

Scientia et PRAXIS

Vol. 05. No.10. Jul-Dic (2025): 1-33

<https://doi.org/10.55965/setp.5.10.a1>

eISSN: 2954-4041

Tecnologías geospaciales para mapear el capital natural y promover empleo agropecuario sostenible en México

Geospatial technologies for mapping natural capital and promoting sustainable agricultural employment in Mexico

Ariel Vázquez Elorza. ORCID: [0000-0002-6710-8935](https://orcid.org/0000-0002-6710-8935)

Universidad Tecnológica del Valle de Toluca,

Toluca, Estado de México, México

email: avazelor@gmail.com

Palabras Clave: índice de capital natural, población ocupada en el sector primario, mapeo geoespacial, autocorrelación espacial.

Keywords: natural capital index, population employed in the primary sector, geospatial mapping, spatial autocorrelation.

Recibido: 3-Mar-2025; **Aceptado:** 27-Ago-2025

RESUMEN

Contexto. El uso del capital natural y la distribución del empleo en la agricultura y la ganadería son desiguales entre regiones mexicanas. Algunas de ellas concentran la riqueza ecológica y la población ocupada (rural-urbana), mientras que en otras se observa degradación ambiental o subutilización de la mano de obra.

Problema. No existen investigaciones que combinen indicadores ecológicos y laborales en mapas geoespaciales para apoyar una toma de decisiones informada. ¿Existen patrones espaciales significativos entre el Índice de Capital Natural (ICN) y el Cociente de Localización Económica Principal (CPLP) que permitan identificar áreas prioritarias para el desarrollo sostenible?

Objetivos. Este estudio analiza los patrones espaciales entre el capital natural y el empleo agropecuario desde un enfoque multidisciplinar que integra economía ambiental, geografía económica y análisis espacial en México. Busca generar conocimiento innovador alineado con la Agenda 2030 y los ODS (8, 13 y 15). Se enmarca en una innovación social y organizacional según el Manual de Oslo. Promueve la sostenibilidad territorial mediante la interacción entre disciplinas.

Metodología de la investigación. Esta investigación es cuantitativa, no experimental y exploratorio-explicativa, basada en análisis espaciales y estadísticos con datos secundarios censales y agregados de 2021. Se construyó una base geoespacial con fuentes oficiales ambientales y socioeconómicas. Se aplicaron el índice binomial de Moran y el análisis LISA en R® para identificar agrupaciones espaciales de consistencia entre ICN y CLEp, con significancia estadística al 95 % ($p \leq 0,05$).

Resultados teóricos y prácticos. Se encontraron asociaciones positivas significativas en un total de 73 municipios. Se observó una alta agrupación en las regiones Noreste, Centro y Sureste. Se confirmó el valor del capital natural como activo productivo y la utilidad de los análisis espaciales para orientar las políticas públicas.

Originalidad. Este estudio integra variables ambientales y socioeconómicas desde una perspectiva espacial con el fin de generar nuevos conocimientos aplicables.

Conclusiones y limitaciones. Este estudio propone una innovación interdisciplinar en la planificación territorial al integrar variables ambientales y laborales mediante herramientas espaciales. Futuras investigaciones deberían integrar datos climáticos e institucionales para mejorar la elaboración de políticas sostenibles.

ABSTRACT

Context. The use of natural capital and the distribution of employment in agriculture and livestock are unequal among Mexican regions. Some of them concentrate on ