en la comercialización exterior, dejando el precio anual a merced de coyunturas económicas o del comportamiento de otras regiones y países como Francia e Italia. El bajo precio que obtiene Castilla-La Mancha en el exterior es preocupante y, por extensión, la imagen que proyecta al mercado también. En el año 2022 los productos vitivinícolas de la región se exportaron a un precio medio de solo 0,62 €/l, muy inferior a los 1,42 €/l obtenidos de media por el conjunto de España. Ambos precios de exportación son irrisorios comparados con los 3,59 €/l y 8,79 €/l obtenidos en el mismo periodo por Italia y Francia respectivamente, siendo el mercado francés el principal destino de exportación (Observatorio Español del Mercado del Vino [OEMV], 2023).

Los precios de los productos agroalimentarios proyectan una imagen territorial que afecta a las externalidades generadas en los sectores productivos, siendo en el caso del vino la más importante la del enoturismo. Además de ser una vía para crear interés y conocimiento por el vino e incrementar las visitas tanto de turistas nacionales como extranjeros y aportar beneficios a todo el conglomerado de empresas relacionadas con el hospedaje, restauración, tiendas, etc., el enoturismo se convierte en una herramienta de promoción y venta para las bodegas de cualquier tamaño, que facilita su supervivencia exportadora, además del interés que merece para la conservación de los paisajes vitivinícolas.

Uno de los principales motivos de la demanda exterior es fruto de la promoción realizada en origen. Los visitantes que gozan de una experiencia positiva suelen demandar este producto al regreso a sus países. Además, el enoturismo, por medio de la visita a las bodegas, estimula la venta directa de vino en la bodega, cuantificada por algunas rutas en el 20% de las ventas (Marco-Lajara et al., 2023), e incluso su posterior venta online. Es tal el debate generado en torno al potencial del enoturismo que durante la primera jornada de FENAVIN (Feria Internacional de referencia del vino español) celebrada en Ciudad Real el 9 de mayo del 2023 el OEMV, organizó una mesa redonda con expertos del mundo del turismo y del vino bajo el título “cómo convertir a nuestros turistas en clientes” para aprovechar la gran oportunidad que tienen las bodegas de vender sus vinos de forma directa bajo asesoramiento personalizado y sobre todo de forma regular (fidelizando) a visitantes extranjeros de las bodegas. Es por ello por lo que el turismo en torno al vino y su comercialización se complementan mutuamente, convirtiendo el enoturismo en una oportunidad en la que merece la pena invertir, siempre y cuando vaya acompañada de una actitud proactiva hacia la incorporación de valor añadido al producto que tiene en los elementos territoriales su mejor baza.

Los objetivos de este trabajo son varios. Primero, corroborar el vínculo entre exportación y enoturismo a través del territorio. Segundo, verificar la hipótesis de que los elementos que conforman la base del valor añadido en los productos vinícolas, como son la geografía, la historia y el modo de producción, sirven como base para generar la externalidad positiva que constituye el enoturismo. En tercer lugar, indagar en qué medida el enoturismo se relaciona con el paisaje y el patrimonio vitivinícola. Y, por último, reafirmar si el enoturismo es una buena herramienta para promocionar y vender vino para las bodegas, incluyendo las bodegas exportadoras, a través del análisis del impacto económico de las visitas a las bodegas y de la imagen que estas visitas generan en los turistas como futuros consumidores de un vino.

En la Introducción se plantea la necesidad de abordar la relación entre el enoturismo y la promoción de vinos en Castilla-La Mancha. A continuación, en el apartado 1.1. Marco teórico, se profundiza en el papel del enoturismo como elemento clave para el comercio del vino y una aproximación al papel del paisaje vitivinícola. En el segundo punto de Metodología y Fuentes se detalla la metodología empleada en la investigación, proporcionando una visión de cómo se recopilaron y analizaron los datos. Seguidamente, en el 2.1. Área de estudio, se presenta el territorio de Castilla-La Mancha. En el apartado tercero, Resultados, se describe cómo se ha calculado el impacto económico derivado de las visitas en las bodegas de las Rutas del Vino como elemento vertebrador, donde se examina el papel central de las rutas en el enoturismo regional y el impacto económico del enoturismo en las bodegas de dichas rutas. El punto 4, la Discusión, se centra en tres cuestiones básicas para el enoturismo como son las Denominaciones de Origen, las rutas del vino, y las oportunidades y beneficios que tiene para el territorio. Finalmente, en la sección de Conclusiones se resumen las principales contribuciones del estudio y se destacan sus implicaciones en el contexto del enoturismo y la exportación de vino en Castilla-La Mancha, así como futuras líneas de investigación como el impacto de los Pagos, excluidos en la investigación.

1.1. Marco teórico: el papel del enoturismo como elemento de promoción y venta

El enoturismo constituye una fórmula de turismo postindustrial que supone una auténtica oportunidad para las bodegas de productos de calidad diferenciada, territorios y procesos de innovación (Lopes et al., 2022; Martínez-Falcó et al., 2023). El presente artículo aborda un tema de especial interés para la investigación turística, tratando de indagar en las oportunidades que el enoturismo puede generar para la promoción de los vinos de Castilla-La Mancha a partir, principalmente de datos económicos.

El turismo del vino es una integración de recursos turísticos en la que participan muchos agentes como las bodegas y los viñedos. Algunos de los primeros estudios en enoturismo fueron los libros *Wine Tourism Around the World* (Hall et al., 2000) y *Explore Wine Tourism* (Getz, 2000). Hall et al. (2000) resaltan la importancia de la experiencia de degustación de vinos durante las visitas, ya que permite dar a conocer las características de las uvas y los vinos. Por otro lado, Getz (2000) se enfoca más en los aspectos comerciales del enoturismo, haciendo hincapié en la educación del visitante y en la posibilidad de generar ventas directas a través de la visita. El concepto de enoturismo ha sido trabajado en las últimas tres décadas por investigadores de distintas disciplinas (Carlsen, 2004; López-Guzmán et al., 2013; Marco-Lajara et al., 2023; Martínez-Falcó et al., 2023) quienes incluyen una serie de variables más allá del vino, lo que hace que existan numerosas definiciones de enoturismo, algunas incluyendo una serie de elementos que podrían ser comunes en cualquier espacio productor, pero que van añadiendo otras variables que entran en juego y que contribuyen a ofrecer definiciones más complejas, pero al mismo tiempo, más completas.

Una de estas definiciones es la que presentan Miranda Escolar y Fernández Morueco (2011) definiéndolo como "...el desarrollo de actividades turísticas, de ocio y tiempo libre dedicadas al descubrimiento y disfrute cultural y enológico de la viña, el vino y su territorio..." (p. 141). Por otro lado, García López habla de "la integración bajo un mismo concepto temático de los recursos y servicios turísticos de interés, consolidados o potenciales, de una zona vitivinícola" (2008, p.1) y el Proyecto VINTUR, realizado por la Red Europea de Ciudades del Vino (RECEVIN), lo define como un producto que consiste en la integración de los recursos y servicios turísticos existentes en una zona vitivinícola que tiene como principios los recogidos en la *Carta Europea de Enoturismo* (RECEVIN, 2006). En todas estas definiciones se manifiesta, de una forma u otra, la impronta que poseen el vino, la viña y el territorio vitivinícola, como los elementos clave del enoturismo, a la vez que también se incluye la presencia de otros recursos turísticos y actividades del espacio en el que se desarrolla, como es el arte, el patrimonio, la gastronomía, los recursos naturales, etc. Teniendo en cuenta estos elementos, López Sánchez (2010) define el enoturismo como "(...) una diversificación del turismo cultural, urbano y rural. (...) un producto integrado basado en las actividades vitícolas, gastronómicas y

culturales, acompañado por una amplia oferta de alojamientos con servicios relacionados con dicha actividad (enotecas, vinotecas, vinoterapias, museos del vino, etc.) así como de una amplia oferta de actividades complementarias como golf, hípica, oferta comercial nocturna, ..." (p. 32). Los vinos por sí solos no bastan para atraer y retener a los turistas del vino y necesitan recursos adicionales, ofrecidos por las propias bodegas como son la restauración, alojamientos, museos, operadores turísticos, o relacionados con el medio natural, paisajístico o patrimonial, y que son necesarios para la creación de un turismo en torno al vino sostenible.

Dependiendo del lugar visitado puede hablarse de diferentes tipos de enoturismo como el gastronómico, fiestas del vino, visita a museos o visitas a bodegas y viñedos. En este último tipo, las visitas a bodegas y viñedos son relevantes para la promoción y venta de vino (Jiménez & Sevilla, 2008; Colombini, 2015; García et al., 2015; Ferreira & Hunter 2017; Romero, 2020). El turismo puede estar orientado a clientes nacionales, internacionales o ambos. Para las bodegas exportadoras lo interesante es el turismo internacional. Cabe destacar que, en condiciones normales, más del 25% de los visitantes de la Red Rutas del Vino de España son enoturistas internacionales con tendencia al crecimiento, así que el turismo enológico internacional es considerado una apuesta seria y de futuro. El turismo internacional en torno al vino favorece la imagen de marca y las exportaciones, generando fidelidad de marca y demanda del vino en el país de origen del visitante (De Jesús Contreras & Medina, 2021).

El principal propósito de las bodegas visitables es mejorar su imagen, obteniendo información cualitativa de manera directa a través de interacciones personales. Además, se busca mejorar la percepción en su entorno social local. En España, aproximadamente dos tercios de los gastos del enoturista están relacionados con la experiencia territorial, mientras que solo un tercio se destina directamente a la bodega. El segundo objetivo del enoturismo es el económico. Las bodegas pueden obtener beneficios económicos mediante la venta directa a los clientes en las mismas bodegas, que además mejora la calidad percibida del producto adquirido (Martínez Puche & Morales Yago, 2016). A nivel mundial, existe un incremento del interés de las bodegas por el enoturismo como sucede en Portugal (Simoës, 2008; Lavandoski et al., 2018; Nave & do Paço, 2021), Italia (Romano & Natili, 2009; Seccia & Garibaldi, 2021), Hungría (Harsányi & Hlédik, 2022), México (Novo et al., 2018), Chile (Torres et al., 2021), Oceanía (Hall & Macionis, 1998) y que se encuentra ligado al beneficio económico de la venta directa al consumidor en las propias bodegas, que no debe confundirse, por ejemplo, con el mero despacho de vino en las cooperativas. Así, en zonas vinícolas como la Borgoña francesa representa más del 20% de las ventas, en Alsacia más del 23% y en otros lugares, como la región estadounidense del Valle de Napa, muchas pequeñas bodegas no necesitan acceso a otros canales de venta (Lee, 2021).

En España se han abordado procesos de patrimonialización de paisajes vitivinícolas y sus manifestaciones culturales (Molinero & Tort, 2018; Cañizares Ruiz & Ruiz Pulpón, 2022; Baraja et al., 2023). En Europa existen grandes logros en este sentido al haberse incluido paisajes vitivinícolas en la lista de patrimonio mundial de la UNESCO, iniciativas que revalorizan los recursos territoriales y favorecen el enoturismo como el patrimonio vitivinícola de la Champagne francesa o los viñedos del Piemonte italiano. Sin embargo, en este aspecto, España no cosecha grandes resultados (Martínez Arnáiz et al., 2019; Gerbal-Medalle & Hannin, 2021; Cañizares Ruiz & Ruiz Pulpón, 2022), a pesar de sus recursos, como es el caso del paisaje vitivinícola volcánico de La Geria en Lanzarote, donde se conjugan el cultivo de variedades autóctonas, como la uva malvasía volcánica, con el singular modo de cultivo, por razones geográficas y climatológicas, en hoyas de más de 100 años, algunas con 200 años de antigüedad, en arenados volcánicos (Elías Pastor, 2016) creando un patrimonio vitivinícola único y un potencial turístico internacional de alto nivel (Figura 1).

Muchas regiones vinícolas españolas se han dado cuenta de los beneficios económicos del enoturismo y están empezando a realizar actividades enoturísticas en sus bodegas como elemento de promoción y venta nacional e internacional como son los casos de Jerez (López Sánchez, 2010), La Geria (González Morales et al., 2015) o en comarcas vitivinícolas de Castilla y León (Fernández Portela & Vidal Domínguez, 2020). Los beneficios del enoturismo llegan más allá de las bodegas, por lo que muchas regiones vinícolas han empezado a desarrollar rutas de vino con el propósito de adherirse a la red de RVE (Martínez Falco et al., 2023).

El enoturismo es una actividad que se está extendiendo por Castilla-La Mancha. En principio es algo más sencillo para las grandes bodegas, aunque también las pequeñas juegan un papel importante debido a su encanto especial y los beneficios que les reporta. La principal limitación, después de la actitud de la bodega hacia el enoturismo, es la falta de recursos o personal, algo que tiene un mayor impacto en las bodegas de menor tamaño. No obstante, la oportunidad de generar ingresos, añadir valor tanto a la bodega como a la marca, el reducido coste de distribución de las ventas generadas por este canal de venta directa y el contacto directo con el cliente que ofrece este canal, hacen que sea una actividad interesante para la mayoría

de las bodegas, sobre todo para las que aportan un valor añadido al vino y que las permite crear productos turísticos (López Guzmán & Sánchez Cañizares, 2008).

Figura 1. Viñedo en el paisaje singular y único de La Geria (Lanzarote, España). 2023



Fotografía de los autores

2. Metodología

Para dar respuesta a cómo el enoturismo puede ser un buen elemento de promoción y venta apropiado en territorios vitivinícolas como Castilla-La Mancha que favorezca la supervivencia exportadora de las bodegas, se han empleado para esta investigación tres tipos de fuentes:

- I. Fuentes económicas y territoriales: de la información recopilada en las páginas webs de las bodegas, del portal turístico de España o del regional Turismo de Castilla-La Mancha y las informaciones facilitadas por las DO vitivinícolas de Castilla-La Mancha, así como de la *Carta Europea de Enoturismo* (RECEVIN, 2006) y el análisis de obras importantes como el *Plan Estratégico del Sector Vitivinícola de Castilla-La Mancha* (UCLM, 2019) que ofrece una imagen fidedigna de la situación del sector sosteniendo que el turismo de la vid y el vino es una de las principales oportunidades para la industria vitivinícola.
- II. Fuentes Oficiales: para las cuestiones vinculadas al territorio y para algunas cuestiones históricas. Además de las referencias reflejadas en el marco teórico, como documentos esenciales, se han utilizado los informes publicados por la Asociación Española de Ciudades del Vino (ACEVIN), por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), el Instituto de Comercio Exterior (ICEX), así como los Reglamentos y Pliegos de Condiciones de las 9 DO de Castilla-La Mancha y la legislación autonómica.
- III. Fuentes Estadísticas: con el objetivo de analizar la evolución de la oferta y la demanda de las diferentes rutas en Castilla-La Mancha, se han utilizado los datos recopilados por el Observatorio Turístico de Rutas del Vino de España (OTVE).

Este observatorio constituye la primera iniciativa enoturística en Europa que emplea la digitalización de datos como método fundamental. Su metodología se centra en la recopilación del número de visitantes que acuden a las bodegas asociadas a las Rutas del vino de España.

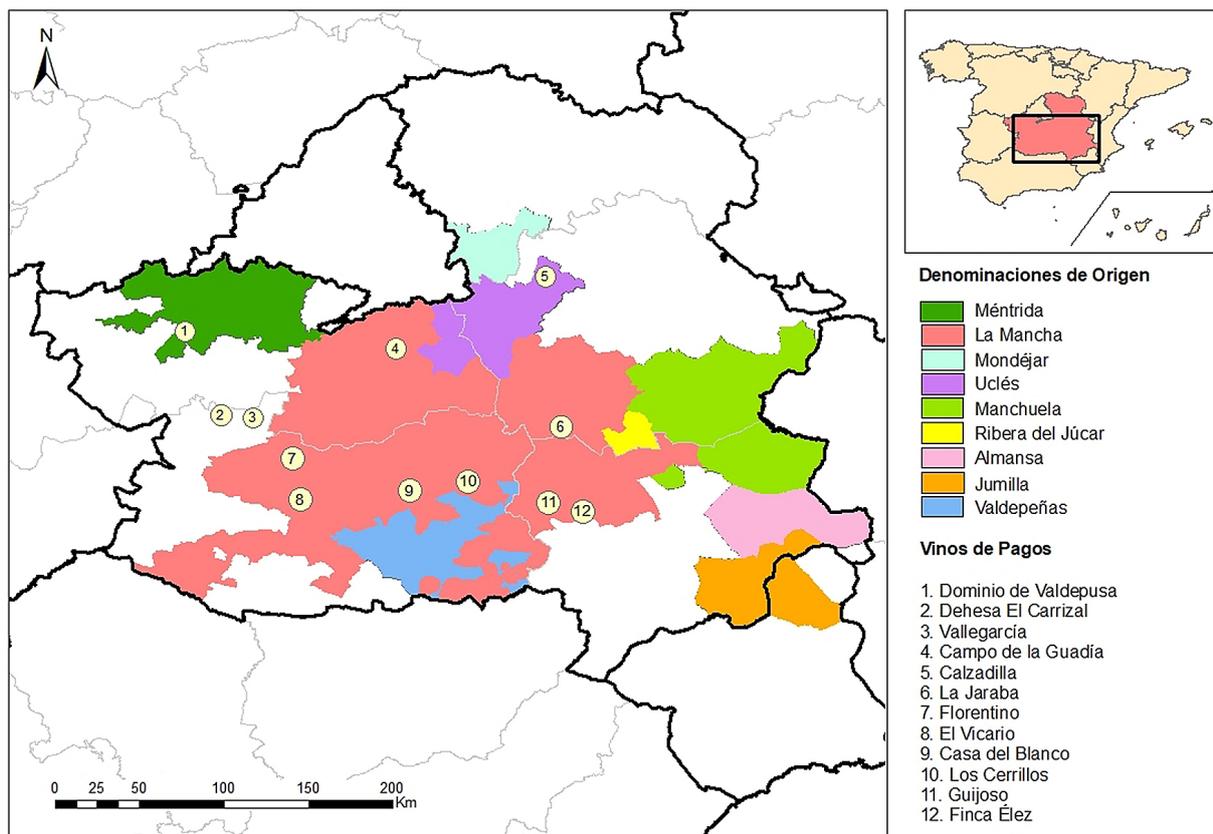
La metodología empleada en este estudio abarca una variedad de fuentes (económicas, territoriales, oficiales y estadísticas) con el propósito de combinar enfoques cualitativos y cuantitativos de alcance exploratorio. Esta aproximación se orienta hacia el análisis de la relación entre el enoturismo y la supervivencia exportadora de las bodegas en Castilla-La Mancha. La integración de métodos basados en fuentes primarias y secundarias contribuye a ofrecer una visión exhaustiva y enriquecedora del objeto de estudio.

2.1. Área de estudio. Castilla-La Mancha: un vasto territorio vitivinícola

La región, con una superficie de 79.461 km², contaba con 2.092.985 habitantes en 2023 según los datos ofrecidos por el Instituto Nacional de Estadística (INE). Solo en 40 núcleos de población viven más de 10.000 personas, una región asociada al mundo rural. La agricultura de cereales, olivos y la vid son los cultivos tradicionales que conforman la triada mediterránea. Respecto a la vid, es la región del mundo con mayor superficie de viñedo (453.000 hectáreas) con alrededor del 50% de la superficie de toda España. La Política Agraria Comunitaria (PAC) favoreció la sustitución del viñedo tradicional de secano en vaso por modernas y más productivas explotaciones en espaldera con riego por goteo, pasando la superficie de regadío de 40.000 ha a más de 230.000 ha en dos décadas, modificando el paisaje y produciendo una pérdida patrimonial vitícola (Pons, 2011; Ruiz Pulpón et al., 2017) que la Ley de la Viña y el Vino de Castilla-La Mancha de 2022 desea revertir.

El viñedo en Castilla-La Mancha no solo es una actividad económica importante en términos de superficie cultivada de producción y rentabilidad, sino que también constituye un elemento de identidad regional consolidándose como una región vitivinícola. Además, los aspectos históricos, culturales, ambientales y sociales de Castilla-La Mancha han contribuido al éxito del arraigo territorial del cultivo de la vid, remontándose como mínimo al siglo XVI según la fuente geohistórica *Las Relaciones Topográficas de Felipe II* (Campos y Fernández de Sevilla, 2003; Ruiz Pulpón et al., 2017; Plaza Tabasco et al., 2017; Jorge-Martín, 2020, 2023). La notable dispersión geográfica del viñedo en la región se evidencia por la presencia de viñedos en el 54% de los municipios y en todas sus provincias. Esta diseminación ha permitido que, en 2023, Castilla-La Mancha cuente con 9 Denominaciones de Origen (DO) y 12 Vinos de Pago (VP), lo que demuestra la calidad y diversidad de los vinos producidos en la región (Figura 2).

Figura 2. Área de Estudio: 9 DO y 12 Vinos de Pago



Fuente: Reglamento de los Consejos Reguladores, 2023. Elaboración propia

La diversidad cultural e histórica de Castilla-La Mancha se refleja en cada una de sus subregiones (incluida La Mancha) y en sus Denominaciones de Origen. Cada DO posee matices geográficos, históricos y variedades de uva únicas que la convierten en un potencial activo para el enoturismo. Actualmente, cuatro de estas DO cuentan con sus propias rutas del vino, y otras están en proceso de certificación para ser reconocidas como Ruta del Vino de España. Cabe destacar que, aunque es posible realizar actividades enoturísticas

en lugares sin ruta del vino oficial, la creación de una ruta permite articular adecuadamente el conjunto de recursos enoturísticos, incrementar el número de visitantes y colaborar entre todos los miembros (públicos y privados) para facilitar la promoción conjunta. Por esta razón, y aunque hay actividades enoturísticas al margen de las Denominaciones de Origen, como por ejemplo las realizadas en torno a los Vinos de Pago (Cañizares Ruiz & Ruiz Pulpón, 2020), son las DO las que tienen mayor proyección dentro de la Red RVE (Jorge-Martín, 2023). Todas las provincias de Castilla-La Mancha, al menos parcialmente, están vinculadas con alguna de las nueve Denominaciones de Origen de la región, lo que demuestra la importancia del sector vitivinícola para la identidad y economía de la región.

El principal activo enoturístico de la región reside en las Denominaciones de Origen, cuya conexión con el territorio les confiere un papel fundamental. Este tipo de turismo se desarrolla mayoritariamente en un entorno rural, caracterizado por un componente patrimonial agrícola que se integra de manera armónica con las particularidades regionales, y su efectividad se apoya en la participación en la Feria Internacional de Turismo (FITUR) y en los centros de información como las Oficinas de Turismo (87 en la región), que desempeñan un papel destacado al promover las Rutas del Vino y brindar información sobre bodegas, museos, alojamientos, restaurantes y empresas de turismo. Para optimizar los beneficios del enoturismo, es crucial prolongar la estancia, facilitando especialmente la pernocta. Con un total de 76.889 plazas de alojamiento en 2019, la región se erige como un referente nacional en turismo rural. Además, Castilla-La Mancha ofrece una extensa variedad de restaurantes, bares y cafeterías, con un total de 16.809 establecimientos, lo que no solo facilita el enoturismo, sino que también brinda una atractiva experiencia gastronómica típica (Gobierno de Castilla-La Mancha, 2020).

3. Resultados

3.1. Las Rutas del Vino como elemento vertebrador

La cooperación a nivel nacional e internacional entre los distintos organismos y territorios es fundamental para dar a conocer y promocionar las comarcas vitivinícolas. A nivel internacional, además de promocionarse España y Castilla-La Mancha a través de una treintena de oficinas de turismo de Turespaña, existen diversas iniciativas de promoción enoturística, de las cuales destaca la Red Europea de Ciudades del Vino (RECEVIN), integrada por 11 países y más de 800 ciudades de las cuales 8 se encuentran en Castilla La Mancha. Estas ciudades son Campo de Criptana, Manzanares, Tomelloso, Valdepeñas, Socuéllamos, Corral de Almaguer, La Puebla de Almoradiel y Alcázar de San Juan, esta última ostenta la vicepresidencia de esta Red Europea de Ciudades del Vino. En el caso español existe otra asociación ACEVIN situándose la presidencia, de nuevo, en Alcázar de San Juan.

La asociación ACEVIN, con la colaboración de las distintas rutas del vino y la Secretaría de Estado de Turismo, creó las Rutas del Vino de España de ámbito estatal en 2001, conforme a un Manual de Protocolo que define los requisitos de gestión, señalización, promoción y comercialización, etc., que han de cumplir las rutas, así como un sistema de autorregulación y auditorías (ACEVIN, 2023). En un primer momento fueron seis las rutas que se pusieron en marcha, entre las que se encontraba La Mancha y Jumilla, un hecho que manifiesta la apuesta por el sector enoturístico por parte de las Denominaciones de Origen de la región, pero también de otros espacios elaboradores de España (Romero, 2020). El enoturismo en Castilla-La Mancha se articula, principalmente, a través de las rutas del vino desarrolladas en torno a las DO vinícolas y que se encuentran adheridas a la red de Rutas del Vino de España. Como consecuencia ningún espacio de calidad en la región se quiere quedar fuera y las percibe como una apuesta segura con beneficios derivados de la promoción del vino en los territorios por donde transcurren estas rutas. En la actualidad hay seis rutas del vino en Castilla La Mancha: Jumilla¹, La Mancha, Valdepeñas, Mérida-Toledo, La Manchuela y Almansa, certificada en 2023, además de otros proyectos como la ruta del vino Uclés.

La Ruta del Vino de España va más allá de ser un simple itinerario. Es el agrupamiento alrededor del vino como eje temático de los recursos y servicios turísticos de interés, existentes y potenciales, de una zona limitada al territorio de una Denominación de Origen (DO). Que las RVE se articulen en torno a una DO no es casualidad pues presenta una conexión directa entre las características del producto y su origen. Además, es un nombre que designa un producto agroalimentario y que garantiza un origen concreto con una calidad diferenciada (Prieto Álvarez, 2019). Las DO generan sentimiento de pertenencia a una comunidad y a un territorio y ofrecen una percepción de sello de calidad. Esta percepción del territorio de las empresas, no

¹ Jumilla es una ruta de vino supraautonómica compartida por Castilla-La Mancha y Murcia. Para este estudio se va a contar como una ruta más de Castilla-La Mancha por tener esta región el 60% del territorio de la DO.

solo de las bodegas, pertenecientes a una DO, acoge muy bien el proyecto de crear una Ruta. Las Rutas del Vino de España ofrecen beneficios tanto para el emprendedor, en la promoción conjunta y adaptando sus instalaciones y servicios a los requerimientos de competitividad para su comercialización, como para el turista, que participa en ellas al garantizar unas normas de calidad adecuadas. El territorio por el cual fluyen también se beneficia en particular de tres aspectos: el desarrollo por medio de elementos que la ruta impone para su implantación, la promoción que supone a nivel internacional y el empleo que genera como resultado de la actividad enoturística. Además, suponen una plataforma para atraer enoturistas, y es un turismo complementario con el resto de la oferta turística que tiene en la desestacionalización su mejor baza, pues puede ser disfrutado casi cualquier día del año.

Para maximizar el beneficio del enoturismo es necesario prolongar preciso alargar la estancia, haciendo posible, sobre todo, la pernoctación. La región castellanomanchega contó en el año 2019 con un total de 4.655 alojamientos, lo que se traduce en un total de 76.889 plazas disponibles (Gobierno de Castilla-La Mancha, 2020). La mitad son establecimientos de turismo rural convirtiéndose así Castilla-La Mancha en uno de los principales referentes nacionales del segmento. Además, la vivienda vacacional está en aumento acercándose cada vez más a las cifras hoteleras. Además de las casas rurales hay que destacar la red Paradores de Turismo de España, ocho en funcionamiento y uno que abrirá sus puertas a lo largo de 2024 en Molina de Aragón y que se han convertido en escenarios para la organización de eventos entorno al vino.

Castilla-La Mancha dispone de una amplia oferta de restaurantes, bares y cafeterías, un total de 16.809 establecimientos que facilita el enoturismo y ofrece al turista una interesante gastronomía típica que incluye más allá del queso manchego, platos típicos como el gazpacho manchego, el tiznao, el pisto, el morteruelo, la sopa de ajo, las migas manchegas, la perdiz en escabeche o las chuletillas de cordero manchego que se elaboran con productos como el aceite de oliva de los Montes de Toledo, las berenjenas de Almagro, los ajos morados de Las Pedroñeras, el azafrán de Consuegra, las cebollas de Recas, o postres como la sopa de almendras, las flores manchegas, los mazapanes o incluso el melón de La Mancha.

Tabla 1. N.º de servicios y entidades miembro por RVE en Castilla-La Mancha, 2018-2022

Rutas del Vino en Castilla-La Mancha							Media de las Rutas en C-LM	Media RVE de España	C-LM respecto al total RVE
2018	Servicios enoturísticos	35	-	-	-	-	35	62,26	-43,8%
	Entidades miembro	2	-	-	-	-	2	24,66	-91,9%
	Total	37	-	-	-	-	37	86,92	-57,4%
2019	Servicios enoturísticos	36	52	27	70	-	46,25	71,83	-35,6%
	Entidades miembro	2	8	0	35	-	11,25	28,12	-60,0%
	Total	38	60	27	105	-	57,5	99,95	-42,5%
2020	Servicios enoturísticos	51	53	19	73	-	49	71,93	-31,9%
	Entidades miembro	7	8	6	35	-	14	21,81	-35,8%
	Total	58	61	25	108	-	63	93,74	-32,8%
2021	Servicios enoturísticos	51	53	19	89	-	53	60,39	-12,2%
	Entidades miembro	7	8	6	35	-	14	27,84	-49,7%
	Total	58	61	25	124	-	67	88,23	-24,1%
2022	Servicios enoturísticos	46	66	75	81	36	76	70,58	7,7%
	Entidades miembro	7	11	6	35	11	17,5	22,05	-20,6%
	Total	53	77	81	116	47	93,5	92,64	0,9%

*La ruta Jumilla es compartida entre Castilla-La Mancha y Murcia; *Las rutas La Mancha, La Manchuela y Valdepeñas fueron certificadas en 2019; *La ruta Mérida-Toledo fue certificada en 2022.

Fuente: datos obtenidos de OTRVE. Elaboración propia

El conjunto de socios de las rutas, en la mayor parte de los casos, se ha incrementado. Los socios pueden ser, por un lado, empresas que ofrecen servicios enoturísticos como son las bodegas, restaurantes, alojamientos,

vinotecas, tiendas de alimentación, etc., y por otro lado entidades miembros compuestas por ayuntamientos. La Ruta del Vino Valdepeñas es la que mayor crecimiento ha experimentado pasando de los 27 socios de 2019 a los 81 que tenía en 2022, es decir, un incremento del 300% en tres años debido a una apuesta firme por el papel que juega la ruta en la promoción del vino y en la vertebración del territorio. También han aumentado el número de socios en las rutas de La Mancha y La Manchuela, pasado de los 60 socios a los 77 en la primera entre el 2019 y el 2022, y en el caso de La Manchuela de 105 a 116 en el mismo periodo. En el caso de Jumilla, entre 2018 y 2022 se produce un aumento de socios al pasar de 37 a 53, pero en el último periodo, entre 2021-2022 se ha producido un descenso de cinco socios, ya que en el 2021 eran 58. Finalmente, destaca la aparición de la Ruta de Mérida-Toledo con un total de 47 socios en su primer año de vida. Estas cifras indican el interés por el desarrollo del enoturismo en los espacios vitivinícolas de la región y que, se demuestra en el incremento del número de socios de las distintas rutas, pasando de estar muy por debajo de la media española en 2018, 37 en la única ruta del vino que había en Castilla La Mancha (Jumilla) frente a los 86,92 que había en el conjunto de Rutas del Vino de España, a localizarse por encima de la media española con 93,5 frente a los 92,64 del conjunto nacional, situación que refleja claramente la apuesta por el enoturismo en Castilla La Mancha (Tabla 1).

3.2. Impacto económico del enoturismo en las bodegas de las Rutas en Castilla-La Mancha

Para cuantificar el impacto económico de las visitas a las bodegas como elemento de venta en las Rutas del Vino de España en Castilla-La Mancha, esta investigación aplica la parte de la fórmula que plantean Martínez-Falcó, et al. en *Wine tourism in Spain: The economic impact derived from visits to wineries and museums on wine routes* (2023), referida a las visitas en las bodegas:

Impacto económico de las visitas a bodegas = (número de visitantes en las bodegas de la ruta X precio medio de la visita) + (número de visitantes en las bodegas X gasto medio en tienda por visitante en la bodega)

El estudio se lleva a cabo bajo un enfoque cuantitativo con alcance exploratorio, con el objetivo de analizar la oferta y la demanda de actividades turísticas. Por un lado, se examina la evolución de las instituciones vinculadas a las Rutas del Vino de España en Castilla-La Mancha, mientras que por otro lado se evalúa el impacto económico generado por las visitas a las bodegas.

Para analizar la evolución de la demanda de cada ruta (número de visitantes), la oferta (integrantes de las rutas) y el gasto medio en las visitas a las bodegas se ha utilizado datos proporcionados por el Observatorio Turístico de las Rutas del Vino de España (OTRVE). Los informes de este organismo han posibilitado calcular el impacto económico generado por las visitas a bodegas en cada una de las rutas que transcurren por Castilla-La Mancha en el lustro 2018-2022. El sector del enoturismo experimentó un significativo impacto negativo debido a la COVID-19, registrando una disminución del 72,5% en su impacto económico y del 73,5% en el número de visitantes durante el año 2020 (Martínez-Falcó et al., 2023b). Según datos del OTRVE para el año 2022, se evidencia una progresiva recuperación tanto en términos económicos como en el número de visitantes, acercándose considerablemente a la situación previa a la pandemia.

Por último, y para relacionar las rutas de vino con la figura de calidad DO asociadas a ellas, se han calculado las cuotas de mercado en valor y volumen de las DO. Para ello se ha dividido la comercialización total de vino de cada DO en hl/€ por la venta total de vino en hl/€ de todas las DOP de Castilla-La Mancha. Los resultados han permitido interrelacionar las rutas del vino con las cuotas de mercado de estos espacios de calidad. Para ello se han utilizado los datos proporcionados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) en su último informe *Datos de las Denominaciones de Origen Protegidas (DOPs): Campaña 2020/2021*. Para dicho cálculo se ha dividido el valor económico del comercio total de vino de una DO determinada en € entre la comercialización total de vino de todas las DO existentes en Castilla-La Mancha. Además, se han identificado los tres grupos bodegueros castellanomanchegos más importantes en ingresos de explotación, para conocer la relación entre el impacto económico de las rutas y la presencia de estos grupos vitivinícolas. Para su identificación se ha utilizado la base de datos del Sistema de Análisis de Balances Ibéricos (SABI) y el Código Nacional de Actividades Económicas (CNAE) 1102 correspondiente a la producción vitivinícola.

El análisis de los datos sobre la demanda del enoturismo y los visitantes, tanto en bodegas como en museos, muestra que el enoturismo en Castilla-La Mancha tiene dos desventajas principales. El primero es el bajo número de visitantes (en 2019 recibió solo 2,3% del total de visitantes de las Rutas del Vino) y el segundo el gasto promedio de los enoturistas en la tienda de la bodega que visita la región castellanomanchega respecto a otras regiones españolas. El número de bodegas adheridas a una ruta y el número de visitantes son dos elementos para medir su éxito y Castilla-La Mancha adolece de ambos elementos. De las analizadas,

es Jumilla la que cuenta con el mayor número de socios compuestos por bodegas, con un total de 21, La Mancha con 17, La Manchuela con 10 y Valdepeñas con tan solo 5 bodegas como socias de la su ruta del vino. Es decir, la región solo alberga el 4,5% de las 718 bodegas adheridas a la red de Rutas del Vino de España. Hasta el año 2019 todo parecía indicar que, al igual que en el resto de España, en Castilla-La Mancha había un crecimiento continuado de enoturistas, alcanzando la región la cifra de 107.371 enoturistas entre las cuatro rutas existentes, destacando la Ruta del Vino Jumilla con el 47,87% del total (Tabla 2). Una cifra que representa el 3,49% del total nacional, que alcanzó los 3.076.334, un porcentaje muy bajo si se tiene en cuenta que Castilla la Mancha es la región que concentra en torno al 50% de toda la superficie de viñedo de España y que, además, su ruta más visitada es compartida con otra comunidad autónoma.

Estas cifras empeoraron con la crisis de la COVID-19 al suponer un parón sin precedente en el sector turístico, incluido el enoturismo (Martínez-Falcó et al., 2023), produciéndose en el año 2020 un drástico descenso de los visitantes cayendo a las 39.936 personas en el conjunto de las cuatro rutas castellanomanchegas, lo que supuso el 4,90% del conjunto nacional que en cifras absolutas disminuyó hasta los 814.323 visitantes. Durante los años 2021 y 2022 se ha ido recuperando, ya que las bodegas y, sobre todo los museos, han podido reiniciar su actividad turística tras la pandemia, aunque la recuperación todavía no es completa. Las rutas menos consolidadas, como La Manchuela y La Mancha, son las que encontraron mayores problemas, mientras que rutas como Valdepeñas, quizás gracias al reclamo del Museo del Vino, y, sobre todo, la ruta supraautonómica de Jumilla por su larga trayectoria, han podido reaccionar mejor. En 2021 los enoturistas en Castilla La Mancha fueron 44.075 (2,67% del total nacional), una situación similar a la de 2020, pero la recuperación se observa en 2022, donde casi se han duplicado hasta alcanzar las 81.664 personas (3,28% del total nacional). En este último año hay que contar con una nueva ruta, Méntrida-Toledo, que en su primer año tuvo 4.022 enoturistas, pero, de nuevo, es Jumilla la que aporta la mayoría de los turistas, en concreto, el 61,50% del total, un 13,62% más que en 2019. Las cifras se repiten a las existentes antes de la pandemia, con un papel muy poco representativo de las rutas del vino de Castilla La Mancha frente a otras rutas como Jerez con 333.781 visitantes, Rioja Alta con 313.974 o Ribera del Duero con 281.918, y que en conjunto estas tres rutas aglutinan al 37,38% de los enoturistas, más de once veces que los que reciben las rutas de Castilla La Mancha.

Respecto al análisis del gasto se diferencia entre el precio medio de visita a bodega y el gasto medio del visitante en las tiendas de las bodegas. La suma de ambos, en el año 2022, fue 27,34€ en el caso de las rutas del vino de Castilla La Mancha, y de 37,10€ en el conjunto de las Rutas del Vino de España, es decir, un 26,31% más para el conjunto nacional (Tabla 3).

La evolución de los últimos años ha sido diversa en ambos espacios. Por un lado, en Castilla-La Mancha se partía de cifras más elevadas, 38,08€ en 2018 (aunque solo estaba la ruta del vino de Jumilla) pero ha experimentado un descenso de 10,74€ en 2022. Por otro lado, en el caso del conjunto de las RVE, el gasto total se ha incrementado en estas mismas fechas en 7,33€. Dos situaciones contrapuestas que reflejan una dualidad entre unas rutas y otras en España donde, el hecho de tener viñedos y bodegas no garantiza el éxito, ni tampoco la conformación de una marca territorial. Dentro de Castilla La Mancha, hay diferencias entre rutas, desde los 21,90€ de la Ruta Méntrida-Toledo, la más reciente, hasta los 33€ de La Manchuela, una ruta que lleva en funcionamiento cuatro años, que se encuentra ya consolidada, y que apuesta por el enoturismo y por la elaboración de vinos de calidad diferenciándose de la gran DO La Mancha.

Si se analizan los datos por tipo de gasto se observa que, la mayor diferencia deriva del gasto medio del visitante en las tiendas de las bodegas, siendo de 23,70€ para el conjunto español y de 16,12€ para las rutas de Castilla La Mancha, una cifra que indica que los visitantes se gastan más dinero en vino en las primeras rutas que en las segundas, probablemente porque sean vinos más caros y marcas más reconocidas. En lo relativo al precio medio de la visita a bodega, la diferencia entre ambos espacios es menor, de 2,18€. El papel tan destacado que tienen las cooperativas en esta región, muchas de ellas instalaciones sin ningún atractivo arquitectónico, es un motivo que influye en el menor interés por las visitas, y con ello, del precio de la entrada para acceder a ellas. El enoturismo desempeña un papel crucial en la promoción y venta de las bodegas. Si bien el impacto de la promoción es difícil de cuantificar, los efectos económicos derivados de las visitas a las bodegas sí pueden medirse. Durante el año 2021, los ingresos generados por concepto de visitas y ventas de vino en bodega en las rutas de Castilla-La Mancha superaron los 2 millones de euros. Sin embargo, esta cifra representa apenas un escaso 1% del valor económico total obtenido por la comercialización de vinos de las DO que conforman estas rutas. Por lo tanto, el enoturismo desarrollado por las bodegas de Castilla-La Mancha tiene una influencia relativamente limitada en la actualidad. Únicamente en las rutas del vino de Jumilla y Manchuela, el impacto económico del enoturismo alcanzó aproximadamente el 3% de los ingresos totales de dichas DO por la venta de vino durante el año 2021. Además, tres de las DO con rutas del vino acaparan más del 90% del valor de mercado de las ventas y más del 95% del volumen comercializado. Estas DO se caracterizan por tener precios medios más bajos y por albergar a los grupos vitivinícolas enfocados en el segmento de precios económicos (Tabla 4).

Tabla 2. Evolución del N.º de visitantes de las RVE en Castilla-La Mancha, 2018-2022

Rutas del Vino en Castilla-La Mancha							Conjunto de las Rutas	Variación respecto año anterior
2018	Visitantes a bodegas	38.448	-	-	-	-	38.448	-
		90,0%	-	-	-	-	90,0%	-
	Visitantes a museos	4.274	-	-	-	-	4.274	-
		10,0%	-	-	-	-	10,0%	-
	Total	42.722	-	-	-	-	42.722	-
% internacional	42,8%	-	-	-	-	42,8%		
2019	Visitantes a bodegas	41.464	16.092	2.492	22.308	-	82.356	43.908
		88,0%	67,1%	17,8%	100,0%	-	76,7%	
	Visitantes a museos	5.641	7.897	11.477	0	-	25.015	20.741
		12,0%	32,9%	82,2%	0,0%	-	23,3%	
	Total	47.105	23.989	13.969	22.308	-	107.371	139,8%
% internacional	38,40%	5,70%	4,70%	6,00%		13,70%	-68,0%	
2020	Visitantes a bodegas	13.359	4.634	554	3.783	-	5.583	-76773,5
		98,5%	43,9%	4,6%	100,0%	-	14,0%	
	Visitantes a museos	208	5.921	11.477	0	-	2.564	-22451
		1,5%	56,1%	95,4%	0,0%	-	6,4%	
	Total	13.567	10.555	12.031	3.783	-	39.936	-62,8%
% internacional	23,8%	0,3%	4,7%	2,3%		12,0%	-12,4%	
2021	Visitantes a bodegas	24.055	4.003	314	2.683	-	31.055	25.473
		81,0%	47,5%	9,6%	100,0%	-	70,5%	
	Visitantes a museos	5.641	4.430	2.949	0	-	13.020	10.456
		19,0%	52,5%	90,4%	0,0%	-	29,5%	
	Total	29.696	8.433	3.263	2.683	-	44.075	10,4%
% internacional	30,2%	2,5%	85,8%	0,5%		15,1%	26,2%	
2022	Visitantes a bodegas	40.778	12.131	1.359	4.022	550	58.840	27.785
		81,2%	65,3%	20,8%	100,0%	23,8%	72,1%	
	Visitantes a museos	9.438	6.438	5.184	0	1.764	22.824	9.804
		18,8%	34,7%	79,2%	0,0%	76,2%	27,9%	
	Total	50.216	18.569	6.543	4.022	2.314	81.664	85,3%
% internacional	31,0%	5,4%	2,4%	3,0%	1,2%	20,6%	36,3%	

*La Ruta del Vino Jumilla es compartida entre Castilla-La Mancha y Murcia.

*Las Rutas del Vino La Mancha, La Manchuela y Valdepeñas fueron certificadas en 2019 y la de Mérida-Toledo en 2022.

Fuente: datos obtenidos de OTRVE. Elaboración propia

Tabla 3. Análisis del gasto en las visitas a bodegas en Rutas del Vino en Castilla-La Mancha

Rutas del Vino en Castilla-La Mancha							Media de las Rutas en C-LM	Media RVE de España	C-LM respecto al total RVE
2018	Precio medio de la visita a bodega	10,77 €	-	-	-	-	10,77 €	9,79 €	110%
	Gasto medio del visitante en las tiendas de la bodegas	27,31 €	-	-	-	-	27,31 €	19,98 €	137%
	Total	38,08 €	-	-	-	-	38,08 €	29,77 €	128%
2019	Precio medio de la visita a bodega	11,79 €	7,00 €	8,00 €	10,33 €	-	9,28 €	10,12 €	92%
	Gasto medio del visitante en las tiendas de la bodegas	28,14 €	16,73 €	8,42 €	26,13 €	-	19,86 €	20,68 €	96%
	Total	39,93 €	23,73 €	16,42 €	36,46 €	-	29,14 €	30,80 €	95%
2020	Precio medio de la visita a bodega	9,19 €	9,50 €	6,00 €	10,25 €	-	8,74 €	10,90 €	80%
	Gasto medio del visitante en las tiendas de la bodegas	19,13 €	17,92 €	40,00 €	28,75 €	-	26,45 €	22,19 €	119%
	TOTAL	28,32 €	27,42 €	46,00 €	39,00 €	-	35,19 €	33,09 €	106%
2021	Precio medio de la visita a bodega	10,00 €	10,33 €	6,00 €	10,50 €	-	9,21 €	11,86 €	78%
	Gasto medio del visitante en las tiendas de la bodegas	25,00 €	44,02 €	4,03 €	44,59 €	-	29,41 €	25,65 €	115%
	TOTAL	35,00 €	54,35 €	10,03 €	55,09 €	-	38,62 €	37,51 €	103%
2022	Precio medio de la visita a bodega	11,10 €	12,00 €	9,50 €	11,00 €	12,50 €	11,22 €	13,40 €	84%
	Gasto medio del visitante en las tiendas de la bodegas	17,10 €	18,60 €	13,50 €	22,00 €	9,40 €	16,12 €	23,70 €	68%
	TOTAL	28,20 €	30,60 €	23,00 €	33,00 €	21,90 €	27,34 €	37,10 €	74%

*La ruta Jumilla es compartida entre Castilla-La Mancha y Murcia; *Las rutas La Mancha, La Manchuela y Valdepeñas fueron certificadas en 2019.
*La ruta Mérida-Toledo fue certificada en 2022.

Fuente: datos obtenidos de OTRVE y MAPA. Elaboración propia

Tabla 4. Impacto económico de la visita a bodegas e importancia entre las DDOO en C-LM

Rutas del Vino Castilla-La Mancha	Impacto económico de las visitas a bodegas 2022	Valor económico comercio total vino con DO 2021/2022	% Impacto económico directo de las visitas a bodegas	DO vinculada a la ruta	Volumen vino calificado DO (hl) 2021/2022	Cuota de mercado DO (hl) respecto al total	Cuota de mercado DO (€) respecto al total	Precio €/l vino DO 2021/2022	Grupos vitivinícolas destacados
	1.149.940 €	49.465.170 €	2,32%	DO Jumilla	197.799	22,0%	21,0%	2,50 €	Grupo García Carrion
	371.209 €	71.961.230 €	0,52%	DO La Mancha	271.453	30,2%	30,6%	2,62 €	Virgen de las Viñas y Almazara
	31.257 €	84.254.025 €	0,04%	DO Valdepeñas	399.989	44,5%	35,8%	1,87 €	Grupo Félix Solis Avantis
	132.726 €	4.945.550 €	2,68%	DO Manchuela	22.888	2,5%	2,1%	2,73 €	-
	12.045 €	1.398.633 €	0,86%	DO Mérida	7.480	0,8%	0,6%	3,09 €	-
Incorporación a RVE (incorporada a finales de 2023)		16.541.217 €	-	DO Almansa	63.974	7,1%	7,0%	3,14 €	-
Incorporación a RVE (sin fecha)		4.945.352 €	-	DO Uclés	26.288	2,9%	2,1%	2,18 €	-
Incorporación a RVE (sin fecha)		828.500 €	-	DO Ribera del Júcar	4.980	0,6%	0,4%	3,49 €	-
No existe ruta		875.925 €	-	DO Mondéjar	1.573	0,2%	0,4%	6,28 €	-
Total	1.697.176 €	235.215.602 €	0,72%		899.609	100,0%	100%	2,29 €	-

*La Ruta del Vino Mérida-Toledo fue certificada en 2022; * La Ruta del Vino Jumilla y la DO Jumilla (supraautonómica) abarcan 4 municipios de Castilla-La Mancha y 1 de Murcia.

Fuente: datos obtenidos de OTRVE, MAPA y SEBI. Elaboración propia

Por otro lado, las DO más pequeñas logran obtener precios medios más altos gracias a su capacidad de diferenciación de productos en comparación con los grandes grupos bodegueros de la región. Esta diferenciación del producto resulta atractiva para los visitantes de las Rutas del Vino, ya que buscan vivir una experiencia enoturística singular.

4. Discusión de resultados

4.1. Sobre las Denominaciones de Origen vinícolas y su vínculo con el territorio

La globalización y la creciente competencia en los mercados imponen a los productores y exportadores de alimentos la necesidad de agruparse en marcas colectivas que operen como paraguas dentro de un marco geográfico y productivo compartido (Yagüe & Jiménez, 2002). En el contexto específico del sector vitivinícola de Castilla-La Mancha, esta integración en Denominaciones de Origen no solo se vuelve una estrategia esencial, sino que también abre la puerta a la captación de externalidades positivas, como el enoturismo, derivadas de su pertenencia a un distrito industrial. Esto resulta especialmente atractivo para las bodegas emergentes y aquellas que buscan elementos distintivos (Barco Royo, 2007; Compagnone, 2012). Además, es importante destacar que, en Castilla-La Mancha, las DO vinícolas abarcan la mayoría de la superficie dedicada al cultivo de la vid en la región.

Las Denominaciones de Origen, como parte de la estrategia que aprovecha los elementos territoriales, desempeñan un papel fundamental en la diferenciación al certificar la procedencia del producto, lo que garantiza la existencia y singularidad de dichos elementos territoriales (Yagüe & Jiménez, 2002; Moragues Faus et al., 2020). En el contexto del vino, esta certificación se traduce en un valor añadido significativo porque, con el paso del tiempo, los consumidores han establecido una asociación positiva entre calidad y DO, lo que también las convierte en un atractivo para el enoturismo. Sin embargo, es importante reconocer que, en ciertos casos particulares, como el de la DO La Mancha, se ha experimentado un efecto contrario, ya que sus vinos suelen asociarse comúnmente con productos a granel de bajo costo y vinos embotellados convencionales. Esta situación ha llevado a algunos territorios a buscar su propia diferenciación a través de la creación de DO de menor tamaño, como Uclés, Ribera del Júcar, Manchuela o los Pagos (Ruíz Pulpón, 2013). Asimismo, se han iniciado proyectos para establecer nuevas DO, como el caso de Campo de Calatrava, un territorio de origen volcánico. Además, las regiones con una rica tradición vitivinícola, como Castilla-La Mancha, encuentran en su autenticidad su recurso fundamental para destacar en comparación con las áreas que carecen de esta larga historia como América, Australia, Sudáfrica (Duarte Alonso & O'Neill, 2009; Cañizares Ruiz & Ruiz Pulpón, 2014; Singh & Wagner, 2022). Estos territorios se ven forzados a enfocar sus estrategias en aspectos distintos de su identidad vinícola. Sin embargo, destaca que la política comercial tradicional adoptada por muchas bodegas castellanomanchegas, basada en la competencia mediante precios bajos, no concuerda plenamente con su valiosa herencia histórica. Esta discrepancia debilita sectores económicos, como la exportación de vino de calidad y el desarrollo del enoturismo.

Cuando las empresas optan por exportar productos de alta calidad y con valor añadido, como el vino diferenciado, deben adoptar una mentalidad proactiva porque no es posible comercializar con éxito productos de alto valor añadido que, de hecho, se convierte en la clave para la supervivencia en los mercados de exportación. Aunque la mayor parte de los enoturistas de las rutas del vino de Castilla-La Mancha son de origen nacional (79,4%), una quinta parte (20,6%) ya son de procedencia internacional y tienden a ir en aumento. La afluencia de visitantes extranjeros en las rutas del vino favorece tanto la compra en bodega como la proyección de los vinos de Castilla-La Mancha en los mercados internacionales, pues a su regreso, el cliente suele demandar el vino del territorio que ha visitado si la experiencia enoturística fue satisfactoria. La orientación de las bodegas hacia la producción y exportación de vinos de calidad no solo tiene un impacto en las propias bodegas, sino que también influye en el precio del viñedo y en la materia prima principal, la uva, ya que mejora la imagen del territorio. Además, este cambio de actitud en las empresas tiene un efecto positivo en el interés de los enoturistas por la región, lo que resulta en beneficios económicos y en una mejor percepción de la imagen de la zona. Asimismo, esta orientación hacia la creación de valor añadido repercute directamente en toda la industria, incluso en el segmento de vinos a granel, ya que contribuye a aumentar el valor de la materia prima.

4.2. Sobre las Rutas del vino en torno a las DO

En el ámbito del enoturismo, para lograr un desarrollo a mayor escala que lo que una sola bodega podría alcanzar, se requiere una organización y una infraestructura adecuadas (Potente Castro et al., 2023). Las Rutas

del Vino desempeñan un papel fundamental como motores de dinamización socio-territorial al aprovechar los recursos territoriales para unir la oferta y la demanda en el turismo del vino (Fernández Portela & Vidal Domínguez, 2020).

En el caso de Castilla-La Mancha, el enoturismo se articula principalmente a través de las Rutas del Vino de España, centradas en torno a las Denominaciones de Origen (DO), aunque existen otras iniciativas aparte, de menor impacto, como las relacionadas con los Vinos de Pago. Las rutas del vino han aprovechado las sinergias de pertenecer a una misma DO para establecerse. En 2023 la región cuenta con seis rutas del vino: Jumilla, La Mancha, Valdepeñas, Mérida-Toledo, La Manchuela y Almansa, certificada en 2023, sugiriendo una tendencia hacia la creación de una ruta en cada DO. En cuanto a las actividades enoturísticas llevadas a cabo por los Pagos vitivinícolas en la región, no ha sido posible cuantificar su impacto ni el número de visitantes, dado que no están incluidos en las Rutas del Vino de España, que constituyen la principal fuente estadística de esta investigación. A pesar de esta limitación, informadores clave como directores técnicos y gerentes, específicamente de los Pagos Guijoso y Pago de La Jaraba, han colaborado al facilitar información a través de entrevistas abiertas durante el mes de octubre de 2023, permitiendo obtener un conocimiento directo de sus actividades turísticas y de exportación. Ambos Pagos sostienen que su recurso territorial, el paisaje vitivinícola, favorece la actividad exportadora de sus empresas y que han integrado el enoturismo en sus negocios. En el caso de Pago Guijoso (El Bonillo), ubicado en un enclave privilegiado en el Campo de Montiel, según la información proporcionada por su gerente Pedro Carrascosa, elementos territoriales distintivos, como los intangibles relacionados con las singulares características de su vegetación circundante con sabinas, se destacan a través de las etiquetas de las botellas, al igual que los numerosos guijarros presentes en sus viñedos y que dan nombre al Pago. Estos elementos allanan el camino para el desarrollo de actividades turísticas que generan beneficios mediante la venta directa en la bodega (P. Carrascosa, comunicación personal, 16 de octubre de 2023). En el caso de Pago la Jaraba (Villarrobledo), ubicado en el corazón de La Mancha, su director técnico, Francisco Fernández, estima en aproximadamente 2000 visitantes, en su mayoría en grupos, durante el año 2022 (F. Fernández, comunicación personal, 16 de octubre de 2023). En ambos Pagos se llevan a cabo otras actividades agrarias, como la producción de queso y, en el caso de La Jaraba, la producción de aceite de oliva. Todo esto contribuye a la sostenibilidad de las exportaciones, no solo por los ingresos que generan, sino también por la imagen de marca que proyectan hacia el exterior.

A pesar de la presencia de un número significativo de Rutas del Vino la región no ocupa una posición destacada en cuanto al número de visitantes ni en lo que respecta al precio medio de sus vinos. Surge la pregunta de si existe alguna relación entre el interés por el enoturismo en una región y el precio medio de sus vinos. Además, se plantea la cuestión de por qué la región castellanomanchega enfrenta dificultades para consolidar las rutas del vino y aumentar su valor añadido. ¿Se debe esto a la actitud o a la falta de recursos territoriales que puedan contribuir al valor añadido del vino? Parece evidente que la labor de comercialización y marketing es crucial tanto para el éxito en la exportación como para atraer visitantes (Carnicer Sospedra, 2016; Molina Collado & Gómez Rico, 2022), una área en la que la región ha carecido debido a la falta de valor añadido en el vino que pueda realzar el producto en sí y sus elementos complementarios, como el enoturismo. Además, se destaca que, a mayor valor económico de un vino, mayor es el interés que despierta su región de origen entre los enoturistas, principalmente por la imagen que proyecta. En este sentido, Castilla-La Mancha está desaprovechando las oportunidades, a pesar de contar con los recursos necesarios para aumentar tanto las infraestructuras como el patrimonio. El enoturismo se presenta como una herramienta adicional para obtener beneficios, promocionar el vino y, en última instancia, impulsar la supervivencia en el mercado de exportación.

4.3. Sobre los beneficios y oportunidades del enoturismo

A pesar de que Castilla-La Mancha posee la mayor extensión de viñedos, se observa un retraso significativo en su desarrollo en el ámbito del enoturismo. Esta situación sugiere que, hasta la fecha, el enoturismo no ha desempeñado un papel destacado como herramienta de promoción en la región, a pesar de que existe un potencial latente para que así sea en el futuro. Por un lado, se destaca la importancia de aumentar el valor añadido a través de elementos como la historia, que funciona como un elemento arraigado al territorio, los componentes del espacio geográfico en el que se encuentra junto con la singularidad de su paisaje como elemento o dimensión patrimonial, y el cultivo de variedades autóctonas, además del método de elaboración de los vinos (Elías Pastor, 2016). Estos elementos se presentan como claves en las estrategias comerciales de diferenciación y las singularidades de las distintas Denominaciones de Origen (DO) en Castilla-La Mancha se convierten en herramientas disponibles para las bodegas que forman parte de ellas. Por otro lado, se

observa un creciente interés en el turismo relacionado con el vino entre los enoturistas y los posibles visitantes, lo que convierte a esta actividad económica en una herramienta adicional al alcance de las bodegas para su promoción y venta.

Así como la actividad exportadora requiere de iniciativa, resulta notable que los bodegueros de Castilla-La Mancha, a pesar de contar con un valioso patrimonio arquitectónico y cultural, una rica tradición vinícola y gastronómica, y el papel diferenciador que desempeña el paisaje como expresión de diversidad territorial y vitivinícola en la comercialización de los vinos de espacios vitivinícolas como los del Duero (Baraja et al., 2023), raramente se perciben a sí mismos como participantes activos en la industria turística. En el contexto de Castilla-La Mancha, según señalan Ruiz Pulpón y Cañizares Ruiz (2022), los recursos patrimoniales, tanto tangibles como intangibles, representan un factor crucial para la diversificación de la vitivinicultura al aportar identidad territorial y diferenciación. Estos recursos son fundamentales para generar externalidades positivas, como el enoturismo y, sin embargo, en la región persiste una falta de correspondencia entre el número y la importancia de las iniciativas en enoturismo y la relevancia del sector vitivinícola.

En contraste, en países con arraigada tradición vitivinícola como Francia e Italia, así como en otras como Sudáfrica, Canadá o Australia, las bodegas han adoptado el enoturismo como una estrategia efectiva para promocionar sus vinos y generar ventas directas. En estos países, entre el 20% y el 35% de los ingresos provenientes de las ventas directas de vino en las pequeñas bodegas se deriva del enoturismo, llegando incluso al extremo de que en los Estados Unidos existen bodegas que comercializan la totalidad de su producción a través de esta vía (Lee, 2021). En Europa el enoturismo ha florecido gracias al desarrollo de rutas vinícolas con resultados que superan ampliamente lo alcanzado en España. Un ejemplo notorio es el caso de Italia, que recibe anualmente a 16 millones de enoturistas, generando ingresos que representan en promedio el 26,9% de los ingresos de las bodegas. Francia, por su parte, ha colocado al enoturismo en el centro de su estrategia turística, atrayendo alrededor de 10 millones de enoturistas al año, de los cuales el 42% son extranjeros (Gerbal-Medalle y Hannin, 2021). Incluso en Alemania, se registran 7,2 millones de enoturistas, contribuyendo con el 24% de las ventas totales de las bodegas (Tafel & Szolnoki, 2021). Las bodegas reconocen en el enoturismo una gran oportunidad de negocio, dada su capacidad para generar ingresos, promocionar el vino y mejorar la imagen del producto. De acuerdo con el estudio más reciente de Wesgro Research, publicado en marzo de 2023, en Western Cape, algunos de los mayores beneficios y oportunidades que el enoturismo brinda a las bodegas incluyen el reconocimiento de la marca (85%), ventas adicionales (84%) y la creación de lealtad a la marca (66%) (Wesgro, 2023). No obstante, es importante destacar que el enoturismo se erige como una herramienta valiosa para la supervivencia exportadora de las bodegas cuando se acompaña de un adecuado valor añadido. La creación de este valor añadido en el contexto de Castilla-La Mancha está intrínsecamente vinculada a la mentalidad, la cual presenta notables variaciones no solo entre las diferentes subzonas de la región, sino también entre los tipos de empresas, ya sean bodegas privadas o cooperativas.

Las empresas turísticas relacionadas con el vino requieren la colaboración de diversas entidades aportando cada una su valiosa contribución. La concentración de empresas vinícolas en una misma zona, especialmente cuando están vinculadas a una Denominación de Origen, crea distritos industriales o clúster que favorecen el desarrollo del enoturismo (Figura 4). Este fenómeno se refleja en las rutas asociadas a las diferentes DO de la región, así como en aquellas que forman parte de la red de Rutas del Vino a nivel nacional. En la región central de La Mancha es donde se concentra la mayor parte de la producción de uva y las cooperativas que inicialmente cuentan con la capacidad financiera para emprender proyectos enoturísticos. Sin embargo, investigadores de la Universidad de Castilla-La Mancha señalan que la ruta del vino de La Mancha (la más extensa de la región) no ha alcanzado su máximo potencial debido al “escaso interés de las grandes cooperativas que no ven beneficios inmediatos en la política enoturística” (Plaza Tabasco et al., 2017, p. 566). A esto se suma la falta de iniciativa en relación con las nuevas demandas de carácter cultural y turístico.

La falta de interés en el enoturismo en la mayoría de las cooperativas vitivinícolas de la región se origina, en gran parte, en la escasa atención dedicada a la exportación, especialmente por parte de las cooperativas más pequeñas, que son la mayoría. Estas cooperativas tienden a enfocarse principalmente en las etapas iniciales de la producción dejando en segundo plano la comercialización y, aún más, la comercialización en el extranjero o las actividades de enoturismo. Esto se refleja, por ejemplo, en la subutilización de las ayudas europeas destinadas a la promoción exterior en terceros países en contraposición al uso extendido de ayudas para mejorar las instalaciones vitícolas o de almacenamiento en las cooperativas (Jorge-Martín, 2023). Esta tendencia se extiende a otras actividades comerciales como la promoción del enoturismo, que a menudo se percibe más como un gasto que como una inversión. Además, la predominancia de la producción

a granel, que agrega un valor añadido mínimo, contribuye a la falta de interés en la promoción en general. Estos problemas se ven exacerbados por la avanzada edad de los miembros de las cooperativas y la falta de una sucesión generacional, lo que representa un obstáculo significativo para el desarrollo del enoturismo a menos que se produzca un cambio fundamental en la mentalidad. La valorización de los elementos territoriales emerge como el primer y crucial paso en esta transformación de actitud.

Figura 3. Paisaje vitivinícola con resto de encinares en Mota del Cuervo (Cuenca, España)



Fotografía de los autores

5. Conclusiones

Esta investigación ha contribuido a responder a la cuestión inicial de “cómo convertir a nuestros turistas en clientes”. En primer lugar, la actividad exportadora y las actividades turísticas agroalimentarias tienen, en el caso del sector vitivinícola, un denominador común: el territorio. Esto significa que los resultados del estudio además de ser interesantes para la comunidad académica también lo son para las bodegas exportadoras, para el sector enoturístico, y para los entes como las DO. En segundo lugar, los mismos elementos que componen la base del valor añadido del vino de calidad diferenciada, historia, geografía y modo de producción, sirven de fundamento para generar externalidades como el enoturismo, del que las propias bodegas, mediante la visita a sus viñedos e instalaciones, son la piedra angular. En tercer lugar, se confirma la premisa de que la dimensión territorial del enoturismo establece una especial y estrecha relación con el paisaje y el patrimonio vitivinícola. Y, por último, en cuarto lugar, el enoturismo se configura como una herramienta altamente eficaz para las bodegas exportadoras, al permitirles promocionar directamente sus vinos y constituir una vía de comercialización. Sin embargo, surge el interrogante acerca del impacto económico directo de las visitas enoturísticas a las bodegas en Castilla-La Mancha y de qué manera estas experiencias contribuyen a la promoción y venta de vino, tanto a nivel local como en el mercado de exportación. A diferencia de otras regiones con mayor trayectoria y afluencia de enoturistas, donde el impacto económico en las bodegas es significativo debido al mayor número de visitantes y al precio superior de los vinos, en Castilla-La Mancha la situación difiere. La región experimenta un menor número de visitantes y un precio medio del vino más bajo, principalmente debido a la falta de valor añadido. Además, la falta de experiencia en esta actividad contribuye a que el impacto económico de las visitas en las bodegas no sea tan significativo como en otras regiones. No obstante, la promoción tanto del vino como del territorio de origen desempeña un papel crucial porque genera una demanda creciente del vino, incrementa las visitas y, sobre todo, impulsa la participación progresiva de las bodegas en esta actividad. Aunque el impacto económico directo en bodega pueda no ser tan pronunciado en este momento, la proyección a largo plazo radica en la consolidación de la región como un destino enoturístico de referencia, lo cual contribuirá de manera sustancial a la economía local y a la promoción de los vinos castellanomanchegos.

A pesar de las contribuciones de este trabajo es necesario destacar dos limitaciones importantes. En primer lugar, se excluyeron las actividades enoturísticas que se desarrollan fuera de las RVE por falta de datos, específicamente aquellas llevadas a cabo por los Pagos vitivinícolas y las bodegas bajo Identificación

Geográfica Protegida (IGP). En segundo lugar, cabe señalar la limitación derivada de la inclusión de una ruta de carácter supraautonómico, como es el caso de la ruta de Jumilla. Es relevante mencionar que el 40% de esta ruta transcurre por suelo murciano, lo que impidió la segregación de datos proporcionados conjuntamente.

Respecto a la primera limitación, es importante mencionar que la exclusión en este estudio de actividades enoturísticas externas a la red de RVE abre una interesante línea de investigación futura, observándose a través de las entrevistas a los Pagos que la intensidad enoturística (número de visitantes) es superior que en las bodegas adheridas a alguna ruta del vino en Castilla-La Mancha. Dado que el precio del Vino de Pago es superior al de la DO, y que la puesta en valor del territorio es considerable en el caso de los Pagos, hay indicios que sugieren una mayor actividad enoturística en los Pagos, observándose además sinergias comerciales con otros productos agroalimentarios elaborados en estos espacios vitivinícolas.

Además, surge otro factor que merece un estudio adicional, relacionado con la característica de la triada mediterránea que con frecuencia se presenta en la región de Castilla-La Mancha. Los Pagos suelen ofrecer turismo en torno al aceite de oliva y/o al queso manchego (oleoturismo y lacteoturismo). Sería interesante investigar las posibles sinergias generadas por estos tres tipos de turismo. El enoturismo se articula principalmente mediante las Rutas del Vino de España en torno a las DO. Teniendo en cuenta que uno de cada cuatro visitantes de las Rutas del Vino de España es extranjero y el incremento de la venta de vino a través de las visitas, el turismo del vino se presenta como una herramienta que favorece la supervivencia exportadora y, en el caso de Castilla-La Mancha, puede apoyarse en el turismo gastronómico al contar la región con diversos productos agroalimentarios de renombre. Ambos tipos de turismo están integrados en los programas regionales de turismo, donde la cocina tradicional y los paisajes en torno al *Quijote* resaltan debido a la universalidad de esta novela renacentista de Cervantes que han conformado cuatro siglos de imagen literaria de la llanura manchega (Pillet Capdepón, 2011; Pons, 2011). A esto hay que añadir el valor añadido que proviene de los elementos territoriales, tales como la geografía, la historia y el modo de producción.

En este contexto surge la pregunta crucial: ¿Está dispuesto este sector a realizar inversiones a medio y largo plazo para realzar los elementos territoriales que lo diferencian? ¿O seguirá anclado en una actitud reactiva? Y, en relación con el turismo enológico, ¿seguirá el mismo camino que las exportaciones de vino, es decir, exportar solo cuando no quede otra opción, o aprenderá de los errores y adoptará una actitud proactiva para integrar el enoturismo como parte fundamental del negocio de las bodegas castellanomanchegas? La influencia de futuros estudios en este ámbito será determinante y requerirá la colaboración de diversas instituciones, bodegas, departamentos académicos, empresas agrarias, entidades de formación profesional y empresas vinculadas a la actividad turística. Estas cuestiones abiertas invitan a un debate necesario sobre el camino a seguir para aprovechar plenamente el potencial del enoturismo en la región y su contribución a la supervivencia exportadora, subrayando la importancia de la acción proactiva y la inversión en la promoción de los elementos territoriales como activos diferenciales. Además, se abren líneas de investigación en torno al impacto económico de las visitas a bodegas en otras categorías de calidad minoritarias, como los Pagos o las IGP, se propicia el impulso para la inclusión de territorios vitivinícolas en la UNESCO con el objetivo de estimular el turismo internacional de calidad y elevar la valía de su vino al nivel de sus contrapartes francesas e italianas, y, además, se sientan las bases para llevar a cabo acciones similares en territorios que apuesten por la identidad en la elaboración y exportación de productos agroalimentarios de calidad como el aceite de oliva.

Referencias

- Asociación Española de Ciudades del Vino (ACEVIN). (2023). *Guía práctica de turismo sostenible Rutas del Vino de España*. ACEVIN y Rutas del Vino de España. <https://wineroutesofspain.com/publicaciones/>
- Baraja, E., Herrero, D., & Martínez, M. (2023). Paisaje y viñedos en la DO “Rueda”: de la diferenciación a la singularidad. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (98). <https://doi.org/10.21138/bage.3492>
- Barco Royo, E. (2007). Denominaciones de origen. *Distribución y consumo*, 96, 27-41.
- Campos y Fernández de Sevilla, F.J. (2003). La vid y el vino en Castilla La Nueva según las Relaciones Topográficas de Felipe II. *Cuadernos de Estudios Manchegos*, 27, 39-63.
- Cañizares Ruiz, M.C., & Ruiz Pulpón, Á.R. (2014). Evolución del paisaje del viñedo en Castilla-La Mancha y revalorización del patrimonio agrario en el contexto de la modernización. *Scripta Nova*, 18, 463-499.
- Cañizares Ruiz, M.C., & Ruiz Pulpón, Á.R. (2020). Paisajes del viñedo, turismo y sostenibilidad: interrelaciones teóricas y aplicadas. *Investigaciones Geográficas*, (74), 9-28. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.CRRP>
- Cañizares Ruiz, M.C., & Ruiz Pulpón, Á.R. (Coords). (2022). *Paisajes culturales agrarios en Castilla-La Mancha*. Thomson Reuters.
- Carlsen, P. (2004). A review of global wine tourism research. *Journal of Wine Research*, 15(1), 5-13. <https://doi.org/10.1080/0957126042000300281>
- Carnicer Sospedra, D., (2016). *Price in International Marketing*. Madrid: ESIC Editorial.
- Compagnone, C. (2012). Les appellations d’origine contrôlée comme ordre négocié. *Dans Négociations*, 18(2), 63-80. <https://doi.org/10.3917/neg.018.0061>
- Colombini, D. (2015). Wine tourism in Italy. *International Journal of Wine Research*, 7(1), 29- 35. <https://doi.org/10.2147/IJWR.S82688>
- De Jesús Contreras, D., & Medina, F.X. (2021). El papel de las empresas trasnacionales en la promoción y desarrollo del enoturismo. Estudios de caso etnográficos en México y España. *Investigaciones Turísticas*, (22), 304–326. <https://doi.org/10.14198/INTURI2021.22.13>
- Duarte Alonso, A., & O’Neill, M.A. (2009). Wine tourism in Spain: The case of three wine regions. *Tourism: An International Interdisciplinary Journal*, 57(4), 405-420.
- Elías Pastor, L.V. (Ed.). (2016). *Atlas del cultivo tradicional del viñedo y de sus paisajes singulares*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Feria Internacional de referencia del vino español (FENAVIN). (2023). Feria Nacional del Vino. <http://www.fenavin.com/>
- Fernández Portela, J., & Vidal Domínguez, M.^a J. (2020). Wine routes as engines of socio-territorial dynamisation: the case of Castilla y León. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 84, 2789, 1–36. <https://doi.org/10.21138/bage.2789>
- Ferreira, S., & Hunter, C. (2017). Wine tourism development in South Africa: a geographical analysis. *Tourism Geographies*, 19(5), 676-698. <https://doi.org/10.1080/14616688.2017.1298152>
- García, J., López-Guzmán, T., & Cañizares, S. (2015). Análisis del desarrollo del enoturismo en España—Un estudio de caso. *CULTUR-Revista de Cultura e Turismo*, 4(2), 51-68.
- García López, A.M. (2008). El sistema enoturístico español: nuevos productos al servicio de la cultura y el turismo. In *Investigaciones turísticas. Una perspectiva multidisciplinar: I jornadas de investigación en turismo Sevilla*. Universidad de Sevilla.
- Gerbal-Medalle, F., & Hannin, H. (2021). Wine tourism in France. In R. Compés & G. Szolnoki (Eds.), *Sustainable and innovative wine tourism: success models from all around the world* (pp. 183-196). Cajamar.
- Getz, D. (2000). *Explore wine tourism: management, development and destinations*. Cognizant.
- Gobierno de Castilla-La Mancha (2020). *Plan estratégico de turismo 2020-2023*.

- González Morales, A., Ramón Ojeda, A., & Hernández Torres, S. (2015). El cultivo del viñedo como recurso turístico cultural: el caso de La Geria (Lanzarote, Islas Canarias, España). *Papeles de Geografía*, 61, 109–121. <https://doi.org/10.6018/geografia/2015/227911>
- Hall, C. M., & Macionis, N. (1998). Wine tourism in Australia and New Zealand. In R. Butler, M. Hall, & J. Jenkins (Eds.), *Tourism and recreation in rural areas* (pp. 197–224). John Wiley & Son Ltd.
- Hall, C.M., Sharples, E., Cambourne, B., & Macionis, N. (Eds.). (2000). *Wine tourist around the world: Development, management and markets*. Elsevier Science.
- Harsányi, D., & Hlédik, E. (2022). Attractiveness of wine region types: how less popular wine regions can attract wine tourists? *International Journal of Wine Business Research*. <https://doi.org/10.1108/ijwbr-09-2021-0046>
- Jiménez, J., & Sevilla, C. (2008). Enoturismo: un producto emergente con gran potencial de crecimiento en España. *Revista de Economía Castilla-La Mancha*, 13, 305–327.
- Jorge-Martín, R. (2020). El arraigo territorial en la internacionalización del vino español. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, 53, 501–526. <https://doi.org/10.54571/ajee.451>
- Jorge-Martín, R. (2023). *El territorio como factor de éxito en la supervivencia exportadora: el vino en Castilla-La Mancha*. [Doctoral thesis, Universidad Nacional de Educación a Distancia, UNED]. <http://e-spacio.uned.es/fez/view/tesisuned:ED-Pg-HHAT-Rjorge>
- Lavandoski, J., Vargas-Sánchez, A., Pinto, P., & Silva, J. (2018). Causes and effects of wine tourism development in organizational context: The case of Alentejo, Portugal. *Tourism and Hospitality Research*, 18(1), 107–122. <https://doi.org/10.1177/1467358416634159>
- Lee, K. (2021). Wine Tourism from a Business Perspective. In R. Compés & G. Szolnoki (Eds.), *Sustainable and innovative wine tourism: success models from all around the world*. Cajamar. <https://www.plataformatierra.es/innovacion/sustainable-innovative-wine-tourism>
- Lopes, C., Rengifo Gallego, J., & Leitão, J. (2022). Los productos de calidad y el desarrollo de actividades turísticas: el caso de Extremadura (España) y Região Centro (Portugal). *Finisterra*, 57(119), 39–63. <https://doi.org/10.18055/Finis25917>
- López-Guzmán, T.J. & Sánchez Cañizares, S.M. (2008). La creación de productos turísticos utilizando rutas enológicas. *PASOS Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 6(2), 159–171. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2008.06.013>
- López-Guzmán, T., García, J., & Rodríguez, Á. (2013). Revisión de la literatura científica sobre enoturismo en España. *Cuadernos de Turismo*, (32), 171–188.
- López Sánchez, J.A. (2010). Posibilidades de desarrollo del enoturismo en la denominación de origen Jerez-Xerry-Sherry y manzanilla de Sanlúcar de Barrameda y Vinagre de Jerez. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 53, 21–41.
- Martínez Arnáiz, M., Baraja Rodríguez, E., & Molinero Hernando, F. (2019). Criterios de la UNESCO para la declaración de regiones vitícolas como paisaje cultural: su aplicación al caso español. *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, (80). <https://doi.org/10.21138/bage.2614>
- Martínez-Falcó, J., Marco-Lajara, B., Zaragoza-Sáez, P. D. C., & Millan-Tudela, L. A. (2023). Wine tourism as a catalyst for green innovation: evidence from the Spanish wine industry. *British Food Journal*. <https://doi.org/10.1108/BFJ-08-2022-0690>
- Martínez Falcó, J., Marco-Lajara, B., Zaragoza-Sáez, P. & Sánchez García, E. (2023). El enoturismo en España: el impacto económico derivado de las visitas a bodegas y museos en las rutas del vino. *Investigaciones Turísticas*, 25, 168–195. <https://doi.org/10.14198/INTURI.21219>
- Marco-Lajara, B., Úbeda-García, M., Zaragoza-Sáez, P., Poveda-Pareja, E., & Martínez Falcó, J. (2023). Enoturismo y sostenibilidad: Estudio de casos en la Ruta del Vino de Alicante (España). *PASOS*, 21(2), 307–320. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2023.21.020>
- Martínez Puche, A., & Morales Yago, F. J., (2016). El vino, como recursos turístico para el fomento del desarrollo local. Una oportunidad para las comarcas del Vinalopó (Alicante) y el altiplano Yecla-Jumilla (Murcia). *Cuadernos de Turismo*, 38, 263–295. <http://dx.doi.org/10.6018/turismo.38.271451>

- Miranda Escolar, B., & Fernández Morueco, R. (2011). Vino, turismo e innovación: las rutas del Vino de España, una estrategia integrada de desarrollo rural. *Estudios de Economía Aplicada*, 29(1), 129-164. <https://doi.org/10.25115/eea.v29i1.3935>
- Molina Collado, M. V., & Gómez Rico, M. (2022). *La importancia de la comunicación y la marca de vino en la intención de visitar bodegas*. In A. Monfort & S. Fernández Lores (Coords.), *Leveraging new business technology for a sustainable economic recovery: XXXVI Congreso Anual AEDEM*.
- Molinero, F. & Tort, J. (Coords.). (2018). *Paisajes patrimoniales de España*. III tomos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Ministerio para la Transición Ecológica - UAM ediciones. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/37119>
- Moragues Faus, A., Marsden, T., Adlerová, B., & Hausmanova, T. (2020). Building diverse, distributive, and territorialized agrifood economies to deliver sustainability and food security. *Economic Geography*, 96(3), 219-243. <https://doi.org/10.1080/00130095.2020.1749047>
- Nave, A., & do Paço, A.M. (2021). Sustainability in the wine-tourism sector – an analysis of perceived understanding and practices implemented by firms. *Journal of Wine Research*, 32, 103-116. <https://doi.org/10.1080/09571264.2021.1964945>
- Novo, G., Osorio, M., & Sotomayor, S. (2018). Wine tourism in Mexico: an initial exploration. *Anatolia*, 30(2), 246-257. <https://doi.org/10.1080/13032917.2018.1519212>
- Observatorio Español del Mercado del Vino (2023). *Principales exportadores mundiales de vino. Año 2022*. OeMv y Organización Interprofesional del Vino de España.
- Pillet Capdepón, F. (2011). El turismo de interior y el patrimonio territorial en Castilla-La Mancha. *Cuadernos de Turismo*, (27), 725-741.
- Pons, B. (Dir.). (2011). *Atlas de los paisajes de Castilla-La Mancha*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Potente Castro, M., Colino Prieto, F., Gutiérrez Aparicio, D., Navarro Zamora, A., & López Tárraga, A.B. (2023). Turismo y patrimonio como motores de desarrollo rural: el caso de las bodegas históricas de Famoselle (Zamora). *Cuadernos Geográficos*, 62(2), 118-135. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v62i2.27430>
- Plaza Tabasco, J.J., Cañizares Ruiz, M.C., & Ruiz Pulpón, Á.R. (2017). Patrimonio, viñedo y turismo: recursos específicos para la innovación y el desarrollo territorial de Castilla-La Mancha. *Cuadernos de Turismo*, 40, 547-571. <https://doi.org/10.6018/turismo.40.310101>
- Prieto Álvarez, T. (2019). *La denominación de origen: análisis crítico de una institución jurídico-pública*. Editorial Comares.
- Red Europea de Ciudades del Vino (RECEVIN). (2006). *Carta Europea de Enoturismo*. ACEVIN y la Comisión Europea.
- Romano, M.F., & Natilli, M. (2009). Wine tourism in Italy: New profiles, styles of consumption, ways of touring. *Tourism*, 57(4), 463-475. <https://hrcaj.srce.hr/52998>
- Romero, M.Á. (2020). Modelos de enoturismo y turismo gastronómico en España. In R. Compés & G. Szolnoki (Eds.), *Enoturismo sostenible e innovador. Modelos de éxito alrededor del mundo* (pp. 125-139). Cajamar.
- Ruiz Pulpón, Á.R. (2013). Producción agroalimentaria de calidad y postproductivismo agrario: el caso de los vinos de pago en Castilla-La Mancha. *Anales de Geografía*, 33(2), 137-154. <http://hdl.handle.net/10578/3592>
- Ruiz Pulpón, Á.R., Serrano de la Cruz Santos-Olmo, M.A., & Plaza Tabasco, J. (Coords.) (2017). *Agricultura y nuevas ruralidades en Castilla-La Mancha: treinta años de Política Agraria Común (1986-2016)*. Almad, Ediciones de Castilla-La Mancha.
- Ruiz Pulpón, Á.R., & Cañizares Ruiz, M.C. (2022). Intangible Heritage and Territorial Identity in the Multifunctional Agrarian Systems of Vineyards in Castilla-La Mancha (Spain). *Land*, 11, 281. <https://doi.org/10.3390/land11020281>
- Seccia, A., & Garibaldi, R. (2021). Wine Tourism in Italy. In R. Compés & G. Szolnoki (Eds.), *Sustainable and innovative wine tourism: success models from all around the world* (pp. 197-209). Cajamar.

- Simoes, O. (2008). Enoturismo em Portugal: as Rotas de Vinho. *PASOS: Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 6(2), 269-279. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2008.06.020>
- Singh, S., & Wagner, R. (2022). Indian wine tourism: new landscape of international spillovers. *J. Asia Business Studies*, 21, 1558. <https://doi.org/10.1108/JABS-01-2022-0004>
- Tafel, M., & Szolnoki, G. (2021). Tourism and its economical impact in German wine regions. In R. Compés, & G. Szolnoki (Eds.), *Sustainable and innovative wine tourism: success models from all around the world* (pp. 211-225). Cajamar.
- Torres, J., Barrera, J., Kunc, M., & Charters, S. (2021). The dynamics of wine tourism adoption in Chile. *Journal of Business Research*, 127, 474-485. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.06.043>
- Universidad de Castilla-La Mancha (2019). *Plan estratégico del sector vitivinícola de Castilla-La Mancha*. UCLM y GCLM. <https://www.castillalamancha.es/node/288683>
- Wesgro (2023). *An Analysis of Wine Tourism in the Western Cape in 2022*. Cape Town & Western Cape Tourism, Trade & Investment. <https://www.wesgro.co.za/corporate/resources>
- Yagüe, M. J., & Jiménez, A. I. (2002). La denominación de origen en el desarrollo de estrategias de diferenciación: percepción y efectos de su utilización en las sociedades vinícolas de Mancha y Valdepeñas. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 197, 179-206. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.184341>



Complementariedad entre el patrimonio natural y cultural para impulsar la actividad turística: un caso de estudio en el Parque Natural de Cornalvo, Extremadura

Complementarity between natural and cultural heritage to promote tourist activity: a case study in the Cornalvo Natural Park, Extremadura

AUTORÍA

Rebeca

Guillén-Peñañiel 

Dpto. de Didáctica de las Ciencias Sociales,
Facultad de Formación del Profesorado,
Universidad de Extremadura, 10004 Cáceres,
España.

Ana María

Hernández-Carretero 

Dpto. de Didáctica de las Ciencias Sociales,
Facultad de Formación del Profesorado,
Universidad de Extremadura, 10004 Cáceres,
España.

José Manuel

Sánchez-Martín 

Dpto. de Arte y Ciencias del Territorio, Facultad
de Empresa, Finanzas y Turismo, Universidad de
Extremadura, 10071 Cáceres, España.

DOI

<https://doi.org/10.14198/INGEO.26392>

CITACIÓN

Guillén-Peñañiel, R., Hernández-Carretero, A. M., & Sánchez-Martín, J. M. (2024). Complementariedad entre el patrimonio natural y cultural para impulsar la actividad turística: un caso de estudio en el Parque Natural de Cornalvo, Extremadura. *Investigaciones Geográficas*, (82), 209-242. <https://doi.org/10.14198/INGEO.26392>

CORRESPONDENCIA

Rebeca Guillén-Peñañiel (rebecagp@unex.es)

HISTORIA

Recibido: 12 noviembre 2023
Aceptado: 16 febrero 2024
Publicado: 10 julio 2024
(Publicación anticipada: 27 mayo 2024)

TÉRMINOS

© Rebeca Guillén-Peñañiel, Ana María Hernández-Carretero, José Manuel Sánchez-Martín

 Este trabajo se publica bajo una licencia [Creative Commons de Atribución- NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Resumen

El creciente interés por la naturaleza y su conservación ha ocasionado un incremento significativo de las visitas turísticas a los Espacios Naturales Protegidos. Sin embargo, la falta de una planificación coherente y eficaz conlleva riesgos sustanciales. Por tanto, para aprovechar los beneficios del turismo de naturaleza en estos espacios, se requiere una gestión de la actividad basada en criterios de sostenibilidad. Con base en esta premisa, se presenta un estudio de caso con el objetivo de valorar los principales atractivos del Parque Natural de Cornalvo, impulsando su aptitud para promover experiencias ecoturísticas variadas y asociadas a su distintivo ecosistema de dehesas. Para ello, se analizaron las concepciones del personal encargado de la gestión del área protegida mediante el método Delphi. Además, se realizó un análisis DAFO, con la finalidad de aportar información que sirva de base para la toma de decisiones destinadas a revalorizar este espacio. Entre los resultados, se constata la relevancia de establecer circuitos turísticos con la ciudad monumental de Mérida, fomentando el turismo de proximidad. Asimismo, se considera de gran importancia aumentar el diálogo con los propietarios de terrenos dentro de este espacio, con quienes podrían establecerse acuerdos para implementar diversas iniciativas en el Parque.

Palabras clave: dehesa; Delphi; Ecoturismo; Mérida; Parque Natural de Cornalvo; patrimonio cultural; patrimonio natural.

Abstract

The growing interest in nature and its conservation has led to a significant increase in tourist visits to Natural Protected Areas. However, the lack of coherent and effective planning entails substantial risks. Therefore, to take advantage of the benefits of nature tourism in these areas, a management of the activity based on sustainability criteria is required. Based on this premise, a case study is presented with the aim of assessing the main attractions of the Cornalvo Natural Park to determine its suitability to promote a variety of ecotourism experiences associated with its distinctive ecosystem of dehesas. For this purpose, the perceptions of the personnel in charge of the management of the protected area were analyzed using the Delphi method. In addition, a SWOT analysis was carried out to provide information that could serve as a basis for making decisions aimed at revaluing this area. Among the

results, establishing tourist circuits with the monumental city of Mérida, promoting proximity tourism, was relevant. Likewise, increasing the dialogue with landowners within this space, with whom agreements could be established to implement various initiatives in the park is considered highly important.

Keywords: dehesa; Delphi; Ecotourism; Merida; Cornalvo Natural Park; cultural heritage; natural heritage.

1. Introducción

El progresivo interés por el turismo de naturaleza atrae cada vez a más visitantes a las áreas protegidas del mundo (Štrba et al., 2022), consolidándose como espacios turísticos de gran relevancia (Muñoz, 2008). Los turistas se interesan por actividades auténticas y de calidad, buscando el contacto con el medio ambiente, la cultura, la historia y las poblaciones (Kastenholz et al., 2012). La tendencia actual incide en la búsqueda de experiencias activas, educativas y placenteras (Arcila & López, 2015; Anderson, 2018), basadas en aprender sobre un ecosistema y participar en su conservación, al mismo tiempo que permiten el disfrute del territorio (Ramírez, 2015; Carrascosa-López et al., 2021).

Muchos visitantes buscan el contacto con el modo de vida rural (Nazariadli et al., 2018) en su más ambiciosa expresión. Persiguen un reencuentro con sus raíces naturales y culturales (Streifeneder, 2016), así como un turismo no masificado (Rodrigues & Sánchez, 2020), donde primen la experiencia y las sensaciones. A ello contribuye la conciencia ecológica, que coincide con un incremento significativo en el número y la extensión de los espacios naturales protegidos a nivel mundial (Watson et al., 2014).

A través de la Comisión de Parques Nacionales y Áreas Protegidas (CPNAP), conocida desde 1996 como Comisión Mundial de Áreas Protegidas (CMAP), la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), define un área protegida como “un espacio geográfico claramente definido, reconocido, dedicado y gestionado, mediante medios legales u otros tipos de medios eficaces para conseguir la conservación a largo plazo de la naturaleza y de sus servicios ecosistémicos y sus valores culturales asociados” (Dudley, 2008, p. 10). Resultan espacios imprescindibles para la preservación a largo plazo del medio natural y de la diversidad biológica (Gómez-Limón et al., 2000). También favorecen el desarrollo sostenible de actividades económicas, especialmente las vinculadas con la actividad turística (Sánchez & Sánchez, 2021).

El turismo vinculado a áreas naturales protegidas ha aumentado significativamente, constituyéndose en la actualidad como uno de sus principales usos (Mandić, 2019). El incremento resulta especialmente representativo en el caso concreto de aquellos países que cuentan con un rico y diverso patrimonio natural, como España. En concreto, los Parques Nacionales españoles han registrado un incremento progresivo de la evolución del número de visitantes, pasando de 8 millones en 1996, a 15 millones en 2018 (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico [MITECO], 2022). Asimismo, la tendencia creciente también se registra en el caso de los Parques Naturales, que oscilan desde 8,5 millones en 2014, hasta 16 millones en 2018 (Federación de Parques Naturales y Nacionales de Europa [EUROPARC], 2020). Entre sus causas, se encuentran los cambios motivacionales de los turistas (Eagles et al., 2002; Dearden et al., 2005), así como el aumento del número de espacios protegidos en los últimos años, tanto en extensión como en diversidad de ambientes representados (Mulero & Rivera, 2018). A ello habría que sumar la excelente labor educativa, divulgativa e interpretativa que se está haciendo en muchos de ellos para fomentar el respeto y la concienciación ambiental.

Considerando el incremento de la influencia turística y la especial vulnerabilidad de estos espacios, la implementación de criterios de sostenibilidad en las áreas protegidas se ha convertido en un reto necesario en todo el mundo (Mark & Marielle, 2016; Ferrandis et al., 2018; Telbisz et al., 2023). La capacidad del turismo para generar impactos positivos en términos de economía, dinamismo, mejora de infraestructuras, restauración o preservación del patrimonio (McGehee & Andereck, 2004; Egbali et al., 2011; Wearing & Neil, 1999), plantea desafíos en la gestión de la actividad con el fin de minimizar sus efectos adversos sobre el medio y la conservación de los ecosistemas (Blanke & Chiesa, 2008). Por tanto, se requiere el impulso de políticas y estrategias que favorezcan la protección medioambiental, buscado atenuar las posibles tensiones entre sostenibilidad y turismo, lo que beneficiaría al desarrollo local, económico, cultural y social del medio rural (Sharpley & Roberts, 2004).

En este contexto, se asiste a un crecimiento exponencial del ecoturismo, como subsegmento del turismo de naturaleza (Arnegger et al., 2010), basado en la interacción sostenible con los recursos naturales y culturales (Báez & Acuña, 2003), en consonancia con el paradigma “eco” (Capra, 2003). Se trata de un turismo respetuoso y consciente, caracterizado por poseer un alto componente educativo. Se desarrolla en espacios naturales bien conservados o especialmente protegidos y contribuye a la conservación de la biodiversidad

y al desarrollo sostenible (Wearing & Neil, 1999; Epler, 2002). Si bien las áreas protegidas poseen un gran potencial para el desarrollo del turismo sostenible, es aconsejable gestionar el ecoturismo de forma que se promuevan experiencias sensitivas, didácticas, participativas y vinculadas con la concienciación ambiental (Segrado et al., 2015; Guillén-Peñañiel et al., 2020; Sobhani et al., 2023).

Para abordar esta necesidad, resulta imperativo implementar estrategias interpretativas sobre el medio natural y cultural, dirigidas tanto al turista como a la población autóctona (Telbisz et al., 2023). En particular, se reconocen la educación ambiental y patrimonial como disciplinas idóneas para la gestión de los espacios protegidos bajo criterios de sostenibilidad (Morón & Morón, 2017). Ambas se orientan a transmitir los valores del patrimonio natural y cultural, con la finalidad de mitigar los impactos negativos sobre el medio e incentivar las iniciativas de conservación (Guillén-Peñañiel et al., 2022b).

En este contexto y considerando la relevancia de las áreas protegidas para el desarrollo de experiencias turísticas sostenibles, el presente estudio tiene como objetivo determinar el potencial del Parque Natural de Cornalvo, como Espacio Natural Protegido idóneo para el desarrollo de experiencias ecoturísticas, debido a diferentes aspectos. Destaca la representatividad y diversidad de sus recursos naturales y culturales, que contribuyen al reconocimiento del Parque como Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) y Zona de Especial Conservación (ZEC). También, la presencia de un centro de interpretación en su entorno, cuyo papel resulta determinante para la difusión de actividades educativas y medioambientales. Por último, su proximidad a la ciudad Monumental de Mérida, que se posiciona como el segundo destino turístico de Extremadura según el número de visitantes que recibe. Asimismo, se pretende identificar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas asociadas al Parque, con la finalidad de aportar información que sirva de base para la toma de decisiones orientadas a la mejora de este espacio. El último objetivo planteado, persigue valorar las actividades educativas, interpretativas y divulgativas promovidas por el centro de interpretación, reafirmando su condición como institución turístico-educativa, con responsabilidad en la gestión sostenible de las áreas protegidas.

Entre las hipótesis formuladas, se presuponen igualmente tres. La primera (H1) propone que los principales atractivos del Parque están vinculados principalmente con sus recursos florísticos y faunísticos, quedando relegados, por tanto, otros factores que podrían incrementar su potencial como destino turístico. Entre los atractivos menos reconocidos se encuentran sus condiciones idóneas para la práctica de astroturismo o la difusión de los recursos culturales con los que cuenta, caracterizados por poseer condiciones únicas y representativas a nivel internacional, como la presa romana, la cual forma parte del conjunto arqueológico de Mérida. Asimismo, se plantea como segunda hipótesis (H2) que no se aprovecha de forma adecuada el ecosistema de dehesas que es representativo de este espacio, así como las costumbres y oficios tradicionales vinculados a este agrosistema. Como última hipótesis (H3) se presupone una insuficiente interacción con atractivos próximos, lo que podría incrementar el flujo de turistas hacia el Parque, diversificando la oferta y dando a conocer su potencial como espacio para la práctica de servicios turísticos alternativos y específicos.

1.1. Las áreas naturales protegidas para un turismo sostenible

Las áreas naturales protegidas son espacios esenciales para la conservación de la biodiversidad. Se consideran la piedra angular sobre la que asentar estrategias nacionales e internacionales de conservación, destinadas a proteger a las distintas especies y mantener los ecosistemas naturales y los procesos ecológicos, los cuales no podrían sobrevivir en entornos que soportan un mayor grado de intervención (Dudley, 2008).

A lo largo del siglo XX se conformaron diversas áreas protegidas bajo diferentes conceptualizaciones. Esta diversidad terminológica generaba controversias en el propio término y promovía la existencia de categorías dispares para remitir a una misma realidad. Consecuentemente, se impulsaron convenios globales y acuerdos regionales para establecer clasificaciones y terminologías comunes. Como resultado, se elaboraron importantes instrumentos como es el caso de los sitios de Patrimonio Mundial en 1972 o los espacios de la Red Natura 2000 en Europa, principal instrumento para la conservación de la naturaleza en la Unión Europea.

Asimismo, la CPNAP elaboró un sistema de categorías, el cual fue presentado y aprobado en el Congreso Mundial de Parques celebrado en Caracas en 1992. Dos años más tarde, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) aprobó la clasificación, estableciendo seis categorías, diferenciadas en función de sus objetivos de gestión: (i) reserva natural y área natural silvestre, (ii) parque nacional, (iii) monumento natural, (iv) área de gestión de hábitats/especies, (v) paisaje terrestre o marino protegido y (vi) área protegida con gestión sostenible de los recursos naturales (Lausche, 2011).

Esta clasificación constituye un estándar global para el establecimiento, la planificación y la gestión de las áreas protegidas. En el caso de España, la extensión y distribución de los Espacios Naturales Protegidos (ENP) se ha acelerado gracias a la aplicación de leyes como la Ley 4/1989, de 27 de marzo, de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres y la Ley 33/2015, de 21 de septiembre, por la que se modifica la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, en la que se establecen cinco figuras de protección: parques, reservas naturales, áreas marinas protegidas, monumentos naturales y paisajes protegidos.

Dicha amplitud de figuras se muestra en consonancia con el incremento en el número de hectáreas de superficie protegidas, transitando de 211.940 en 1989, hasta más de 7 millones en 2020, según el último informe publicado por EUROPARC (2020). Asimismo, España es el Estado miembro que mayor superficie total aporta a la Red Natura 2000, acumulando más de 22 millones de hectáreas, distribuidas en 1.468 Lugares de Importancia Comunitaria/Zonas de Especial Conservación y 658 Zonas de Especial Protección de Aves (EUROPARC, 2020).

Para garantizar su preservación, las áreas naturales protegidas posibilitan una amplia variedad de enfoques de gestión. Los más restrictivos limitan el acceso a un número reducido de personas, aunque hay otros más permisivos en los que la conservación del medio se integra con su aprovechamiento económico, a través de diversas actividades. Entre ellas, se encuentran las que consideran la extracción controlada y sostenible de los recursos o las que tratan de impulsar la actividad turística. Desde comienzos de siglo se ha enfatizado en la necesidad de que las áreas protegidas deben contribuir al desarrollo socioeconómico regional (Mose, 2007). Esta idea incluso se refuerza en las recomendaciones de la UICN, por lo que la relación armónica entre los recursos naturales y el desarrollo socioeconómico se convierte en un objetivo prioritario (Telbisz et al., 2023).

Las actividades vinculadas al turismo y la recreación pueden aportar beneficios significativos, tanto a las áreas protegidas como a las propias comunidades (Ferrandis et al., 2018). Particularmente, las actividades turísticas basadas en la naturaleza se han convertido en una parte de la industria en constante crecimiento (Balmford et al., 2009). Sin embargo, alcanzar la unanimidad en la conceptualización del turismo de naturaleza ha resultado ser una tarea desafiante. Ello ha dado lugar a confusiones, debido al uso indiscriminado de algunos términos, a pesar de las diferencias que poseen entre sí. Esto se observa claramente en conceptos como el turismo verde, el turismo ecológico, el turismo ambiental y el ecoturismo o turismo de aventura, entre otros (Telbisz et al., 2023).

Con el objetivo de concretar su significado, la Organización Mundial de Turismo (OMT, 2002) define este tipo de turismo como un tipo de actividad turística basada en la naturaleza, en la que la principal motivación de los turistas es la observación y apreciación del entorno natural y de las culturas tradicionales. Es decir, alberga todas aquellas actividades que tienen como destino el medio natural. Sin embargo, su principal o única motivación no tiene que estar orientada con una sensibilización o implicación directa en la conservación de los valores naturales, sino que se relaciona especialmente con el disfrute y la contemplación de los recursos (Telbisz et al., 2023).

Esta perspectiva integra tanto elementos naturales como culturales en su ámbito de interés. Se reconoce que tanto la apreciación de los elementos naturales como de las expresiones culturales son componentes esenciales de esta modalidad turística. En ella, el turista puede disfrutar del contacto con la naturaleza, así como de la interacción con otras comunidades locales a través de sus manifestaciones culturales.

Habitualmente las actividades de turismo basadas en la naturaleza se ofrecen como ecoturismo, definido como un viaje responsable hacia áreas naturales que conservan el medio ambiente, mantienen el bienestar de la población local e involucran interpretación y educación (Sociedad Internacional de Ecoturismo [TIES], 2023). Sin embargo, no todas son respetuosas con el medio, generan beneficios económicos o contribuyen al desarrollo sostenible.

Por tanto, para aprovechar las bondades del turismo de naturaleza en los ENP, se requiere una gestión de la actividad basada en criterios de sostenibilidad, en consonancia con los planteamientos del ecoturismo. Esta modalidad turística permite que los visitantes interactúen en las áreas naturales, aprendiendo y disfrutando de los atractivos naturales, así como de las manifestaciones culturales, al mismo tiempo que aporta beneficios socioeconómicos para la población (Ramírez, 2015; Báez & Acuña, 2003). Para que una actividad se considere ecoturística, debe cumplir con determinadas características: (i) la motivación principal consiste en contemplar la naturaleza o las culturas tradicionales de las zonas naturales; (ii) integra elementos educativos e interpretativos; (iii) frecuentemente, las actividades se organizan para pequeños grupos; (iv) entre sus finalidades, contribuye a mitigar los posibles impactos negativos sobre el medio y la comunidad;

y (v) colabora en la protección de las zonas naturales, generando beneficios económicos y favoreciendo la concienciación de los visitantes (OMT, 2002).

La dehesa se ha convertido en los últimos años en un reclamo para esta modalidad (Silva, 2008). El concepto de dehesa es muy variado, ya que tiene acepciones múltiples enunciadas desde diferentes disciplinas. Algunas de estas definiciones han resultado ser incompletas, contradictorias e incluso notablemente restringidas desde una perspectiva legislativa (Sánchez-Martín et al., 2019). En este sentido se manifiesta el Artículo 1 de la vetusta Ley 1/1986, de 2 de mayo, sobre la Dehesa en Extremadura (Junta de Extremadura, 1986), que realiza la siguiente contextualización:

1. A los efectos de esta Ley se entiende por dehesa toda finca rústica en la que más de cien hectáreas de su superficie, sea susceptible, según su destino agrario más idóneo, de un aprovechamiento ganadero en régimen extensivo.
2. Igualmente se considerarán dehesas todas las fincas que pertenezcan a un mismo titular y formen parte de una unidad de explotación agraria, siempre que radiquen en el mismo término municipal o en términos colindantes y que la suma de sus respectivas superficies, según su destino agrario más idóneo, de un aprovechamiento ganadero en régimen extensivo, exceda de cien hectáreas. (p. 5)

Dicha definición no hace referencia a la presencia del principal elemento característico que define al ecosistema, el arbolado, concretamente, las quercíneas. Por ello, se opta por considerar como válida y más ajustada a la realidad la definición que lo contempla según afirma un grupo multidisciplinar de expertos en la publicación "El libro verde de la dehesa" (Pulido et al., 2010), Proponen una pauta común que fija entre el 5 % y el 60 % la fracción cubierta por el arbolado. Asimismo, se muestran rotundos al afirmar que en el estrato arbóreo deben predominar las especies del género *Quercus*, productoras de bellotas como recurso esencial en el esquema de aprovechamientos. Insistiendo en esta idea, reiteran que, dado que las dehesas son unidades delimitadas de explotación agraria, es necesario precisar además de la densidad del arbolado, la proporción de la superficie de explotación donde existe arbolado disperso en relación con las zonas totalmente desarboladas (Pulido et al., 2010).

Junto a todo ello, es posible precisar que, si bien las dehesas constituyen un mosaico de gran valor natural, también poseen un claro valor antropológico, caracterizadas por poseer un entorno medioambiental de calidad y un patrimonio histórico y etnográfico exclusivo (Silva, 2008; Silva, 2010). El patrimonio cultural vinculado con estos espacios incluye tradiciones vivas, oficios tradicionales, costumbres, saberes agroalimentarios, manifestaciones artesanales e incluso el vocabulario específico asociado a diversas poblaciones. Por tanto, además de su función como espacios productivos, los paisajes agrícolas albergan un extenso y representativo patrimonio que contribuye al mantenimiento de las señas de identidad de la población rural.

Asimismo, son un excelente ejemplo de la armonía entre la explotación y la conservación de sus recursos, configurándose como un espacio que ofrece la oportunidad de realizar actividades diversas en un entorno único y privilegiado (Pérez et al., 2013; Sánchez-Martín et al., 2019). Entre las distintas posibilidades, ofrece la oportunidad de participar en experiencias de turismo ornitológico (vinculado a las zonas ZEPA y LIC/ZEC), micoturismo (relativo a la recogida de setas y plantas silvestres), agroturismo (mediante la participación en actividades agrícolas y la degustación de productos propios de este agrosistema), astroturismo (observación de estrellas y cielo nocturno), turismo activo (senderismo, cicloturismo), o actividades culturales (ligadas a los oficios tradicionales que tienen lugar en este espacio), entre otras.

Además, existe una gran cantidad de espacios adeshados que albergan alguna figura de protección ambiental, siendo el hábitat de muchas especies emblemáticas y amenazadas. En el caso de la superficie española, un total de 1.129.694 hectáreas están afectadas por alguna de ellas, entre las que se incluyen dos parques nacionales, dos reservas de la biosfera y hasta doce parques naturales (Silva & Fernández, 2015). En síntesis, las dehesas constituyen un espacio idóneo para la práctica de actividades ecoturísticas en áreas protegidas, ofreciendo la posibilidad de realizar actividades de forma sostenible y favoreciendo la diversificación económica de estos espacios.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

El estudio se enmarca en Extremadura, una región interior y periférica de España que posee una extensión de 41.635 km². Se caracteriza por poseer una baja densidad de población, que acoge 1.059.501 habitantes

(Instituto Nacional de Estadística [INE], 2021), de los que el 21,37 % representa a personas mayores de 65 años (INE, 2022b). Esta proporción aumenta paulatinamente, prueba del progresivo envejecimiento de la población. Tradicionalmente, su base productiva ha sido el sector agrario, complementado con una ganadería extensiva en las áreas de secano y con diversos productos hortofrutícolas en las zonas de regadío.

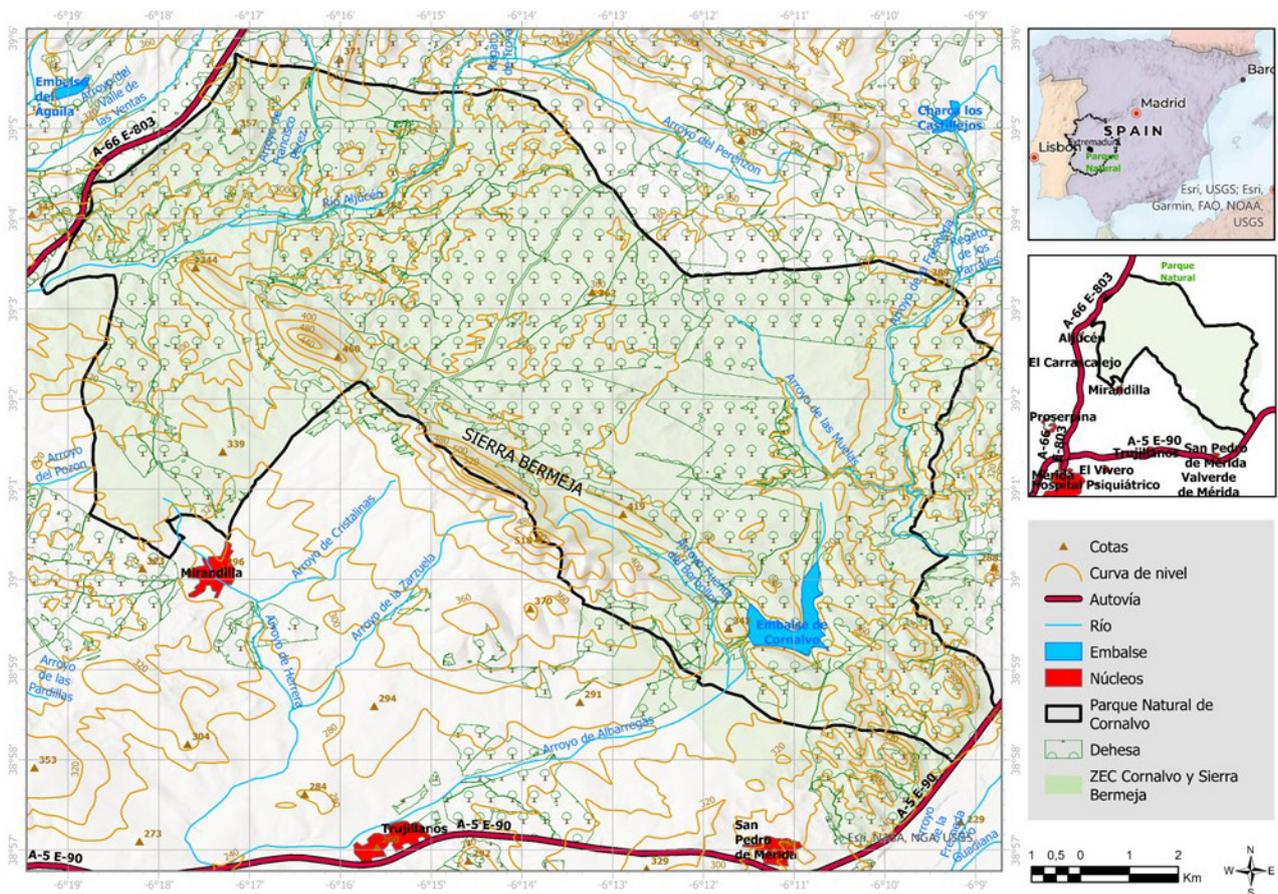
Son estas características sociodemográficas, unidas al descuido procedente de los gobiernos centrales para mitigar las dificultades, las que han favorecido la conservación del entorno natural en condiciones privilegiadas (Sánchez-Martín et al., 2019). En concreto, la superficie ocupada por diferentes Áreas Protegidas en esta comunidad acumula 1.276.288 hectáreas, aproximadamente el 30,6 % de esta región (Junta de Extremadura, s. f.).

Para su crecimiento y expansión fue determinante el desarrollo de la Ley 8/1998, de 26 de junio, de Conservación de la Naturaleza y de Espacios Naturales de Extremadura, modificada con posterioridad por la Ley 9/2006, de 23 de diciembre, mediante la que se establecieron 10 tipos de figuras de protección: Parques Naturales, Reservas Naturales, Monumentos Naturales, Paisajes Protegidos, Zonas de Interés Regional, Corredores Ecológicos y de Biodiversidad, Parques Periurbanos de Conservación y Ocio, Lugares de Interés Científico, Árboles Singulares y Corredores Ecoculturales.

A ellas se unen dos figuras reconocidas por la Red Ecológica Europea Natura 2000: las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) y los Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), actualmente denominados Zonas de Especial Conservación (ZEC), tras la publicación de los planes de gestión en el Decreto 110/2015, de 19 de mayo, por el que se regula la Red Ecológica Europea Natura 2000 en Extremadura. Ambos espacios poseen una representación significativa en la región, acumulando 1.089.232 hectáreas en el caso de las ZEPA y 828.949 hectáreas en el caso de las ZEC, lo que supone el 26,1 % y el 19,9 % del territorio. De ello se deduce el fuerte solapamiento que existe entre diversas figuras de protección.

Gran parte de la superficie protegida se superpone con espacios adeshados, los cuales alcanzan el 35 % del territorio en esta región (Junta de Extremadura, 2021), reflejo de la significación de este ecosistema (Figura 1).

Figura 1. Área de estudio



Elaboración propia

La zona elegida para focalizar el estudio es el Parque Natural de Cornalvo, debido a su relevancia ambiental y diversidad de atractivos naturales y culturales que alberga. Situado en el centro geográfico de Extremadura, su superficie cubre 11.601 hectáreas y comprende parte de los términos municipales de Mérida, Mirandilla, Guareña, San Pedro de Mérida y Aljucén. Su biodiversidad, junto a la relevancia de su patrimonio natural y cultural, han conllevado su reconocimiento con diversas figuras de protección. Entre ellas, fue declarado desde 1991 como ZEPA, en virtud de la Directiva 79/404/CEE, posteriormente reemplaza por la Directiva 2009/147/CE, relativa a la conservación de aves silvestres, así como LIC, desde 1999, en función de la Directiva 92/43/CEE, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. Asimismo, destaca su reconocimiento como Parque Natural mediante la Ley 7/2004, de 19 de noviembre.

El área que abarca Cornalvo constituye una de las mejores representaciones de los sistemas adehesados y sus usos tradicionales. Predominan las encinas y alcornoques, conservando grandes manchas de bosque y matorral mediterráneo, así como sotos de ribera (Junta de Extremadura, 2009).

El principal aprovechamiento de la dehesa es el ganadero, si bien existen otros complementarios que se obtienen del arbolado y del matorral, entre los que se encuentra la obtención de leña, carbón vegetal y corcho, lo que supone el mantenimiento de diversos oficios tradicionales que representan el patrimonio inmaterial de la zona. El elevado grado de conservación de este paisaje cultural, así como las escasas transformaciones humanas sobre el medio, han supuesto la preservación de numerosas especies faunísticas, entre las que se encuentran algunas en peligro de extinción como el lince ibérico o la cigüeña negra. Junto a ello, destacan sus condiciones orográficas, protagonizadas por los relieves de Sierra Bermeja y Sierra del Moro o su extensa red hidrográfica, así como especies florísticas o faunísticas exclusivas de este entorno.

Además de sus recursos naturales, el Parque Natural de Cornalvo posee varios vestigios de patrimonio histórico, entre los que destaca la Presa Romana, declarada Monumento Nacional en 1912, debido a su importancia y excelente estado de conservación. También existen otros restos romanos destacables, como el acueducto de Cornalvo, conducciones subterráneas de agua, villas, calzadas, fuentes, puentes o puestos de vigilancia (Figura 2). Asimismo, ofrece diversos equipamientos ambientales, entre los que resaltan varios observatorios de aves y un centro de interpretación en el que se desarrollan diversas actividades educativas y medioambientales (Junta de Extremadura, 2009).

Figura 2. Atractivos del Parque Natural de Cornalvo: a) presa romana; b) aprovechamiento corchero de la dehesa; c) ganadería bovina; d) ganadería porcina



Fotografías de los autores

La riqueza del Parque da lugar a que esté integrado casi en su totalidad en el LIC-ZEPA “Embalse de Cornalvo y Sierra Bermeja” y que por consiguiente forme parte de la Red Natura 2000.

La diversidad y el excelente estado de conservación de sus recursos, tanto naturales como culturales, así como el carácter excepcional de algunos de ellos justifican el potencial del Parque Natural de Cornalvo para favorecer el contacto con la naturaleza, promover iniciativas turísticas y la adquisición de valores a través de la Educación Ambiental (Junta de Extremadura, 2009). Asimismo, pueden favorecer la apreciación y concienciación sobre la relevancia y singularidad del patrimonio vinculado a los territorios adeshados en general (Sánchez-Martín et al., 2019). Además, la ubicación estratégica del Parque Natural, a tan solo 22 kilómetros de Mérida, cuyos vestigios arqueológicos han sido declarados Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura), abre la posibilidad de diversificar la oferta turística. La creación de itinerarios específicos podría facilitar la coexistencia de productos diferenciados y complementarios, enriqueciendo la experiencia del visitante y fortaleciendo la contribución del turismo al desarrollo económico de la región. Además, esta ciudad alberga el Centro de Referencia Nacional de Agroturismo, el cual podría servir de enlace entre el Parque Natural y el núcleo urbano, proyectando las oportunidades de este espacio natural y promoviendo la comunicación entre las instituciones de formación e innovación y los sectores productivos.

A pesar del potencial turístico que ofrece el parque, el número de visitantes que recibe es reducido. Según constata el Centro de Interpretación, en 2019, último año considerado normal y con disponibilidad de datos, acogió a 10190 viajeros, aunque entre ellos no figuran las personas que acceden al parque y no se dirigen al Centro de Interpretación (Tabla 1). De estos visitantes, la inmensa mayoría procede de la propia comunidad autónoma (80,9 %), el 13,6 % del resto del país y, por último, un 5,5 % de extranjeros. Cuando se considera el grupo etario al que pertenece, existe cierto equilibrio entre niños y adultos, ya que representan el 48,5 % y el 51,5 %, respectivamente. Asimismo, las visitas están sometidas a la estacionalidad típica del turismo de Extremadura, si bien, en este caso, la primavera y el otoño destacan como puntos álgidos, siendo las estaciones solsticiales las que cuentan con menor número de visitantes.

Tabla 1. Visitantes del Centro de Interpretación en 2019

2019	Visitantes	Procedencia			Grupo etario	
		Extremadura	Resto de CCAA	Extranjeros	Niños	Adultos
Enero	417	329	72	16	133	284
Febrero	1.018	856	147	15	540	478
Marzo	1.793	1.503	190	100	1.024	769
Abril	1.402	1.088	191	123	744	658
Mayo	1.493	1.190	192	111	908	585
Junio	249	151	50	48	53	196
Julio	449	379	58	17	209	240
Agosto	189	87	91	11	51	138
Septiembre	266	168	44	54	32	234
Octubre	1.606	1.483	93	30	665	941
Noviembre	969	884	67	12	533	436
Diciembre	339	130	186	23	49	290
TOTAL	10.190	8.248	1.381	560	4.941	5.249

Fuente: Centro de Interpretación

Indagaciones complementarias, basadas en la realización de 107 encuestas prospectivas mediante muestreo aleatorio simple entre los visitantes del Centro de Interpretación, proporcionan datos adicionales sobre las principales motivaciones de estos. En la inmensa mayoría de los casos (97,2 %) afirman que han visitado Mérida, mientras que el 0,9 % no lo hará, mostrándose dubitativos el 1,9 %, lo que refuerza la necesidad de apoyarse en esta ciudad para favorecer el éxito turístico del Parque. Además, valoran con una puntuación de 8,4 sobre 10 su satisfacción con la visita al espacio protegido. Por otro lado, los encuestados reflejan que en una escala 1 a 5, utilizando medias ponderadas, se realizan actividades diversas en el parque con diferente grado de atractivo (Tabla 2).

Tabla 2. Valoración de las actividades realizadas en el parque en escala 1 a 5 (menos a más)

Actividad	Valor
Ocio activo (rutas a pie, bicicleta, practicar deporte...)	3,57
Observación del cielo nocturno	3,34
Relajación y desconexión	3,26
Visitar embalses, ríos, arroyos, recursos geológicos	3,10
Conocer fauna	3,09
Visitar patrimonio histórico-cultural: presa romana, puentes, calzadas	2,93
Participar en talleres o charlas educativas	2,90
Visitar centro de interpretación	2,69
Conocer flora	2,57

Elaboración propia

En líneas generales destacan dos relacionadas con el estilo de vida, como son la práctica de ocio activo y la relajación y desconexión. El resto de las actividades se vincula a la actividad turística, como la observación del cielo, la visita al biotopo y al conocimiento de la biocenosis que conforman el ecosistema del parque. En este sentido, la visita al embalse, a los arroyos y a la propia geología del lugar obtiene una puntuación promediada de 3,1; conocer la fauna, 3,09, y la visita al patrimonio histórico-cultural se valora con 2,93, adquiriendo la valoración más baja el conocimiento de la flora, seguida por la visita al propio centro de interpretación (2,69) y la participación en talleres o charlas educativas (2,9).

De las encuestas realizadas se deduce que, pese a su proximidad a la ciudad de Mérida, no existe una canalización de turistas hacia el parque, algo que contrasta con la dispersión de estos que se hace hacia otros entornos, más conocidos, pero también más distantes, como sucede con las áreas naturales más visitadas de Extremadura (Sánchez-Martín, et al, 2019). Esta ciudad dista apenas 30 minutos del parque, por lo que es factible que tan corto desplazamiento de tan sólo 21 km pueda servir de aliciente para los visitantes de la ciudad patrimonial. Además, es posible establecer una ruta circular con una longitud total de 48 km que tardan en recorrerse apenas unos 70 minutos. Mérida ofrece un mercado potencial de turistas de primer nivel. Atrajo en 2022 a más de 266.000 viajeros, lo que se tradujo en casi 433.000 pernотaciones, según refiere el Instituto Nacional de Estadística en la Encuesta de Ocupación Hotelera (EOH), en la Encuesta de Ocupación en Alojamientos de Turismo Rural (EOTR) y en la Encuesta de Ocupación en Apartamentos Turísticos (EOAT) (Tabla 3).

Tabla 3. Viajeros y pernотaciones en la ciudad de Mérida (2022)

	Viajeros			Pernотaciones		
	Hotel	Rural	Apto.	Hotel	Rural	Apto.
Enero	9.176	42	3.035	15.125	167	5.203
Febrero	13.734	126	2.333	23.296	393	4.558
Marzo	14.208	94	3.097	25.694	234	5.301
Abril	21.316	230	4.331	35.894	678	7.440
Mayo	18.244	91	3.141	30.371	177	5.540
Junio	20.012	272	1.676	30.583	843	2.303
Julio	27.697	309	4.114	37.684	1.170	5.354
Agosto	32.282	226	6.218	48.429	1.098	8.850
Septiembre	22.217	197	3.435	33.888	464	5.002
Octubre	19.803	350	2.831	35.798	881	4.976
Noviembre	13.710	74	1.866	25.253	147	3.280
Diciembre	13.082	183	2.488	21.670	391	4.859
TOTAL	225.481	2.194	38.565	363.685	6.643	62.666

Fuente: INE, 2022a

Estos datos corroboran la posibilidad de establecer mayores vínculos entre sendos destinos, Mérida y el Parque, lo que iría en beneficio de la experiencia turística a la vez que permitiría desestacionalizar los visitantes de la ciudad patrimonial o incrementar el grado de ocupación de sus establecimientos. A este respecto, cabe recalcar que Mérida ocupa el segundo puesto de Extremadura en cuanto a viajeros y pernoctaciones, según refiere el INE.

2.2. Instrumentos y procedimientos

El análisis Delphi es una metodología basada en un proceso de comunicación grupal, el cual posibilita abordar un problema complejo mediante la participación de un grupo de expertos, con la particularidad de que no es necesaria la interacción personal entre ellos (Linstone & Turoff, 1975). Por tanto, aprovecha las ventajas de las sinergias del debate grupal y elimina los posibles condicionantes de las interacciones grupales como el ruido sistemático, las influencias jerárquicas o la presión hacia la conformidad (Cabero & Infante, 2014).

Su finalidad es obtener cierto grado de consenso sobre un determinado objetivo o problemas objeto de análisis (Martínez, 2003; Sutterlüty et al., 2017), con el objetivo de ofrecer decisiones orientadas a comprender y mejorar una realidad social y territorial (Van-Zolingen & Klaassen, 2003). Además, puede favorecer la toma de decisiones en aquellos casos en los que los puntos de vista de los participantes son heterogéneos (Kennedy, 2004). En este caso particular, se empleó un Delphi decisonal y una reunión de expertos (Van-Zolingen & Klaassen, 2003), para detectar las posibles problemáticas internas y externas a las que está sometido el Parque Natural de Cornalvo, y articular diferentes propuestas que permitan mitigar sus deficiencias y potenciar sus atractivos, proyectando la imagen de este Espacio Natural Protegido como un escenario idóneo para el desarrollo de experiencias ecoturísticas.

La llegada al consenso se obtiene a través de la agregación de juicios individuales de los expertos (Landeta, 2006). Para ello, se han realizado dos rondas de Delphi, mediante entrevistas en profundidad con cada uno de los expertos participantes. Las entrevistas fueron grabadas con el consentimiento de los participantes, a quienes se garantizó su anonimato. A partir de las transcripciones, se recuperaron los segmentos más relevantes de información, posteriormente codificados en unidades analizables (Coffey & Atkinson, 2003). Este proceso dio lugar a la generación de diversas categorías y subcategorías, definidas por algún elemento o rasgo en común, lo que demandó buscar fragmentos en el texto como evidencias de los códigos seleccionados. Todo ello permitió identificar los fenómenos más relevantes, así como semejanzas, diferencias, estructuras, hasta llegar a la saturación teórica (Seidel & Kelle, 1995). Finalmente, se configuró un esquema de categorías y subcategorías.

Para este proceso de codificación se utilizó el software Atlas.ti versión 23, con la finalidad de lograr una mayor sistematicidad y rigurosidad. Asimismo, esta herramienta posibilitó llevar a cabo análisis de coocurrencia, ilustrando la vinculación y codependencia de los distintos códigos y categorías considerados. Estos fueron representados gráficamente a través de diagramas de Sankey, resultantes de la tabulación cruzada entre códigos (Friese, 2019). Mediante la observación de la fusión entre códigos, este tipo de tablas y gráficos favorecen los análisis pues, además de ayudar a establecer relaciones, permite descartar las vinculaciones entre sí (Ripossio, 2023).

Todo lo anterior posibilitó realizar un análisis DAFO. Se trata de una técnica ampliamente utilizada en la gestión de recursos naturales, que conlleva la identificación de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas asociadas a un recurso, elemento o proceso concreto (Sobhani et al., 2023). Con ello, permite determinar factores internos (fortalezas y debilidades) y externos (oportunidades y amenazas) que se localizan en un entorno específico, facilitando la toma de decisiones a partir de la información relevante recogida (Yüksel & Dagdeviren, 2007).

2.3. Diseño y muestra

El presente estudio se sitúa en el contexto de la investigación didáctico-conceptual, centrada en el estudio de la difusión del patrimonio en contextos no formales (Fontal et al., 2019). Trata de valorar los principales atractivos del Parque Natural de Cornalvo, impulsando su aptitud para promover experiencias ecoturísticas variadas y asociadas a su característico ecosistema de dehesas. Asimismo, se pretende determinar el potencial de este espacio para establecer circuitos turísticos asociados con destinos próximos, en virtud de la variedad de manifestaciones culturales y naturales presentes en sus inmediaciones.

Considerando la delimitación espacial del estudio, el objetivo de los análisis no es determinar generalizaciones, sino lograr un conocimiento exhaustivo del fenómeno, así como profundizar en cuestiones vinculadas con las emociones, experiencias y deseos de los participantes (Martínez, 2011). Para contribuir al logro de los objetivos de investigación, se consideró una metodología reflexiva e interpretativa, partiendo de la interacción con participantes expertos en el área de estudio mediante la aplicación del análisis Delphi.

Para elaborar el panel de expertos se consideró como criterio discriminante para su selección poseer un buen conocimiento y experiencia sobre el espacio natural protegido objeto de estudio, en relación con cuestiones referidas a su gestión, impactos ambientales, desarrollo turístico y territorial e interpretación del patrimonio. Por tanto, todos los participantes en el estudio son especialistas en el área pertinente y se mantienen en el anonimato (Paraskevas & Saunders, 2012) (Tabla 4):

Tabla 4. Panel de expertos

Especialistas	Profesiones	Número
Gestión y políticas de Desarrollo territorial	Funcionarios gubernamentales y no gubernamentales	3
	Coordinadores/directores recursos naturales y áreas protegidas	3
	Agentes medioambientales	2
Interpretación y comunicación patrimonial	Empresarios y guías de turismo	5
	Profesores y académicos	3
Total		16

Elaboración propia

Respecto al tamaño del panel de expertos, en Delphi existen diversas perspectivas sobre lo que constituye el tamaño ideal, pudiendo variar desde 7 hasta más de 1.000 (Fallah & Ocampo, 2021). Sin embargo, la literatura defiende un tamaño idóneo compuesto por un grupo comprendido entre 7 y 30, dependiendo de cuestiones como el alcance geográfico o las áreas de conocimiento presentes (Landeta, 2006). No obstante, la validez y fiabilidad de los resultados depende en mayor medida de la experiencia de los panelistas que del tamaño de la muestra (Powell, 2003).

En este sentido, se ha optado por incluir un total de 16 expertos, con un perfil diferente, entre los que se encuentran académicos, gerentes, operadores turísticos, empresarios y funcionarios gubernamentales y no gubernamentales. Se trata de especialistas cuyos cargos están vinculados a la gestión y conservación de recursos y áreas naturales protegidas o a la interpretación del patrimonio del Parque, mediante la oferta y desarrollo de actividades turísticas y educativas. Su amplia experiencia les ha permitido experimentar transiciones en la gestión de este entorno, incluso desde antes de su reconocimiento como espacio protegido.

De forma complementaria, se ha realizado una encuesta prospectiva a los visitantes del Centro de Interpretación, mediante un muestreo aleatorio simple. En total, se han recopilado 107 encuestas que permiten conocer la valoración de los turistas respecto a las actividades principales que se permiten en el mismo.

3. Resultados

La opinión de los expertos revela diferentes aspectos del Parque Natural de Cornalvo relativos a los atractivos principales, a las problemáticas internas, a las deficiencias en la gestión y usos del espacio y a la propuesta de soluciones para su puesta en valor. Para cada una de las variables mencionadas se ha constituido un sistema de categorías-subcategorías que favorece el análisis e interpretación de los resultados. Los elementos categorizados se presentan ordenados en las correspondientes tablas en función del grado de consenso alcanzado por los expertos, el cual se expresa en porcentaje (F). Asimismo, se ofrecen diagramas Sankey que, a diferencia de las tablas, reflejan el grado de coocurrencia entre las distintas categorías.

A modo de síntesis, se ha elaborado una matriz DAFO que permite sintetizar los resultados esgrimidos por los expertos y plantear una valoración general del Parque (Figura 3).

Figura 3. Resultados del análisis DAFO



Elaboración propia

3.1. Fortalezas

Los expertos identifican varios atractivos patrimoniales en el Parque. Entre ellos reconocen la representatividad del paisaje adhesionado, los habitats y la biodiversidad de numerosas especies autóctonas, la localización, la exclusividad del patrimonio histórico, el espacio no masificado, la escasa contaminación lumínica, así como las características geológicas y la labor sensibilizadora realizada por el centro de interpretación (Tabla 5):

Tabla 5. Fortalezas: principales atractivos del Parque

Principales atractivos	F (%)
Dehesa - Convivencia del ser humano y naturaleza - Conservación de oficios tradicionales: patrimonio inmaterial - Representatividad de encinas, alcornocques y matorral mediterráneo	100
Biodiversidad - Heterogeneidad de ecosistemas - Flora y fauna variadas y representativas de especies autóctonas	93,75
Localización - Proximidad a Mérida y buena comunicación intermunicipios	87,5
Patrimonio histórico-artístico - Presa romana (monumento nacional), atalayas, puentes, fuentes - Red de conducciones romanas exclusivas	75
Espacio no masificado - Tranquilidad del espacio natural - Identificación de los sonidos del entorno: paisaje sonoro	68,75
Escasa contaminación lumínica - Condiciones idóneas para la práctica de starlight - Observación de aves nocturnas	56,25
Condiciones geológicas - Relevancia de El Berrocal del Rugidero	43,75
Centro de interpretación - Significatividad de las actividades educativas realizadas	43,75

Elaboración propia

Entre los principales atractivos se reconoce el ecosistema de dehesas (100 %), resaltando su relevancia como un paisaje emblemático que exhibe la armonía y el equilibrio entre la explotación humana de los recursos y su conservación, presentándose como ejemplo de desarrollo sostenible. Asimismo, se destaca su contribución al mantenimiento de oficios tradicionales asociados al patrimonio de la dehesa, los cuales enfrentan actualmente la amenaza de la extinción.

Seguido de ello, se destaca su rica biodiversidad (93,75 %), caracterizada por la heterogeneidad de hábitats representados en este espacio, con más de 12 tipos inventariados. El Parque alberga además una destacada diversidad biológica, incluyendo más de 15 especies de orquídeas y más de 209 especies de aves reproductoras e invernantes.

La ubicación geográfica del Parque es señalada como otro de los principales atractivos (87,5 %), pues los expertos señalan su proximidad a la ciudad monumental de Mérida, así como su excelente comunicación con los distintos términos municipales, como elementos de gran importancia que contribuyen al atractivo general del área.

En menor medida, también se mencionan otras ventajas: su exclusivo patrimonio histórico-artístico (75 %), destacando la presa romana, que posee un sistema hidráulico único; su condición como espacio no masificado (68,75 %), que permite obtener los beneficios de un espacio natural sin aglomeraciones, permitiendo disfrutar de experiencias como “escuchar el concierto de los anfibios por las noches”; la escasa contaminación lumínica (56,25 %), idónea para el desarrollo de actividades orientadas a la observación del cielo o de aves nocturnas; sus particulares características geológicas (43,75 %); y la posibilidad de participar en talleres y actividades educativas en el centro de interpretación (43,75 %), ampliando así las oportunidades de aprendizaje y enriquecimiento de la experiencia turística en el Parque Natural.

Respecto a este último factor, cabe señalar que el centro de interpretación realiza diversas actividades de educación y sensibilización y ofrece talleres a lo largo del año, los cuales coinciden normalmente con las conmemoraciones de días reconocidos, tales como el día de las aves migratorias, de la flora, de la tierra o del medio ambiente. Además, algunas de ellas se repiten varias veces, dependiendo de su demanda (Tabla 6).

Tabla 6. Actividades desarrolladas por el Centro de Interpretación durante el primer trimestre de 2019

Nombre	Tipo	Participantes	Objetivos
Siembra un árbol, siembra futuro	Abierta	66	- Acercar a los visitantes a la naturaleza y disfrutar de ella de una forma respetuosa - Dar a conocer la importancia de los árboles
Siembra un árbol, siembra futuro		51	
Los humedales y el cambio climático	Abierta	31	- Poner en valor los humedales como ecosistema representativo para muchas especies de aves
		17	
Actividad de sensibilización con la unidad canina de detección de venenos en el campo	Cerrada con grupos organizados	196	- Importancia de la detección de venenos en los espacios naturales
1m ² por ríos, embalses y pantanos	Abierta	21	- Concienciar sobre el problema de abandono de basuras y residuos en los espacios naturales
Actividad de sensibilización con la Escuela de Naturaleza de Lobón	Cerrada con grupos organizados	60	- Conocer los valores del Parque Natural y valorar las plantas más representativas de la dehesa
Actividades para conmemorar el día mundial del agua y el día mundial de los bosques	Cerrada con grupos organizados	90	- Poner en valor la importante función que desempeñan los árboles en la dehesa, sus aprovechamientos o la fauna que albergan y reflexionar sobre la importancia del agua para todas las formas de vida
	Abierta	50	
	Abierta	34	
Plantación con centro educativo	Cerrada con grupo organizado	20	- Dar a conocer la flora autóctona del ecosistema mediterráneo. - Sensibilizar y responsabilizar a todos los participantes acerca de la necesidad de cuidar el entorno en el que viven. - Promover e impulsar el respeto, cuidado y disfrute de su centro escolar. - Conocer las técnicas de plantación y cuidados de árboles y arbustos.

Fuente: datos del Centro de Interpretación. Elaboración propia

Si bien las actividades están dirigidas a todos los públicos, las visitas de colegios adquieren gran protagonismo. Esto es debido a la existencia de un proyecto impulsado por la Junta de Extremadura con el nombre de “Conoce Extremadura”, dirigido a los centros educativos, que ofrece la posibilidad de conocer los Espacios Naturales de la región, entre los que se encuentra el Parque Natural de Cornalvo. Considerando su proyección educativa, se han elaborado diversas guías didácticas, orientadas tanto al educador como al educando, para facilitar la comprensión de los valores del Parque (Figura 4). Estas actividades didácticas reflejan el compromiso con el conocimiento y la concienciación ambiental.

Figura 4. Recursos didácticos: (a) guía del educador; (b) cuaderno del alumno; (c) guía de lectura fácil



Fuente: Recursos ofrecidos por la Junta de Extremadura. Cuadernos didácticos (s. f.)

3.2. Debilidades

Los expertos identifican varias problemáticas internas que interfieren en la calidad y valorización de los recursos del Parque. Concretamente, los participantes describen tres debilidades importantes: la progresiva desconexión de la sociedad con el medio rural, la alteración de hábitats y biodiversidad a consecuencia de la incidencia de las actividades humanas en el medio y, por último, las altas temperaturas que ocasionan el estiaje de ríos y embalses (Tabla 7).

Tabla 7. Debilidades: deficiencias internas en el Parque

Deficiencias internas	F (%)
Desconexión <ul style="list-style-type: none"> - Abandono progresivo de las formas de vida y oficios asociados al medio rural - Escaso relevo generacional para el desarrollo de actividades agrarias 	75
Alteración de hábitats y disminución de biodiversidad <ul style="list-style-type: none"> - Influencia de la presencia humana en el medio natural 	43,75
Altas temperaturas <ul style="list-style-type: none"> - Sequía en ríos y embalses - Estacionalidad de las visitas turísticas 	37,5

Elaboración propia

En primer lugar, destaca la progresiva desconexión de la sociedad con el medio rural (75 %). Esta situación implica una pérdida de contacto y comprensión sobre las realidades del entorno rural, generando un distanciamiento con las actividades y modos de vida tradicionales asociados a las explotaciones agroganaderas y forestales. Afirman que “Hemos perdido el contacto con cómo crece una planta, de dónde sacamos el alimento, estamos más desconectados” o que “Ya no hay pastores. Antes se contrataban y había un movimiento del ganado que hacía que no ejercieses una presión fuerte sobre el terreno, pero eso ya no se hace porque están en peligro de extinción”.

En segundo lugar, se reconoce la alteración de los hábitats y de la disminución de la biodiversidad (43,75 %), como resultado de las actividades humanas en la naturaleza. Los participantes reconocen que la presencia directa o indirecta del ser humano es un factor determinante en la disminución de la diversidad biológica, actuando como un acelerante en la pérdida de hábitats y especies. Mencionan textualmente que “Analizamos la situación de biodiversidad y llegamos a la conclusión de que el hombre sólo con su presencia directa o indirecta es el mayor causante de su pérdida”; “no somos la causa, pero somos acelerantes”. En el caso del Parque Natural de Cornalvo, este fenómeno se manifiesta en la desaparición de “espacios de alcornocal con helechal y especies como el halcón abejero”.

En tercer lugar, se identifican las altas temperaturas (37,5 %), como causa de la intensificación de las sequías de ríos y embalses, que afectan de manera negativa tanto a la flora como a la fauna, principalmente a aquella asociada a los medios acuáticos. Este fenómeno también interfiere en las visitas al Parque, que presentan una marcada estacionalidad, aumentando su presencia especialmente durante los meses de otoño y primavera.

3.3. Amenazas

Los expertos reconocen diversas problemáticas externas, las cuales pueden suponer una amenaza para la conservación y sostenibilidad del Parque. Se menciona la escasa colaboración intermunicipal, el insuficiente trabajo en red con propietarios y empresarios, la falta de iniciativas turísticas emergentes y complementarias, las carencias en gestión y acondicionamiento de infraestructuras y usos del espacio, las restricciones económicas, limitaciones en educación ambiental, la escasa difusión de sus atractivos, así como la contaminación, los residuos y el limitado número de guardas de vigilancia y guías (Tabla 8):

Tabla 8. Amenazas: problemas externos del Parque

Problemáticas externas	F (%)
Escasa colaboración con destinos próximos - Inexistencia de circuitos asociados con Mérida	100
Insuficiente trabajo en red con propietarios - Escaso número de reuniones y acuerdos	93,75
Falta de iniciativas turísticas complementarias	93,75
Carencias en gestión y acondicionamiento de infraestructuras y usos del espacio - Cartelería dañada y obsoleta - Falta de reforestación - Falta de renovación del centro de interpretación: maquetas y paneles - Carreteras deterioradas y estrechas - Estado mejorable de los observatorios de aves - Filtraciones en el embalse de las Muelas - Aumento de carga ganadera: sobrepastoreo	87,5
Restricciones económicas - Limitación de ayudas económicas destinadas al Parque	75
Limitaciones en educación ambiental y patrimonial - Orientadas especialmente al público infantil - Carácter esporádico	56,25
Difusión escasa - Mayor divulgación de los recursos naturales sobre los culturales - Mayor especialización de agentes en cuestiones medioambientales - Insuficiente difusión de otros recursos menos reconocidos	56,25
Contaminación y residuos	37,5
Limitado número de agentes: guardas de vigilancia y guías	37,5

Elaboración propia

La escasa colaboración con destinos próximos es la principal limitación que afecta a la difusión y puesta en valor de los atractivos del Parque (100 %). Especialmente se reconoce como una carencia destacada la falta de circuitos asociados con la ciudad monumental de Mérida, de la que se encuentra a escasos 21 kilómetros de distancia. Los expertos coligen al afirmar que “No tenemos circuitos con Mérida, a pesar de que el 80 % del territorio del Parque pertenece a esta ciudad. Vive a espaldas del Parque porque su turismo

es eminentemente cultural. La gente va a Cornalvo porque ver espacios protegidos está en los esquemas de los turistas, no porque desde Mérida se promueva. Es algo más a iniciativa de los turistas que del propio ayuntamiento. No hay implicación municipal”.

En consonancia con lo anterior, los expertos también detectan un insuficiente trabajo en red con los propietarios de la zona (93,75 %), caracterizado por el escaso número de reuniones que se mantienen con los mismos. Afirman que “Ellos se sienten olvidados. La Junta Rectora se reúne cada tres años y debería haber más reuniones anuales, que mantendrían vivos los compromisos con los propietarios y con todas las fuerzas que están representadas, como empresarios o representantes del mundo rural”. También señalan que “Existen problemas de entendimiento con los propietarios por la falta de diálogo. Hay que escucharlos más y mantener el órgano de representación social siempre activo”. Esta falta de colaboración no solo afecta a los propietarios, sino también a empresarios o personal de servicios de restauración y hospedaje. Afirman que “Los ENP tienen que colaborar con el personal de las zonas que colindan: el que hospeda, el del restaurante, el del turismo de naturaleza o de aventura... tienen que colaborar... tanto municipios como empresas”; “Incluso desde algunos hoteles nos demandan tenerlos abastecidos de los planos del Parque”. Además, se ha dictaminado que es necesario modificar y renovar el Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG) del Parque Nacional de Cornalvo, encargado de valorar el estado natural, las actividades humanas y las inversiones realizadas en el Parque.

Dicha falta de colaboración también se manifiesta en la escasez de iniciativas turísticas complementarias (93,75 %), que podrían poner en valor distintos recursos del Parque. Los expertos señalan que “no se aprovechan las fincas privadas para generar nuevas iniciativas”; “La gente cree que Cornalvo es sólo el embalse y no es así. No sabemos dar a conocer nuestros recursos porque no hay mentalidad de colaborar”.

También es problemática la gestión y el acondicionamiento de infraestructuras y usos del espacio (87,5 %), principalmente en lo que respecta a factores como el deterioro y obsolescencia de la cartelería y señalética y el deterioro de los observatorios de aves (Figura 5). También se identifican deficiencias en: el estado de las carreteras de acceso, que resultan estrechas; la falta de reforestación; las filtraciones en el embalse de las Muelas que ocasionan la sequía prolongada, así como la pérdida de la biodiversidad asociada a su ecosistema; la falta de renovación de las maquetas y paneles del centro de interpretación y el sobrepastoreo. Ello se deduce de las afirmaciones que profieren entre las que se seleccionan los siguientes ejemplos: “Se ha aumentado la carga ganadera para rentabilizar más las explotaciones. Además, hay una falta de renovación de la vegetación por la propia gestión ganadera, su aumento incide que haya menos regeneración y que todos los árboles sean coetáneos”; “El embalse de las Muelas es uno de los sitios mejores para ver aves y es una lástima porque se seca. Tiene filtraciones que nunca hemos arreglado”.

Las restricciones económicas se identifican como una gran limitación (75 %), tanto para la mejora, la restauración y el desarrollo de nuevos recursos e infraestructuras, como para el establecimiento de acuerdos con propietarios. De hecho, alegan que “Hubo un momento en el que dejó de haber inversiones y si no inviertes se te vienen abajo las infraestructuras y el ánimo de los propietarios”. También que “En su día desde la declaración del Parque, se invirtió mucho, se hicieron caminos, observatorios, zonas de descanso, puentes y otras infraestructuras para el uso público. Se hicieron cosas muy de acuerdo con los propietarios, pero se interrumpió esa línea y se dejó de invertir”.

La falta de recursos económicos destinados al Parque se justifica, entre otras cuestiones, por el aumento progresivo del número de espacios protegidos en Extremadura, que ha ocasionado una inversión superior en otros espacios de mayor reconocimiento. Junto a ello, el escaso número de reuniones de la Junta Rectora y la falta de presupuestos fijos destinados a los ENP afectan a su desarrollo económico. Esto se deduce cuando se analizan afirmaciones textuales donde se reitera que “Antes, cuando se elaboraban los presupuestos, teníamos reuniones y valorábamos qué necesitaba Cornalvo; había una planificación, pero ahora no la hay. Tampoco hay responsabilidad de tener un presupuesto fijo destinado a los espacios protegidos por la administración; o también que “La red de ENP ha crecido y ahora tenemos más del 30 % con alguna figura de protección. Por ello se han incrementado mucho los gastos para otros espacios, mientras que otros que venían disfrutando de presupuestos se han visto afectados, hasta no invertirse nada en ellos prácticamente. No existe presupuesto suficiente para atender las demandas de todos los espacios protegidos”.

Aunque en menor medida, los expertos reconocen la existencia de otras problemáticas relacionadas con el enfoque de las actividades educativas de sensibilización (56,25 %), caracterizadas por estar dirigidas especialmente al público infantil. Además, señalan la escasa difusión de los atractivos del Parque (56,25 %), especialmente de los aspectos culturales, así como de otros recursos y espacios con menor reconocimiento

que no están vinculados a la presa romana y su ruta circular. De hecho, afirman que “Hay muchos más recursos que no ponemos en valor, sobre todo los relacionados con el patrimonio histórico, más allá de la presa. Conocemos menos lo cultural porque estamos menos especializados en ello”.

También expresan preocupación por la contaminación y los residuos (37,5 %), así como por el limitado número de guardias de vigilancia y guías (37,5 %), más allá de aquellos presentes en el centro de interpretación, según se deduce de afirmaciones tales como: “La gente quiere que alguien se lo explique, pero los monitores del centro están centrados en hacer educación ambiental programada”; “Desde Mérida, no hay ningún tour operador que haga una visita guiada complementaria al Parque cuando ya estás cansado de ver lo cultural”.

Figura 5. Deficiencias en el Parque Natural de Cornalvo: a) deterioro del observatorio de aves; b), c) y d) deterioro de la cartelería y señalética



a) deterioro del observatorio de aves



b) cartelera deteriorada en el entorno del embalse



c) señalética deteriorada en el Rugidero



d) cartelera dañada en el observatorio de aves

Fotografías de los autores

3.4. Oportunidades

Las soluciones articuladas por los participantes se presentan como posibles estrategias de futuro orientadas a mejorar y difundir los atractivos del Parque, contribuyendo con ello a su desarrollo socioeconómico y turístico-educativo. Entre las soluciones propuestas, consideran la diversificación de la oferta desde Mérida, la mejora en la gestión y el acondicionamiento de usos públicos e infraestructuras, potenciar distintas iniciativas turísticas, fomentar el trabajo en red con propietarios y empresarios, mejorar las actividades educativas realizadas desde el centro de interpretación, incrementar la difusión de distintos recursos, realizar un mayor número de evaluaciones de impacto, aumentar el número de agentes, aumentar la extensión del Parque y establecer un precio de entrada (Tabla 9):

Tabla 9. Oportunidades: estrategias de futuro

Oportunidades	F (%)
Diversificar la oferta desde Mérida <ul style="list-style-type: none"> - Establecimiento de circuitos asociados - Visibilizar un turismo distinto al cultural 	100
Mejorar gestión y acondicionamiento de espacios públicos e infraestructuras <ul style="list-style-type: none"> - Mejorar carretera, caminos de acceso y aparcamientos - Aumentar y restaurar la cartelería y señalización - Restauración de observatorios de aves - Labores de reforestación y control de ganado - Renovación de infraestructuras del centro de interpretación - Arreglo de filtraciones en el embalse de las Muelas - Creación de merenderos, puntos residuales adaptados, zonas de descanso y miradores - Construcción de mirador celeste 	100
Potenciar iniciativas turísticas <ul style="list-style-type: none"> - Astroturismo, turismo cultural asociado a oficios tradicionales, turismo micológico, turismo activo (Bicicletas Todo Terreno [BTT]), actividades de apicultura o safaris fotográficos, turismo gastronómico asociado a los productos del Parque 	100
Trabajar en red con distintos agentes <ul style="list-style-type: none"> - Incrementar el número de reuniones anuales de la Junta Rectora - Aumentar diálogo y acuerdos de colaboración con propietarios, empresarios y personal de restauración y hospedaje - Acuerdos con fincas privadas para usos públicos 	87,50
Mejoras en educación e interpretación ambiental <ul style="list-style-type: none"> - Promoción de actividades didácticas para distintos públicos 	68,75
Incrementar la difusión de distintos atractivos y accesos <ul style="list-style-type: none"> - Aumentar la difusión de atractivos culturales - Promover el acceso al Parque por otras entradas 	68,75
Realizar evaluaciones de impacto	68,75
Aumentar el número de agentes: guardas de vigilancia y guías expertos en didáctica	43,75
Ampliar la extensión del Parque	37,50
Establecer precio de entrada	18,75

Elaboración propia

Se identifican tres medidas que sobresalen frente al resto, tanto para mitigar las deficiencias detectadas como para mejorar el desarrollo del Parque. Estas propuestas incluyen la diversificación de la oferta desde Mérida (100 %), la mejora de infraestructuras y usos públicos (100 %) y la potenciación de iniciativas turísticas diversas (100 %).

Respecto a la primera de ellas, los expertos señalan la necesidad de colaborar con la ciudad de Mérida, tanto por su proximidad como por la afluencia de visitantes que atrae y que, en ocasiones, no visitan el Parque por el desconocimiento de su existencia. Tanto es así que afirman textualmente: “Me parece lamentable la falta de colaboración con Mérida, que no haya un vínculo más estrecho. Mucha gente que esté cansada de ver lo cultural podría venir a conocer el Parque, pero ni siquiera saben que existe. Debería haber folletos en las oficinas de turismo y en los hoteles”. Esta estrategia busca atraer a una gama más amplia de visitantes, aumentando así la visibilidad y accesibilidad del Parque desde un centro urbano. Con ello, se promovería un turismo distinto al cultural exclusivo de la ciudad.

La segunda de las propuestas remite a la necesidad de mejorar las condiciones de las infraestructuras y espacios de uso público, especialmente en lo referente a las vías de comunicación, los caminos de acceso y aparcamientos, unida al establecimiento de medidas de reforestación y de control ganadero y arreglo de filtraciones en el embalse de las Muelas. En relación con la primera, los expertos señalan la conveniencia de realizar apartaderos para facilitar el acceso al Parque, los cuales resultarían menos invasivos para el medio que ensanchar la carretera de acceso. De hecho, recuerdan que “es mejor hacer apartaderos, para no dañar el terreno y quitar vegetación”. Respecto a la segunda, consideran necesario “limitar el número de ganado por hectáreas”. Por último, los entrevistados señalan la conveniencia de “arreglar las filtraciones del embalse

de las Muelas” pues “sin ese embalse no se llena Cornalvo. No tiene ningún otro aporte de agua que el que le llega del embalse de las Muelas”. Además, reconocen sus ventajas en términos de biodiversidad cuando afirman que “Es un punto ornitológico de gran interés y si conseguimos mantener el agua durante primavera y verano aumentaría la reproducción de aves”.

Junto a ello, también reconocen la necesidad de optimizar las instalaciones y equipamientos, restaurando y la cartelería y la señalización, así como de los observatorios de aves. Asimismo, consideran necesario la renovación de las infraestructuras del centro de interpretación; la creación de más merenderos, de puntos residuales adaptados, de zonas de descanso y miradores; y la construcción de un mirador celeste.

La última de las convicciones que predomina frente al resto es el fomento de distintas iniciativas turísticas que aprovechen los recursos y características únicas del Parque. Refieren la idoneidad de promover el astroturismo, debido a sus óptimas condiciones lumínicas para la observación del cielo nocturno; el turismo cultural asociado a oficios tradicionales como la saca del corcho, aprovechando sus amplios paisajes adehesados; el turismo micológico; el turismo activo, mediante la promoción de eventos deportivos, especialmente en lo referido a las rutas BTT; los safaris fotográficos; o el turismo gastronómico asociado a los productos del Parque. De hecho, afirman que “los productos de Cornalvo tampoco se valoran. Deberíamos tener un acuerdo con determinados restaurantes de Mérida para comercializarlos. Podían tener fácil promoción en un entorno local y estás ofreciendo un producto de calidad del propio Parque, de la dehesa”.

Otra de las soluciones propuestas es el fomento del trabajo en red (87,50 %), tanto con los propietarios como con los empresarios y personal de hospedería y restauración. En este sentido, los expertos afirman que “Nos conviene que incluso los hoteles y restaurantes estén abastecidos de información de Cornalvo porque muchas personas, si no pasan por allí, no lo conocen”. Asimismo, proponen incrementar el número de reuniones anuales de la Junta Rectora del Parque, fomentando el diálogo y los acuerdos de colaboración, especialmente con los propietarios, pues “Compatibilizar el uso de las fincas privadas para las visitas turísticas permitiría conocer determinados recursos que se encuentran en áreas de propiedad particular”.

Sumado a lo anterior, se plantea incrementar la difusión de distintos atractivos del Parque (68,75 %), lo que supone aumentar la difusión de recursos con menor reconocimiento. Señalan que “La gente cree que Cornalvo es tan solo el embalse y no es así, pero si no está señalizado y no lo conoces, es difícil conocer y acceder a otros puntos de interés”. Asimismo, se manifiestan las ventajas de difundir distintas vías de acceso al Parque, que permiten “conocer recursos que habitualmente no ves”. Concretamente, aluden a la posibilidad de acceder desde cuatro puntos distintos: San Pedro, Trujillanos (acceso oficial), Mirandilla y Aljucén.

En menor grado, también realizaron sugerencias en lo relativo al desarrollo de actividades didácticas de educación e interpretación ambiental (68,75 %), no limitándose únicamente al público juvenil, sino también extendiéndose a visitantes más especializados. Asimismo, se ha expresado la necesidad de realizar evaluaciones de impacto de manera más frecuente (68,75 %), así como llevar a cabo acciones orientadas a incrementar el número de guardas de vigilancia y guías especializados en didáctica (43,75 %). Otras propuestas incluyen la expansión del área del Parque (37,50 %) y la implementación de un precio simbólico de entrada (18,75 %).

3.5. Análisis de coocurrencia de códigos

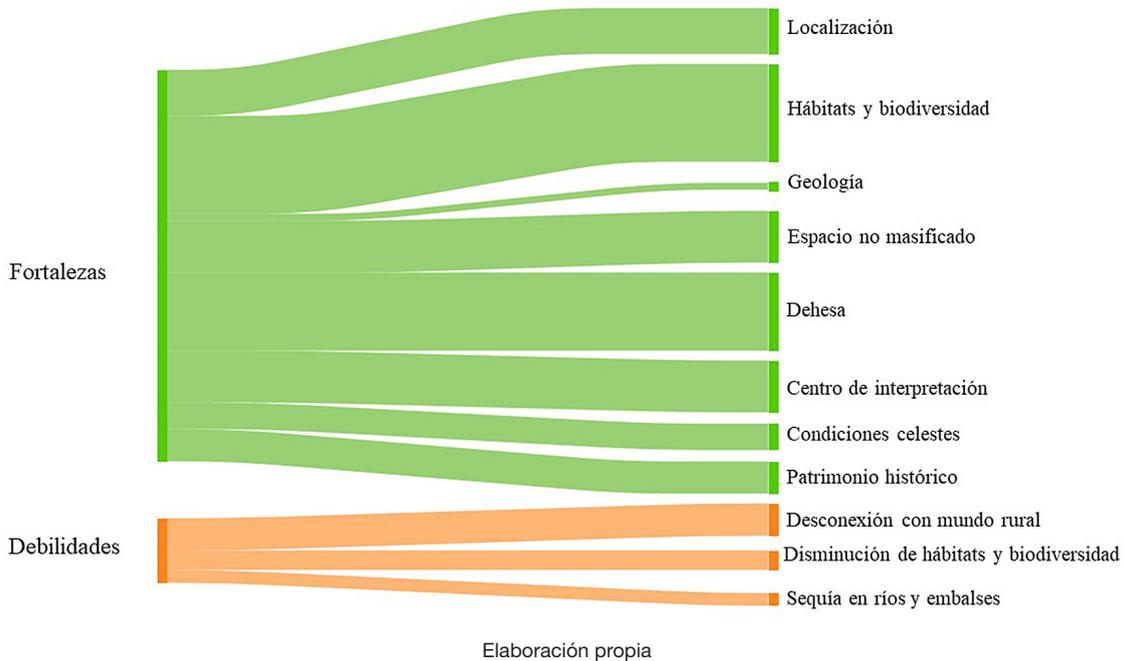
El análisis de las entrevistas mediante el software Atlas.ti ha permitido desarrollar análisis de coocurrencia, los cuales muestran la vinculación y codependencia de las distintas categorías. Esto no solo fortalece la teoría emergente, sino que también verifica su desarrollo. Los análisis intercategoriales se representan a través de diagramas de Sankey, los cuales ilustran las relaciones entre los factores internos (Figura 6), y entre los factores externos detectados (Figura 7). Para su interpretación, resulta esencial considerar que las líneas más gruesas indican una mayor relación entre los códigos.

En cuanto a la vinculación entre los factores internos, no se observan codependencias entre las fortalezas y las debilidades. Sin embargo, a nivel general, se percibe que las fortalezas poseen un mayor grado de representación que las debilidades. Concretamente, sobresalen como fortalezas la heterogeneidad de hábitats y su biodiversidad, así como la relevancia de los espacios adehesados.

La significativa heterogeneidad de hábitats en el área de estudio constituye una fortaleza de singular relevancia. La coexistencia de diversos hábitats, los cuales abarcan desde extensas superficies de dehesas o terrenos de encinar y alcornocal con matorral hasta praderas y cuerpos de agua, dota al entorno de un atractivo natural excepcional. Dicha diversidad de ambientes representados proporciona nichos ecológicos

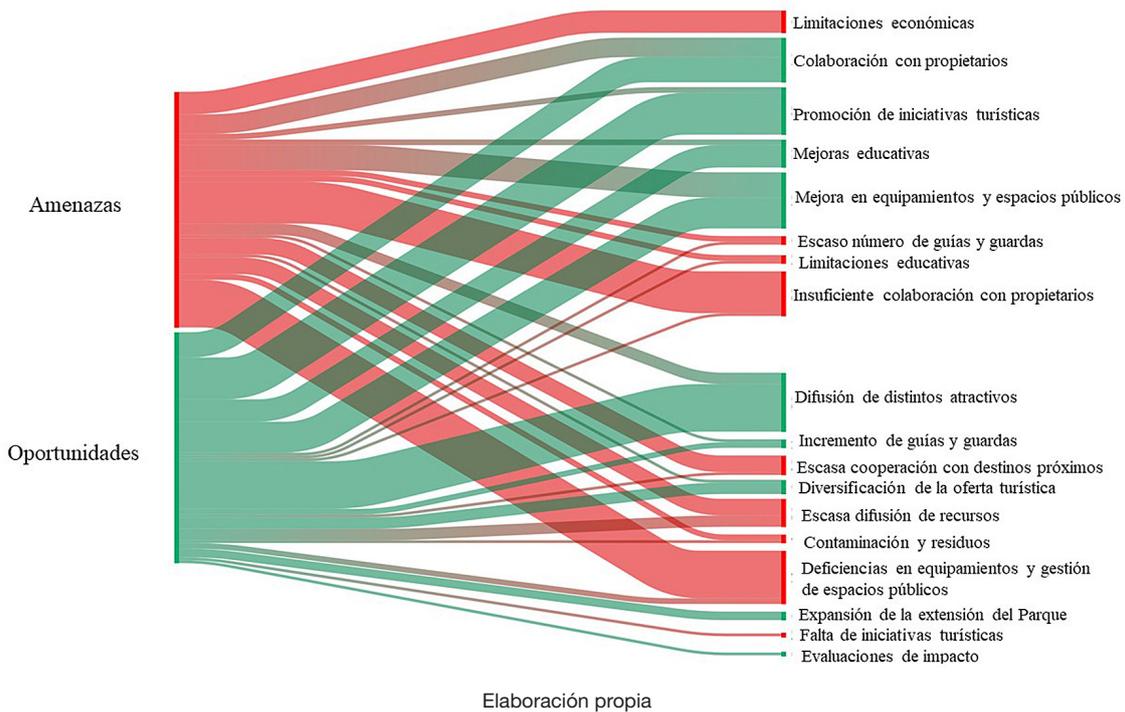
específicos que permiten la prosperidad y supervivencia de una rica biodiversidad. La convivencia de numerosas especies, tanto endémicas como migratorias, promueve la estabilidad del ecosistema y constituye un indicador de salud ambiental.

Figura 6. Análisis de coocurrencia de los factores internos: puntos fuertes y débiles



Paralelamente, la singularidad de las dehesas emerge como un elemento distintivo de gran importancia. Estos espacios no solo contribuyen a la propia diversidad de los hábitats, sino que también desempeñan un papel crucial en la conservación de la biodiversidad y la promoción de prácticas sostenibles. La dehesa, con su particular combinación de bosques, pastizales y actividades agrícolas, se erige como un recurso de especial relevancia para la salud ecológica del Parque, añadiendo un valor intrínseco que destaca en el contexto de las fortalezas identificadas.

Figura 7. Análisis de coocurrencia de factores externos: amenazas y oportunidades



En cuanto a los factores externos, destacan tres elementos que muestran correlación tanto con las amenazas como con las oportunidades manifestadas. Uno de estos elementos es la necesidad de mejorar tanto las infraestructuras como la gestión de los espacios en el Parque Natural. Esta mejora se define como una acción estratégica que no solo abordaría posibles amenazas, como la degradación de los equipamientos existentes, sino que también potenciaría las oportunidades al favorecer que el entorno sea más atractivo y accesible para los visitantes. Así, la inversión en infraestructuras y una gestión eficiente contribuiría a salvaguardar la integridad del entorno natural, al mismo tiempo que favorecería el desarrollo sostenible del turismo, fortaleciendo la relación entre el disfrute responsable de los recursos y la conservación ambiental.

Otro elemento destacable es la importancia de fomentar la colaboración entre los propietarios del Parque y diversos agentes. Esta colaboración se manifiesta como una oportunidad para abordar desafíos comunes, como la gestión sostenible de los recursos naturales o la conservación del patrimonio. Asimismo, la formación de alianzas puede facilitar el intercambio de conocimientos, recursos y experiencias, permitiendo implementar prácticas más efectivas y sostenibles.

Además, se destaca la necesidad de mejorar la difusión de los atractivos naturales y culturales del Parque. Esta medida no solo contrarrestaría las amenazas vinculadas a la falta de visibilidad y conciencia sobre el propio Parque, sino que generaría oportunidades para atraer a un público más amplio y diverso. La creación de campañas de promoción efectivas, una mayor dedicación a la utilización de plataformas digitales y la colaboración con entidades turísticas locales podrían ser instrumentos clave para mejorar la visibilidad y proyección del Parque.

De igual manera, se identifican varios factores que, aunque en menor medida, mantienen una vinculación directa tanto con las amenazas como con las oportunidades. Uno de estos elementos consiste en promover distintas iniciativas turísticas. Para ello, el diseño de circuitos turísticos en colaboración con la ciudad monumental de Mérida podría facilitar la creación de diversas experiencias, aprovechando la considerable capacidad de atracción turística que posee la ciudad. Asimismo, esta medida impulsaría la diversificación de la oferta al fomentar iniciativas turísticas que difieren de las experiencias culturales promovidas desde el centro urbano. La creación de experiencias turísticas que destaquen la riqueza natural y cultural del entorno podría atraer a nuevos visitantes, al mismo tiempo que contribuir a la concienciación sobre la necesidad de conservar y proteger el patrimonio del Parque.

Otro elemento destacado es la necesidad de establecer mejoras en educación patrimonial y ambiental, especialmente el desarrollo de actividades didácticas accesibles y orientadas a una audiencia más amplia. Estas mejoras educativas no solo contribuirían a mitigar la actual situación de desconexión de la sociedad con la naturaleza, sino que también podrían generar una base sólida para el desarrollo sostenible al promover actitudes responsables hacia el patrimonio natural y cultural.

En síntesis, la implementación de mejoras en las infraestructuras, el fortalecimiento de las redes de colaboración, una mayor difusión de los atractivos del Parque, la promoción de iniciativas turísticas innovadoras y el desarrollo de pedagogías educativas más activas, participativas e innovadoras, representan oportunidades estratégicas que podrían impactar favorablemente tanto en la mitigación de amenazas como en la capitalización de oportunidades para el Parque.

4. Discusión de resultados

Los ENP son la mayor expresión de naturaleza en la sociedad (Muñoz, 2008). Entre ellos, los Parques Naturales resultan un recurso muy apreciado y de gran valor social, pues permiten que la población se evada, aprenda o recupere el contacto directo con la naturaleza (Corraliza et al., 2002). Según la Federación EUROPARC (2017), existen casi 900 Parques Naturales en Europa, distribuidos en 22 países, los cuales representan el 8 % de la superficie total de la UE28; unos datos que reflejan el alto grado de significación de estos espacios.

En ellos se permiten algunas actividades, ya sean las necesarias para la gestión del territorio o para el desarrollo de actividades turísticas y recreativas (Štrba et al., 2022; Ferrandis et al., 2018; Fratini et al., 2022). Una gestión incorrecta del turismo puede generar tensiones entre el uso y la conservación de los recursos (Briassoulis, 2002). En cambio, un enfoque sostenible del mismo ofrece diversas oportunidades en términos de creación de empleo, diversificación económica, revitalización de los espacios, mejora de instalaciones, consolidación de redes empresariales o preservación del patrimonio natural y cultural (McGehee & Andereck, 2004; Andereck & Nyaupane, 2011; Garau, 2015).

Asimismo, el turismo en los ENP ofrece oportunidades educativas, en tanto que promueve una educación basada en la naturaleza, la cual mejora el comportamiento ecológico al promover la conexión con el medio (Siegmar & Pamela, 2017; Sánchez-Martín et al., 2018). A la vez, permite que las personas adquieran conciencia sobre los problemas y valores ambientales, comprometiéndose con su conservación. Este componente educativo está en la base de la declaración de las primeras áreas protegidas del mundo, y orienta las experiencias en estos espacios, entre ellas, las turísticas (Eagles et al., 2002; EUROPARC, 1995).

Considerando las oportunidades de los ENP para el desarrollo de experiencias turísticas sostenibles, el presente trabajo se centra en el caso particular del Parque Natural de Cornalvo. Se destaca su proximidad a la ciudad monumental de Mérida y a su rico patrimonio cultural, como características únicas que podrían ser aprovechadas para diversificar la oferta y enriquecer las experiencias de los visitantes. El objetivo principal es identificar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas asociadas a este espacio y, consecuentemente, articular estrategias para mejorar su gestión y puesta en valor.

Respecto a los factores internos asociados al Parque, los expertos identifican varias fortalezas. Destaca el reconocimiento de su extenso paisaje de dehesas, cuya inadaptación a los cánones desarrollistas le ha permitido preservar un excelente estado de conservación, con amplios valores muy reconocidos: paisajes singulares, riqueza ambiental, productos de calidad, biodiversidad y tradición cultural (Silva & Fernández, 2015). Dichas características lo convierten en un ejemplo de paisaje que muestra la posibilidad de mantener una relación armónica entre ser humano y naturaleza.

El ecosistema de dehesas ofrece beneficios tangibles, como productos de calidad y el mantenimiento de una biodiversidad excepcional, pero también conlleva beneficios intangibles, como la preservación de tradiciones culturales, cuyo valor reside tanto en su componente simbólico e identitario como en su importancia para la gestión sostenible de este paisaje. La conservación de este ecosistema no solo garantiza la producción de bienes de alta calidad, sino que también salvaguarda conocimientos y técnicas transmitidos de generación en generación. Por tanto, no solo constituye un recurso valioso desde el punto de vista ecológico, sino también desde una perspectiva cultural, contribuyendo a la identidad y continuidad de prácticas arraigadas en la población.

De la dehesa emana una biodiversidad notable, dando cabida a una amplia variedad de ecosistemas, que alcanzan un nivel destacado en la zona analizada. Esta riqueza no debe pasar desapercibida para los turistas que visitan la cercana ciudad de Mérida. En este sentido, resulta imprescindible generar un producto turístico específico, que combine la riqueza patrimonial de la ciudad, que actúa como principal reclamo turístico, y el parque natural, que debe erigirse en complemento ideal para una demanda cada vez más abierta a experimentar vivencias diferentes.

Si se consigue articular un producto combinado, que genere los flujos turísticos de dos destinos, uno consolidado y el otro con potencial complementario, sería posible mejorar la experiencia turística de los visitantes de Mérida. Al propio tiempo, se cumpliría uno de los principios que da sentido a los espacios protegidos, la divulgación de sus valores y el compromiso social y educativo que se desprende de sus centros de interpretación.

A la vez, dado que en el interior del espacio protegido se desarrollan actividades, se podría fomentar la práctica agroturística, lo que contribuiría a mejorar la rentabilidad de las explotaciones e incluso podría impedir el gradual abandono de las actividades agropecuarias y oficios tradicionales. Dicha sinergia, serviría para que se evitase la devaluación de las actividades agrícolas y de las ocupaciones tradicionales, lo que podría plantear un obstáculo significativo para la conservación de los espacios naturales protegidos (Silva, 2008; Pérez et al., 2013).

A pesar de los resultados positivos que pueden derivarse de la actuación conjunta de sendos destinos, avallados por el propio PRUG de Cornalvo, es preciso incidir en la planificación sostenible de dicho desarrollo. No cabe duda de que un uso indiscriminado del hábitat debido a la acción antrópica puede deteriorar la biodiversidad (Fratini et al., 2022). Unido a ello, existe otro reto importante, romper con la estacionalidad presente en las visitas al parque, ya que tanto el verano como el invierno acumulan muy pocas visitas, algo que no siempre sucede en Mérida. Un análisis sosegado permite discernir que el invierno no alcanza temperaturas severas, siendo una estación idónea para disfrutar del espacio natural. En cambio, durante el verano, durante el día se supera con mucha facilidad el umbral de confort térmico, por lo que sería recomendable reorientar las actividades a horas donde el calor sofocante sea menor.

A pesar de la evidente complementariedad de los atractivos, de los destinos, en definitiva, queda patente una importante falta de cooperación entre los entes implicados para poner en valor Cornalvo y todo el patrimonio que atesora, algo común a otros lugares (Silva, 2010).

Esta falta de cooperación contrasta con la realidad que han constatado otros estudios, en los que se ha demostrado que los turistas alojados en la ciudad de Mérida se desplazan a otros espacios naturales, algunos incluso bastante lejanos (Sánchez-Martín et al., 2020).

Este panorama, desvela la escasa creación de sinergias favorables entre alojamientos, restaurantes o empresas de la localidad, que pudieran fomentar el turismo de proximidad. Todo ello se agrava aún más por la insuficiente colaboración de la administración con los propietarios, con quienes podrían establecerse acuerdos para implementar distintas iniciativas, usos y aprovechamientos del Parque, que les concederían un valor añadido (Félix et al., 2022).

Existen carencias existentes en la gestión y acondicionamiento de infraestructuras y usos públicos del espacio (Sobhani et al., 2023; Fratini et al., 2022; Bertonatti et al., 2010). Resulta frecuente encontrar cartelería dañada, el arbolado coetáneo y envejecido, la obsolescencia de los equipamientos del centro de interpretación, el estado deteriorado de las carreteras de acceso y aparcamientos, el descuido en los observatorios de aves, la existencia de filtraciones en el embalse de las Muelas y la degradación de los suelos debido al aumento de la carga ganadera. Son tal vez demasiadas muestras de la dejadez a la que está sometido el Parque, a veces, justificadas por restricción de ayudas destinadas al fomento del turismo, dedicando una parte considerable de los escasos recursos económicos a poner en valor el espacio a los grupos de escolares que visitan en Centro de Interpretación. Esto contribuye a mermar la necesidad de vigilancia de un espacio de alto valor ecológico, pero también a limitar los guías especializados que deben contribuir a la mejora de la experiencia cuando se visita este entorno, a la vez que fomenta el posible deterioro por vandalismo y por la acción del tiempo de la señalética presente en la cartelería, e incluso de la aparición de contaminación acústica y de otra génesis.

Por último, resaltan otras problemáticas, entre las que se incluye la restricción de ayudas económicas destinadas al mismo, las cuales han experimentado una disminución progresiva. Además, se reconocen limitaciones en la proyección educativa de las actividades de sensibilización realizadas por el Centro de Interpretación, pues se orientan principalmente al público escolar. Sería beneficioso ampliar estas actividades educativas, de manera que resulten atractivas también al público general. Esto podría lograrse mediante la implementación de pedagogías más participativas e innovadoras, con el fin de fomentar una concienciación más amplia y generar experiencias sensitivas más motivadoras (Guillén-Peñafiel et al., 2022b). Otra preocupación planteada es la escasa difusión de los recursos del Parque, especialmente de aquellos de índole cultural. Asimismo, se señala la presencia de residuos y la insuficiencia de personal de vigilancia y guías especializados (Arcila & López, 2015; Muhanna, 2006).

Pese a todas las amenazas, se proponen ciertas soluciones orientadas a mitigar los problemas detectados. Básicamente se orientan a la diversificación de la oferta desde Mérida, a mejorar la gestión y el acondicionamiento de los espacios públicos e infraestructuras y a potencial distintas iniciativas turísticas.

Se reconoce, pues, la importancia de promover la colaboración y el trabajo en red con la ciudad de Mérida, estableciendo circuitos asociados con la ciudad y ofreciendo al turista un tipo de turismo distinto al cultural. El incentivo del turismo de proximidad a este ENP podría satisfacer el acceso a servicios y productos más experienciales en contacto directo con el entorno (Rivera, 2018), al mismo tiempo que favorecería la diversificación económica y otorgaría un valor agregado a la experiencia turística (Bertonatti et al., 2010; Bahamonde-Rodríguez et al., 2023). A su vez, esto atraería a los visitantes hacia lugares menos conocidos, que de otra forma podrían pasar inadvertidos (Bramwell & Lane, 1993; Brandis, 2009).

Pese a todas las amenazas, se proponen ciertas soluciones orientadas a mitigar los problemas detectados. Básicamente se orientan a la diversificación de la oferta desde Mérida, a mejorar la gestión y el acondicionamiento de los espacios públicos e infraestructuras y a potencial distintas iniciativas turísticas.

Se reconoce, pues, la importancia de promover la colaboración y el trabajo en red con la ciudad de Mérida, estableciendo circuitos asociados con la ciudad y ofreciendo al turista un tipo de turismo distinto al cultural. El incentivo del turismo de proximidad a este ENP podría satisfacer el acceso a servicios y productos más experienciales en contacto directo con el entorno (Rivera, 2018), al mismo tiempo que favorecería la diversificación económica y otorgaría un valor agregado a la experiencia turística (Bertonatti et al., 2010;

Bahamonde-Rodríguez et al., 2023). A su vez, esto atraería a los visitantes hacia lugares menos conocidos, que de otra forma podrían pasar inadvertidos (Bramwell & Lane, 1993; Brandis, 2009).

La proximidad del Parque Natural de Cornalvo a la ciudad monumental de Mérida se presenta como una oportunidad estratégica para el desarrollo futuro. Esta cercanía ofrece la posibilidad de establecer sinergias entre el patrimonio natural del Parque y el legado histórico y cultural de Mérida. El establecimiento de itinerarios específicos que combinen la visita entre ambos espacios no solo fomentaría la colaboración entre los gestores del Parque y las instituciones culturales de Mérida, sino que posibilitaría la implementación de estrategias de difusión que promocionen el destino turístico en su conjunto. La combinación de experiencias naturales y culturales podría posicionarse como una propuesta atractiva para un segmento diverso de visitantes, contribuyendo así al crecimiento económico local y a la proyección de los valores naturales y culturales de la región. Esta medida se refuerza mediante los resultados obtenidos de las encuestas realizadas, en las que la gran mayoría de los visitantes al Centro de Interpretación del Parque manifiestan que han visitado Mérida (97,2 %), lo que fortalece la necesidad de apoyarse en esta ciudad para favorecer el éxito turístico del Parque.

Un enfoque prioritario se debe orientar a la optimización de las vías de acceso y señalización hacia el Parque, con la finalidad de facilitar una llegada de visitantes más eficiente y segura. Este esfuerzo incluiría la implementación de mejoras en las carreteras existentes, en las vías de acceso y en los aparcamientos, contribuyendo así a mejorar la accesibilidad a este enclave natural.

En adición, se cree necesario emprender acciones significativas para la restauración de equipamientos del Parque, abarcando desde los observatorios de aves hasta la corrección de las filtraciones en los embalses. Dichas filtraciones no solo contribuyen a una sequía más prolongada, especialmente durante los meses más cálidos, sino que también afectan de manera negativa al periodo reproductivo de las aves asociadas a este ecosistema. Otras medidas consideran imperativa la realización de labores de reforestación, lo cual no solo contribuiría a la mejora paisajística del entorno, sino que desencadenaría beneficios ecológicos a largo plazo al favorecer la recuperación de hábitats y la protección de especies.

En cuanto al control del ganado, se destaca la necesidad de implementar medidas eficaces para regular su presencia e impacto, asegurando la sostenibilidad de los ecosistemas presentes y evitando procesos de degradación. La gestión de los espacios protegidos resulta complicada en contextos en los que la mayor parte de la propiedad es privada, donde no existe límites o instrumentos de control para asegurar la protección del entorno, por lo que el establecimiento de los mismos resulta necesario (Butler, 1996)

Junto a lo anterior, se propone la potenciación de diferentes iniciativas turísticas que aprovechen los atractivos presentes en el Parque (Lordipanidze et al., 2005). Se incide en la puesta en valor de los recursos patrimoniales inherentes al Parque como soporte de actividades y servicios turísticos alternativos, impulsando nuevas tipologías turísticas con potencialidades aún no desarrolladas (Tkaczynski et al., 2015). Concretamente, se sugiere potenciar el aprovechamiento de la dehesa como recurso para fomentar el turismo rural, favoreciendo que los habitantes obtengan ingresos superiores a los generados únicamente mediante las actividades agroganaderas (Sánchez-Martín et al., 2001; Trabajo & Cuenca, 2017). Para ello, resulta esencial entender la dehesa como ejemplo de paisaje cultural (Silva, 2010; Silva & Fernández, 2015), lo que implica conocer la riqueza de este ecosistema no solo en términos naturales, sino también considerando el rico y diverso patrimonio cultural que confiere identidad a estos espacios. Además de los numerosos ejemplos de arquitectura vernácula y tradicional, abarca un amplio repertorio de tradiciones, oficios y saberes con un carácter intangible y etnográfico que incrementan su relevancia cultural e histórica (Silva & Fernández, 2015).

Considerando la amplia superficie de dehesas que caracterizan al Parque Natural de Cornalvo y la relevancia patrimonial de este paisaje, se proponen experiencias ligadas a las demostraciones en vivo de determinadas prácticas ancestrales y su acervo cultural. Ejemplo de ello serían las labores culturales vinculadas al arbolado, como la fabricación tradicional de carbón o la saca de corcho, que resultan específicas de la dehesa y poseen numerosas posibilidades didácticas (Pérez et al., 2013). Estas experiencias, si se articulan adecuadamente con su entorno paisajístico y cultural, pueden convertirse en un potencial atractivo, con capacidad propia para generar flujos turísticos considerables (Ojeda & Silva, 1997). Además de las oportunidades para fomentar el turismo cultural, la dehesa ofrece otras posibilidades que también pueden resultar interesantes al visitante de este espacio natural y que posibilitarían una mayor diversificación, tales como el avistamiento de aves, la observación de estrellas, la recogida de setas y productos silvestres, experiencias de turismo activo o actividades gastronómicas. Así, el agroturismo resulta ser una respuesta innovadora que podría enfrentar la pérdida de actividades tradicionales, contribuir a la preservación del patrimonio agrícola y revalorizar las prácticas tradicionales generando ingresos adicionales (Hjalager, 1996; Belligiano et al., 2020).

Asimismo, se busca alinear estas iniciativas turísticas con las valoraciones de los visitantes al Parque, considerando sus tendencias y preferencias, entre las que destacan el ocio activo, la observación del cielo nocturno y la relajación y la desconexión, así como diversas formas de acercamiento a la naturaleza y manifestaciones culturales.

Por tanto, estas estrategias podrían incluir el diseño de experiencias turísticas innovadoras que destaquen aspectos únicos del Parque, aprovechando su rica biodiversidad, paisajes adhesionados y el patrimonio cultural que alberga. La creación de diversas rutas temáticas y actividades de interpretación podrían atraer a distintos segmentos de visitantes, desde interesados por la naturaleza hasta aquellos atraídos por la historia y la cultura local.

Con base en lo anterior, se recomienda fomentar una mayor comunicación y promover acuerdos de colaboración con los diversos propietarios de ciertas áreas dentro del Parque, con el objetivo de incrementar el número de recursos y zonas disponibles para la contemplación y disfrute de los visitantes, incentivando su valorización social y turística. Esto no solo beneficiaría al desarrollo local, económico, social y cultural de este espacio (Troitiño et al., 2005), sino que ofrecería oportunidades para educar en valores medioambientales y culturales, sensibilizando a los visitantes en su conservación (Epler, 2002).

Otras medidas se orientan a establecer mejoras en educación patrimonial y ambiental. Esta iniciativa debería ir en consonancia con los datos relativos al número de visitantes del Centro de Interpretación en 2019 (Tabla 1), donde se destacan características clave como la naturaleza estacional de las visitas, la procedencia mayoritaria de los visitantes de la propia comunidad autónoma y un notable equilibrio en cuanto al rango de edad de quienes visitan el Centro de Interpretación. En este sentido, las propuestas podrían orientarse hacia el diseño de programas educativos atractivos a lo largo del año, adaptar las iniciativas principalmente a los intereses y necesidades específicos de la población local y el diseño de actividades didácticas dirigidas a una audiencia más amplia.

Por una parte, esta institución tiene la capacidad de proporcionar actividades educativas concebidas con el propósito de instruir a los individuos y fomentar su compromiso en la preservación y salvaguardia del patrimonio en cuestión (Cuenca et al., 2020). Además de incentivar un mayor aprecio por los diversos recursos disponibles, estas prácticas aumentarían la satisfacción del visitante con la experiencia (Arcila & López, 2015). Por otra parte, los centros de interpretación ofrecen oportunidades excepcionales para dar mayor visibilidad a aquellos atractivos que permanecen infrautilizados, contribuyendo a resaltar su valor y animando al visitante a prolongar su estancia en la zona (Bertonatti et al., 2010).

Históricamente, la gestión de visitantes en las áreas protegidas se centraba en recurrir a medidas con un alto componente restrictivo, comúnmente denominadas “duras”, que se caracterizaban por limitar el número de visitantes, cerrar áreas y aplicar sanciones (Juma & Khademi-Vidra, 2022). Sin embargo, con el tiempo se ha observado un cambio hacia enfoques más permisivos, conocidos como “blandos”. Estos se basan en la educación y la interpretación (Mason, 2005) y se impulsan como tácticas alternativas y no obstructivas para la gestión de visitantes (Juma & Khademi-Vidra, 2022). Estas medidas flexibles desempeñan un papel esencial en la mejora de las labores de educación y sensibilización dentro del Parque, ya sea mediante estrategias personales (Zeppel & Muloin, 2008), como las acciones comunicativas llevadas a cabo por el personal del Centro de Interpretación, o a través de la optimización de diversos recursos y equipamientos no personales (Salazar, 2005; Black & Ham, 2005), que faciliten la difusión educativa y promuevan la conciencia ambiental en el área protegida de manera más indirecta.

Finalmente, se proponen otras acciones específicas. Entre ellas, se destaca la importancia de realizar un mayor número de evaluaciones de impacto (Dong et al., 2014), las cuales permitirían una comprensión más detallada sobre los efectos, positivos o negativos, que las actividades turísticas y otras intervenciones pueden tener sobre el Parque. Además, se sigue incrementando el número de guías especializados y guardas de vigilancia. Esta medida no solo mejoraría la experiencia del visitante al proporcionar fuentes de información personales y experimentadas, sino que fortalecería la supervisión y protección de los recursos del área. Otra propuesta consiste en ampliar la extensión del Parque, lo que permitiría incluir nuevos territorios y ampliar la oferta turística. Por último, se plantea establecer un precio simbólico de entrada (Guillén-Peñafiel et al., 2022a), el cual podría contribuir a financiar la gestión y conservación del Parque, al mismo tiempo que incentivaría la responsabilidad y valorización de los visitantes.

En síntesis, los resultados del estudio han permitido corroborar las hipótesis planteadas en el presente estudio. Con relación a la primera de ellas (H1), se manifiesta que los principales atractivos del Parque están

vinculados a sus atributos naturales y paisajísticos, con particular énfasis en su ecosistema de dehesas, mientras que otros recursos adquieren menor relevancia. Es el caso de los bienes culturales, las características geológicas, el centro de interpretación del Parque o las posibilidades para la práctica de astroturismo que ofrece este ENP. No obstante, si bien se reconoce la significatividad del paisaje de dehesas (H2), se constata que no se aprovecha su potencial para el desarrollo de experiencias turístico-educativas que puedan fomentar un mayor entendimiento del valor patrimonial de este espacio, fundamentalmente vinculado a la preservación de oficios tradicionales que, en la actualidad, se encuentran en vías de extinción. Por último, (H3) se corrobora una insuficiente colaboración con destinos próximos, como es la ciudad monumental de Mérida, la cual podría incrementar la valorización del Parque, ofreciendo al visitante que llega a la capital un tipo de turismo distinto al cultural.

A pesar de los hallazgos, este estudio plantea algunas limitaciones que es preciso señalar. En primer lugar, si bien se han consensuado unas opiniones generalizadas a partir del análisis Delphi, el panel de expertos podría abarcar a otros sectores que aportasen información complementaria desde otros puntos de vista, como propietarios o trabajadores involucrados en los oficios tradicionales. Asimismo, se presenta un estudio con un número limitado de encuestas que, si bien posibilitan realizar un primer acercamiento prospectivo a la realidad del área objeto de estudio, debido al número reducido de visitantes que recibe, no resultan suficientes para aplicar análisis que permitan resultados más exhaustivos. Por ello, sería beneficioso complementar los resultados de las entrevistas con un volumen mayor de encuestas dirigidas hacia la propia demanda turística, realizando estudios sobre la percepción y satisfacción del visitante. Esto permitiría contrastar los resultados esgrimidos por los expertos y llevar a cabo análisis cuantitativos adicionales para enriquecer la perspectiva cualitativa contemplada hasta este momento. Por último, también podría plantearse la realización de trabajos similares en otros ENP de Extremadura, que podrían ampliar el alcance de los resultados del estudio actual. Con base en lo anterior, se articulan propuestas de investigación orientadas a solventar algunas de las limitaciones mencionadas. Concretamente, en el futuro se extenderá la investigación, abarcando distintos ENP de la región, con el objetivo de evaluar si existen diferencias significativas respecto a su valoración.

5. Conclusiones

En la última década, se asiste a un notable incremento de la actividad turística en los ENP. Los turistas visitan dichas áreas con el propósito de aprender sobre un ecosistema y participar activamente en la preservación de los recursos naturales que albergan. Asimismo, la demanda comienza a interesarse por experiencias que les permitan aprehender la cultura, las costumbres y la tradición de las comunidades que visitan. Es decir, se está gestando un conjunto de inquietudes entre los visitantes, que no se limitan al interés hacia los atractivos naturales, sino que también abarcan los valores intangibles representativos del territorio.

En consonancia con las nuevas preferencias de la demanda, Cornalvo se erige como un entorno propicio para el desarrollo de experiencias turísticas sostenibles, siquiera como modelo de ensayo, ya que reúne unas condiciones privilegiadas. Esto no solo se fundamenta en los valores paisajísticos y medioambientales que lo distinguen y que han motivado su designación como Parque Natural, sino también en la singularidad del amplio paisaje de dehesas que predomina en la mayor parte de su superficie.

La dehesa, con sus valores paisajísticos, sociales y culturales, emerge como un reclamo para la práctica del turismo de naturaleza, de forma general, y de manera más específica, para el agroturismo o ecoturismo. Sin embargo, la gestión de este espacio, incluido entre los sistemas agrarios de elevado grado de conservación, exige un esfuerzo continuo para mantener un equilibrio entre la explotación de los recursos y su conservación. Por consiguiente, se concluyen algunas medidas destinadas a poner en valor el Parque Natural de Cornalvo y promover su desarrollo sostenible.

En primer lugar, se constata la relevancia de colaborar con espacios próximos y con diferentes agentes para realzar el valor el Parque. Por un lado, se resalta la necesidad de establecer circuitos turísticos que conecten esta área protegida con la ciudad de Mérida, ofreciendo a los visitantes una experiencia distinta a la de carácter eminentemente cultural y promoviendo itinerarios hacia atracciones alternativas o complementarias. Concretamente, se reconoce la necesidad de colaborar con alojamientos, restaurantes y empresas locales, que podrían fomentar un turismo de proximidad hacia productos más experienciales en contacto con la naturaleza, otorgando un valor añadido a la experiencia de los visitantes. Por otro lado, se considera de suma importancia aumentar el diálogo con los propietarios de terrenos dentro del Parque, con quienes podrían establecerse acuerdos para implementar diversas iniciativas, usos y aprovechamientos en el Parque.

En segundo lugar, se colige la necesidad de maximizar la utilización del ecosistema de dehesas, emblemático en este ENP, para desarrollar experiencias turístico-educativas que puedan promover un entendimiento más profundo del valor patrimonial de este agrosistema. Ello implica fomentar la comprensión de este tipo de paisaje no solo en términos de belleza paisajística, sino también considerando el diverso patrimonio cultural que confiere identidad a este espacio. De forma más específica, se plantea la posibilidad de ofrecer experiencias vinculadas a las tradiciones, oficios y saberes representativos de este espacio, como son la extracción de corcho o la fabricación tradicional de carbón vegetal. No obstante, considerando las diversas fortalezas asociadas al Parque, también se determinan otras posibilidades que podrían resultar interesantes para el visitante de este ENP, como el avistamiento de aves, la observación de estrellas, la recolección de setas y productos silvestres, actividades de turismo activo o experiencias de degustación gastronómica vinculadas a los productos autóctonos del Parque.

Adicionalmente, se estima la conveniencia de mejorar las infraestructuras y áreas de uso público dentro del Parque, prestando especial atención a aspectos como las vías de acceso y la señalización, la restauración de equipamientos como la cartelería informativa, la implementación de labores de reforestación, el establecimiento de límites para el control del ganado y la corrección de filtraciones en los embalses. Unas acciones que resultan esenciales para garantizar un acceso seguro y cómodo de los visitantes al Parque Natural, así como para conservar los recursos naturales y culturales.

Por último, se concluye la significatividad de la participación del centro de interpretación del Parque en lo que respecta a las funciones de índole educativa y divulgativa. Específicamente, su implicación resulta necesaria para proporcionar actividades educativas a diferentes tipos de públicos, especializados o no, así como para dar visibilidad a aquellos puntos de interés del parque que posean menor reconocimiento. Por tanto, la labor del centro de interpretación desempeña un papel esencial para la promoción y apreciación del Parque.

En síntesis, se ha comprobado que el Parque Natural de Cornalvo atesora una serie de fortalezas que pueden ser hábilmente aprovechadas para instaurar diversas estrategias de turismo sostenible, las cuales podrían incrementar su valorización social. Sin embargo, es importante destacar que, aunque el atractivo del territorio y sus recursos representan condiciones necesarias, por sí solos no son suficientes para su revalorización. Por ello, este estudio proporciona información y estrategias que pueden resultar de utilidad a los administradores para mejorar la planificación, la oferta recreativa y el diseño de servicios dentro de esta área protegida. Asimismo, este trabajo enfatiza la importancia de valorar las dimensiones ambientales, culturales, educativas y recreativas de la dehesa, lo que a su vez podría incrementar la competitividad del Parque Natural de Cornalvo.

Financiación

Esta investigación forma parte de las realizadas durante la ejecución del proyecto “El agroturismo en las dehesas de Extremadura: una oportunidad para incrementar la renta agraria y la fijación de la población en el medio rural”, con referencia IB20012. Ha sido financiada por la Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital de la Junta de Extremadura, y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER); también ha sido financiada por la Universidad de Extremadura y por la Unión Europea, a través de las “Ayudas Margarita Salas para la Formación de Jóvenes Doctores”. Referencia MS8.

Referencias

- Andereck, K., L. & Nyaupane, G. P. (2011). Exploring the nature of tourism and quality of life perceptions among residents. *Journal of Travel research*, 50(3), 248-260. <https://doi.org/10.1177/0047287510362918>
- Anderson, W. (2018). Linkages between tourism and agriculture for inclusive development in Tanzania. *Journal of Hospitality and Tourism Insights*, 1(2), 168-184. <https://doi.org/10.1108/JHTI-11-2017-0021>
- Arcila, M., & López, J. A. (2015). Los centros de interpretación como motor de desarrollo turístico local. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 67, 143-165. <https://doi.org/10.21138/bage.1821>
- Arnegger, J., Woltering, M., & Job, H. (2010). Toward a product-based typology for nature-based tourism: A conceptual framework. *Journal of sustainable tourism*, 18(7), 915-928. <https://doi.org/10.1080/09669582.2010.485680>
- Baéz, A., & Acuña, A. (2003). *Guía para las mejores prácticas de ecoturismo en áreas protegidas*. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. http://plataforma.responsible.net/sites/default/files/guia_mejores_practicas_ecoturismo_0.pdf
- Bahamonde-Rodríguez, M., Šadeikaitė, G., & García-Delgado, F. J. (2023). The effects of tourism on local development in protected nature areas: The case of three nature parks of the Sierra Morena (Andalusia, Spain). *Land*, 12(4), 898. <https://doi.org/10.3390/land12040898>
- Balmford, A., Beresford, J., Green, J., Naidoo, R., Walpole, M., & Manica, A. (2009). A Global Perspective on Trends in Nature-Based Tourism. *PLOS Biology*, 7(6), e1000144. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000144>
- Belliggiano, A., Garcia, E. C., Labianca, M., Valverde, F. N., & De Rubertis, S. (2020). The “eco-effectiveness” of agritourism dynamics in Italy and Spain: A tool for evaluating regional sustainability. *Sustainability*, 12(17), 7080. <https://doi.org/10.3390/su12177080>
- Bertonatti, C., Iriani, O., & Castelli, L. (2010). Los centros de interpretación como herramientas de conservación y de desarrollo. *Boletín de interpretación*, 23, 21-26. <https://boletin.interpretaciondelpatrimonio.com/index.php/boletin/article/view/253>
- Black, R., & Ham, S. H. (2005). Improving the quality of tour guiding: Towards a model for tour guide certification. *Journal of Ecotourism*, 4, 178-195. <https://doi.org/10.1080/14724040608668442>
- Blanke, J., & Chiesa, T. (2008). The Travel & Tourism Competitiveness Index 2008: Measuring Key Elements Driving the Sector's Development. In *The Travel & Tourism Competitiveness Report 2008: Balancing Economic Development and Environmental Sustainability* (pp. 3-26). World Economic Forum. http://tourismlibrary.tat.or.th/medias/WEF0003/WEF0003_fulltext.pdf
- Bramwell, B., & Lane, B. I. (1993). Interpretation and Sustainable Tourism: The Potential and the Pitfalls. *Journal of Sustainable Tourism*, 1, 71-80. <https://doi.org/10.1080/09669589309450706>
- Brandis, D. (2009). La imagen cultural y turística de las Ciudades Españolas Patrimonio de la Humanidad. In M. A. Troitiño (Ed.), *Ciudades Patrimonio de la Humanidad: Patrimonio, Turismo y Recuperación Urbana* (pp. 70-97). Universidad Internacional de Andalucía.
- Briassoulis, H. (2002). Sustainable tourism and the question of the Commons. *Annals of Tourism Research*, 29, 1065-1085. [https://doi.org/10.1016/S0160-7383\(02\)00021-X](https://doi.org/10.1016/S0160-7383(02)00021-X)
- Butler, R. W. (1996). The concept of carrying capacity for tourism destinations: Dead or merely buried? *Progress in tourism and hospitality research*, 2, 283-293. <https://doi.org/10.1002/pth.6070020309>
- Cabero, J., & Infante, A. (2014). Use of The Delphi Method And Its Use In Communication And Education Research, *EDUTEC*, 48, 1-16. <https://doi.org/10.21556/edutec.2014.48.187>
- Capra, F. (2003). *Las conexiones ocultas: Implicaciones sociales, medioambientales, económicas y biológicas de una nueva visión del mundo [The Hidden Connections: Social, Environmental, Economic, and Biological Implications of a New Worldview]*. Anagrama.
- Carrascosa-López, C., Carvache-Franco, M., Mondéjar-Jiménez, J., & Carvache-Franco, W. (2021). Understanding motivations and segmentation in ecotourism destinations. Application to natural parks in Spanish mediterranean area, *Sustainability*, 13(9), 4802. <https://doi.org/10.3390/su13094802>

- Coffey, A., & Atkinson, P. (2003). *Making Sense of Qualitative Data: Complementary Research Strategies*. Universidad de Antioquía.
- Corraliza, J. A., Valero, E., & García, J. (2002). *Los parques naturales en España: Conservación y disfrute*. Fundación Alonso Martín Escudero.
- Cuenca, J. M., Martín, M., & Estepa, J. (2020). Buenas prácticas en educación patrimonial. Análisis de las conexiones entre emociones, territorio y ciudadanía. *Aula abierta*, 49(1), 45-54. <https://doi.org/10.17811/rifie.49.1.2020.45-54>
- Dearden, P., Bennett, M., & Johnston, J. (2005). Trends in global protected area governance, 1992-2002. *Environmental management*, 36(1), 89-100. <https://doi.org/10.1007/s00267-004-0131-9>
- Decreto 110/2015, de 19 de mayo, por el que se regula la Red Ecológica Europea Natura 2000 en Extremadura. DOE núm. 105 de 03 de Junio de 2015. https://noticias.juridicas.com/base_datos/CCAA/554153-d-110-2015-de-19-may-ca-extremadura-regulacion-de-la-red-ecologica-europea.html
- Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. «DOCE» núm. 206, de 22 de julio de 1992. (s. f.). <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1992-81200>
- Directiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, relativa a la conservación de las aves silvestres. «DOUE» núm. 20, de 26 de enero de 2010. (s. f.). <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2010-80052>
- Directiva del Consejo, de 2 de abril de 1979, relativa a la conservación de las aves silvestres. «DOCE» núm. 103, de 25 de abril de 1979. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1979-80128>
- Dong, H., Song, Y., Chen, T., Zhao, J., & Yu, L. (2014). Geoconservation and geotourism in Luochuan Loess National Geopark, China. *Quaternary International*, 334-335, 40-51. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.10.023>
- Dudley, N. (2008). *Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas*. IUCN Gland. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2008.PAPS.2.es>
- Eagles, P.F., McCool, S. F., & Haynes, C.D. (2002). *Sustainable tourism in protected areas: Guidelines for planning and management*. IUCN Gland. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/pag-008.pdf>
- Egbali, N., Nosrat, A. B., & Alipour, S. K. S. (2011). Effects of positive and negative rural tourism (Case study: Rural Semnan Province). *Journal of Geography and Regional Planning*, 4(2), 63-76. <https://academicjournals.org/journal/JGRP/article-full-text-pdf/D5AEB9040770>
- Epler, M. (2002). *Ecotourism: Principles, practices & policies for sustainability*. United Nations Environment Programme (UNEP).
- Fallah, M., & Ocampo, L. (2021). The use of the Delphi method with non-parametric analysis for identifying sustainability criteria and indicators in evaluating ecotourism management: The case of Penang National Park (Malaysia). *Environment Systems and Decisions*, 41, 45-62. <https://doi.org/10.1007/s10669-020-09790-z>
- Federación de Parques Naturales y Nacionales de Europa (EUROPARC). (1995). *Carta Europea de Turismo Sostenible*. <https://redeuroparc.org/carta-europea-turismo-sostenible/>
- Federación de Parques Naturales y Nacionales de Europa (EUROPARC). (2017). *Living landscapes. Europe's Nature, Regional, and Landscape Parks –model regions for the sustainable development of rural areas*. Verband Deutscher Naturparke. https://www.europarc.org/wp-content/uploads/2018/02/Book_living-landscapes.pdf
- Federación de Parques Naturales y Nacionales de Europa (EUROPARC). (2020). *Anuario 2020 del estado de las áreas protegidas en España*. Fundación Fernando González Bernáldez. <https://redeuroparc.org/wp-content/uploads/2022/01/anuario2020finalweb.pdf>
- Félix, A. G., Rivera, M. R., & García, G. (2022). Motivaciones y Actitudes de La Demanda Turística En La Fase de Recuperación de Destinos Afectados Por Desastres Socio-Naturales: Un Análisis Empírico En La Región Litoral de Ecuador. In R. D. Hernández (Ed.), *La Gestión Turística Del Patrimonio: Una Visión Multidisciplinar* (p. 359). Aranzadi Thomson Reuters.

- Ferrandis, A., Schubert, S. J., & García, C. (2018). *El turismo en los espacios naturales protegidos. Aproximación a una gestión inteligente basada en la sostenibilidad*. *POLÍGONOS*, 30, 217-242. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6766471>
- Fontal, O., García, S., Arias, B., & Arias, V. (2019). Evaluación de La Calidad de Programas de Educación Patrimonial: Construcción y Calibración de La Escala Q-Edutage. *Revista de Psicodidáctica*, 24(1), 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.psicod.2018.07.003>
- Fratini, F., Rescic, S., & Luvidi, L. (2022). Can Tourism and Natural Parks Coexist? Comparison of Europe, China, and the United States of America. *Geosciences*, 12(12), 430. <https://doi.org/10.3390/geosciences12120430>
- Friese, S. (2019). *Qualitative Data Analysis With ATLAS.ti*. Sage.
- Garau, C. (2015). Perspectives on cultural and sustainable rural tourism in a smart region: The case study of Marmilla in Sardinia (Italy). *Sustainability*, 7, 6412-6434. <https://doi.org/10.3390/su7066412>
- Gómez-Limón, J., Múgica, M., & De Lucio, J. V. (2000). *Los espacios naturales protegidos del estado español en el umbral del siglo XXI. De la declaración a la gestión activa*. Fundación Fernando González Bernáldez.
- Guillén-Peñafiel, R., Hernández-Carretero, A. M., & Sánchez-Martín, J. M. (2020). Claves para mejorar la valoración en destinos turísticos de Extremadura. Una aportación del Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ). *Investigaciones Geográficas*, 74, 139-163. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.GPHCSM>
- Guillén-Peñafiel, R., Hernández-Carretero, A. M., & Sánchez-Martín, J. M. (2022a). La educación patrimonial, fundamento de la conservación: Ventajas e impactos de la actividad turística en espacios patrimoniales de Extremadura. *Revista de Estudios Regionales*, 123, 49-83.
- Guillén-Peñafiel, R., Hernández-Carretero, A. M., & Sánchez-Martín, J. M. (2022b). Heritage Education as a Basis for Sustainable Development. The Case of Trujillo, Monfragüe National Park and Villuercas-Ibores-Jara Geopark (Extremadura, Spain). *Land*, 11(8), 1183. <https://doi.org/10.3390/land11081183>
- Hjalager, A. M. (1996). Agricultural diversification into tourism: Evidence of a European Community development programme. *Tourism management*, 17(2), 103-111. [https://doi.org/10.1016/0261-5177\(95\)00113-1](https://doi.org/10.1016/0261-5177(95)00113-1)
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2021). *Población Por Comunidades y Ciudades Autónomas y Tamaño de Los Municipios, 2021*. <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2915>
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2022a). Encuesta de ocupación hotelera. Viajeros y pernoctaciones por puntos turísticos, 2022. <https://ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=2078>
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2022b). *Proporción de Personas Mayores de Cierta Edad Por Comunidad Autónoma, 2022*. <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=1451>
- Juma, L. O., & Khademi-Vidra, A. (2022). Nature Interpretation as an Environmental Educational Approach in Visitor Management; The Application Dilemma for Different Target Groups at Masai Mara National Reserve, Kenya. *Sustainability*, 14(5), 2935. <https://doi.org/10.3390/su14052935>
- Junta de Extremadura. (s. f.). *Datos de La Red de Áreas Protegidas de Extremadura. Disponible En Línea*. http://extremambiente.juntaex.es/index.php?option=com_content&view=article&id=1288&Itemid=459
- JuntadeExtremadura. Cuadernillos didácticos (s.f.). http://extremambiente.juntaex.es/index.php?option=com_content&view=article&id=340&Itemid=373
- Junta de Extremadura. (2009). *ORDEN de 22 de enero de 2009 por la que se aprueba el Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Natural de Cornalvo*. «DOE», 23, 4 de febrero de 2009. <https://doe.juntaex.es/pdfs/doe/2009/230o/09050044.pdf>
- Junta de Extremadura. (2021). *Manual Del Estado de Conservación Del Hábitat de Dehesas En Extremadura*. <http://extremambiente.juntaex.es/files/2021/Prodehesa/MANUAL%20ESP.pdf>
- Kastenholz, E., Carneiro, M. J., Peixeira, C., & Lima, J. (2012). Understanding and managing the rural tourism experience—The case of a historical village in Portugal. *Tourism Management Perspectives*, 4, 207-214. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2012.08.009>
- Kennedy, H.P. (2004). Enhancing Delphi research: Methods and results. *Journal of Advanced Nursing*, 45, 504-511. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2648.2003.02933.x>

- Landeta, J. (2006). Current Validity of the Delphi Method in Social Sciences. *Technological Forecasting Social Change Journal*, 73, 467-482. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.09.002>
- Lausche, B. (2011). *Guidelines for protected areas legislation*. UICN Gland. <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/eplp-081.pdf>
- Ley 1/1986, de 2 de mayo, sobre la Dehesa en Extremadura. Comunidad Autónoma de Extremadura. «BOE» núm. 174, de 22 de julio de 1986 (s. f.). <https://www.boe.es/eli/es-ex/l/1986/05/02/1/con>
- Ley 4/1989, de 27 de marzo, de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres. «BOE» núm. 74, de 28 de marzo de 1989. (s. f.). <https://www.boe.es/eli/es/l/1989/03/27/4>
- Ley 8/1998, de 26 de junio, de conservación de la naturaleza y de espacios naturales de Extremadura. https://noticias.juridicas.com/base_datos/CCAA/ex-l8-1998.html
- Ley 7/2004, de 19 de noviembre, por la que se declara a Cornalvo Parque Natural. «BOE» núm. 302, de 16 de diciembre de 2004. (s. f.). <https://www.boe.es/eli/es-ex/l/2004/11/19/7>
- Ley 9/2006, de 23 de diciembre, por la que se modifica la Ley 8/1998, de 26 de junio, de Conservación de la Naturaleza y Espacios Naturales de Extremadura. «BOE» núm. 24, de 27 de enero de 2007. (s. f.). <https://www.boe.es/eli/es-ex/l/2006/12/23/9>
- Ley 33/2015, de 21 de septiembre, por la que se modifica la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. «BOE» núm. 227, de 22/09/2015. (s. f.). <https://www.boe.es/eli/es/l/2015/09/21/33/con>
- Linstone, H. A., & Turoff, M. (1975). *The Delphi Method: Techniques and Applications*. Addison Wesley Publishing.
- Lordkipanidze, M., Brezet, H., & Backman, M. (2005). The entrepreneurship factor in sustainable tourism development. *Journal of cleaner production*, 13(8), 787-798. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.043>
- Mandić, A. (2019). Nature-Based Solutions for Sustainable Tourism Development in Protected Natural Areas: A Review. *Environment Systems and Decisions*, 39, 249-268. <https://doi.org/10.1007/s10669-019-09718-2>
- Mark, M., & Marielle, V. (2016). The Role of Education for Sustainable Development in Maltese Marine Protected Areas: A Qualitative Study. In W. Leal & L. Brandli (Eds.), *Engaging Stakeholders in Education for Sustainable Development at University Level* (pp. 109-121). Springer: Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26734-0_8
- Martínez, E. (2003). La Técnica Delphi Como Estrategia de Consulta a Los Implicados En La Evaluación de Programas. *Revista De Investigación Educativa*, 21, 449-463. <https://revistas.um.es/rie/article/view/99311>
- Martínez, M. (2011). *Comportamiento Humano: nuevos Métodos de Investigación*. Trillas.
- Mason, P. A. (2005). Visitor Management in Protected Areas: From 'Hard' to 'Soft' Approaches?. *Current Issues in Tourism*, 8, 181-194. <https://doi.org/10.1080/13683500508668213>
- McGehee, N. G., & Andereck, K.L. (2004). Factors predicting rural residents' support of tourism. *Journal of Travel Research*, 43, 131-140. <https://doi.org/10.1177/0047287504268234>
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico (MITECO). (2022). *Visitantes en la red de Parques Nacionales*. <https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/parques-nacionales-oapn/red-parques-nacionales/gestion/Visitantes-PPNN-2022.pdf>
- Morón, H., & Morón M. C. (2017). ¿Educación Patrimonial o Educación Ambiental?: Perspectivas que convergen para la enseñanza de las ciencias. *Eureka*, 14(1), 244-257. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i1.18
- Mose, I. (2007). *Protected Areas and Regional Development in Europe: Towards a New Model for the 21st Century*. Ashgate Publishing Ltd.
- Muhanna, E. (2006). Sustainable Tourism Development and Environmental Management for Developing Countries. *Problems and Perspectives in Management*, 4, 14-30. https://www.businessperspectives.org/images/pdf/applications/publishing/templates/article/assets/519/PPM_EN_2006_02_Muhanna.pdf

- Mulero, A., & Rivera, M. (2018). Turismo de naturaleza y espacios naturales protegidos en España. *Abaco*, 98, 84-96. <https://www.uco.es/teps/wp-content/uploads/2019/05/Articulo-Rvta-Abaco-Tur-y-EspNat-2018.pdf>
- Muñoz, J. C. (2008). El turismo en los espacios naturales protegidos españoles, algo más que una moda reciente. *Boletín de la AGE*, 46, 291-304. <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/674>
- Nazariadli, S., Morais, D. B., Barbieri, C., & Smith, J. W. (2018). Does perception of authenticity attract visitors to agricultural settings?. *Tourism Recreation Research*, 43(1), 91-104. <https://doi.org/10.1080/02508281.2017.1380144>
- Ojeda, J. F., & Silva, R. (1997). Dehesas de Sierra Morena y Políticas Agroambientales Comunitarias. *Estudios Geográficos*, 227, 203-226. <https://doi.org/10.3989/egeogr.1997.i227.626>
- Organización Mundial de Turismo (OMT). (2002). The British Ecotourism Market. UNWTO. <https://www.e-unwto.org/doi/epdf/10.18111/9789284404865?role=tab>
- Paraskevas, A., & Saunders, M. N. (2012). Beyond consensus: An alternative use of Delphi enquiry in hospitality research. *International Journal of Hospitality Management*, 24, 907-924. <https://doi.org/10.1108/09596111211247236>
- Pérez, A., Rengifo, J. I., & Leco, F. (2013). *El Agroturismo: Un Complemento Para La Maltrecha Economía de La Dehesa*. In J. L. Jiménez (Ed.), *Turismo e Innovación: VI Jornadas de Investigación En Turismo* (pp. 409-429). Universidad de Sevilla.
- Powell, C. (2003). The Delphi technique: Myths and realities. *Journal of Advanced Nursing*, 41, 376-382. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2648.2003.02537.x>
- Pulido, F., Picardo, A. (Coords.). (2010). *Libro Verde de La Dehesa*. Consejería de Medio Ambiente, Junta Castilla La Mancha. <https://pfcyl.es/sites/default/files/eventos/adjuntos/libroverdedeladehesa.pdf>
- Ramírez, E. D. (2015). Agroecoturismo: Aportes para el desarrollo de una tipología turística en el contexto latinoamericano. *Turismo y Sociedad*, 15, 223-236. <https://doi.org/10.18601/01207555.n15.13>
- Ripossio, R. P. (2023). *El análisis cualitativo con ATLAS. ti 22 en Ciencias Sociales: Nuevas herramientas y aplicaciones concretas*. <https://doi.org/10.18294/pm.2023.4324>
- Rivera, M. (2018). Turismo activo, recreación al aire libre y deportes de Naturaleza: Una lectura geográfica. *Boletín de la AGE*, 77, 462-492. <https://doi.org/10.21138/bage.2548>
- Rodrigues, D. I., & Sánchez, J. M. (2020). La agricultura como producto turístico en áreas rurales: Un debate abierto en la literatura. *Investigaciones Turísticas*, 20, 97-123.
- Salazar, N. B. (2005). Tourism and Glocalization: 'Local' Tour Guiding. *Annals of Tourism Research*, 32, 628-646. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2004.10.012>
- Sánchez-Martín, J. M., Gurría-Gascón, J. L., Leco-Berrocal, F., & Pérez-Martín, M. N. (2001). SIG para el desarrollo turístico en los espacios rurales de Extremadura. *Estudios Geográficos*, 62(243), 335-368. <https://doi.org/10.3989/egeogr.2001.i243.288>
- Sánchez-Martín, J. M., Rengifo-Gallego, J. I., & Martín-Delgado, L. M. (2018). Tourist Mobility at the Destination Toward Protected Areas: The Case-Study of Extremadura. *Sustainability*, 10(12), 4853. <https://doi.org/10.3390/su10124853>
- Sánchez-Martín, J. M., Blas-Morato, R., & Rengifo-Gallego, J. I. (2019). These dehesas of Extremadura, Spain: A potential for socio-economic development based on agritourism activities. *Forests*, 10(8), 620. <https://doi.org/10.3390/f10080620>
- Sánchez-Martín, J. M., Rengifo-Gallego, J. I., & Martín-Delgado, L. M. (2019). Characterisation of the tourist demand of the Villuercas-Ibores-Jara Geopark: a destination with the capacity to attract tourists and trippers. *Geosciences*, 9, 335. <https://dx.doi.org/10.3390/geosciences9080335>
- Sánchez-Martín, J. M., Rengifo-Gallego, J. I., & Sánchez-Rivero, M. (2020). Protected Areas as a Center of Attraction for Visits from World Heritage Cities: Extremadura (Spain). *Land*, 9(2), 47. <https://doi.org/10.3390/land9020047>

- Sánchez, F. J., & Sánchez, A. M. (2021). Medición de la eficiencia laboral del turismo rural sostenible en espacios naturales protegidos de España. *Investigaciones turísticas*, 22, 200-230. <https://doi.org/10.14198/INTURI2021.22.9>
- Segrado, R. G., Arroyo, L., Amador, K., Palma, M., & Serrano, R. D. C. (2015). Hacia un Modelo de Aprovechamiento Turístico Sustentable en Áreas Naturales Protegidas: Estudio de Caso del Parque Natural Chankanaab de Cozumel, México. *PASOS*, 13(1), 25-42. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2015.13.002>
- Seidel, J., & Kelle, U. (1995). Different Functions of Coding in the Analysis of Textual Data. In U. Kelle (Ed.), *Computer-Aided Qualitative Data Analysis: Theory, Method and Practice* (pp. 52-61). Sage.
- Sharpley, R., & Roberts, L. (2004). Rural Tourism— 10 years on. *International Journal of Tourism Research*, 6(3), 119-124. <https://doi.org/10.1002/jtr.478>
- Siegmund, O., & Pamela, P. (2017). Nature-based environmental education of children: Environmental knowledge and connectedness to nature, together, are related to ecological behaviour. *Global Environmental Change*, 47, 88-94. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.09.009>
- Silva, R. (2008). Hacia Una Valoración Patrimonial de La Agricultura. *Scripta Nova*, 12 (275). <https://raco.cat/index.php/ScriptaNova/article/view/120173>
- Silva, R. (2010). La Dehesa Vista Como Paisaje Cultural. Fisonomías, funcionalidades y dinámicas históricas. *Ería*, 82, 143-157. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/73747/Dialnet-LaDehesaVistaComoPaisajeCultural-3330772-1-15.pdf?sequence=1>
- Silva, M. R., & Fernández, V. (2015). Claves Para El Reconocimiento de La Dehesa Como “Paisaje Cultural” de Unesco. *Anales de Geografía*, 35, 121-142. https://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2015.v35.n2.50117
- Sobhani, P., Esmailzadeh, H., Wolf, I. D., Marcu, M. V., Lück, M., & Sadeghi, S. M. M. (2023). Strategies to Manage Ecotourism Sustainably: Insights from a SWOT-ANP Analysis and IUCN Guidelines. *Sustainability*, 15(14), 11010. <https://doi.org/10.3390/su151411013>
- Sociedad Internacional de Ecoturismo (TIES). (s. f.). *What Is Ecotourism?* <http://www.ecotourism.org/what-is-ecotourism>
- Štrba, L., Kolačková, J., Kršák, B., Sidor, C., & Lukáč, M. (2022). Perception of the impacts of tourism by the administrations of protected areas and sustainable tourism (un) development in slovakia. *Sustainability*, 14(11), 6696. <https://doi.org/10.3390/su14116696>
- Streifeneder, T. (2016). Agriculture first: Assessing European policies and scientific typologies to define authentic agritourism and differentiate it from countryside tourism. *Tourism Management Perspectives*, 20, 251-264. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2016.10.003>
- Sutterlüty, A., Hesser, F., Schwarzbauer, P., Schuster, K. C., Windsperger, A., & Stern, T. (2017). A Delphi approach to understanding varying expert viewpoints in sustainability communication: The case of water footprints of bio-based fiber resources. *Journal of Industrial Ecology*, 21, 412-422. <https://doi.org/10.1111/jiec.12427>
- Telbisz, T., Imecs, Z., Máthé, A., & Mari, L. (2023). Empirical investigation of the motivation and perception of tourists visiting the Apuseni nature park (Romania) and the relationship of tourism and natural resources. *Sustainability*, 15(5), 4181. <https://doi.org/10.3390/su15054181>
- Tkaczynski, A., Rundle-Thiele, S. R., & Prebensen, N. K. (2015). Segmenting Potential Nature-Based Tourists Based on Temporal Factors: The Case of Norway. *Journal of Travel Research*, 54(2), 251-265. <https://doi.org/10.1177/0047287513514296>
- Trabajo, M., & Cuenca, J. M. (2017). La Educación Patrimonial Para La Adquisición de Competencias Emocionales y Territoriales Del Alumnado de Enseñanza Secundaria. *Pulso: revista de educación*, 40, 159-174. <https://doi.org/10.58265/pulso.5118>
- Troitiño, M. A., García-Blanco, F. J., García, M., del Río, M. I., Carpio, J., de la Calle, M., & Abad, L. D. (2005). *Los espacios protegidos en España: Significación e incidencia socioterritorial*. *Boletín de la AGE*, 39, 227-265. <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/505>
- Van-Zolingen, S.J., & Klaassen, C.A. (2003). Selection Processes in a Delphi Study about Key Qualifications in Senior Secondary Vocational Education. *Technological Forecasting and Social Change*, 70, 317-340. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(02\)00202-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(02)00202-0)

- Watson, J. E. M., Dudley, N., Segan, D. B., & Hockings, M. (2014). The Performance and Potential of Protected Areas. *Nature*, 515, 67-73. <https://doi.org/10.1038/nature13947>
- Wearing, S., & Neil, J. (1999). *Ecotourism: Impacts, potentials and possibilities*. Oxford: Elsevier. Reed Educational and Professional Publishing. [https://ds.amu.edu.et/xmlui/bitstream/handle/123456789/6339/%5BStephen Wearing John Neil%5D Ecotourism%28BookFi.org%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ds.amu.edu.et/xmlui/bitstream/handle/123456789/6339/%5BStephen%20Wearing%20John%20Neil%5D%20Ecotourism%28Book%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Yüksel, İ., & Dagdeviren, M. (2007). Using the analytic network process (ANP) in a SWOT analysis—A case study for a textile firm. *Information Sciences*, 177, 3364-3382. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2007.01.001>
- Zeppel, H., & Muloin, S. (2008). Conservation and education benefits of interpretation on marine wildlife tours. *Tourism in marine environments*, 5(2-3), 215-227. <https://doi.org/10.3727/154427308787716802>

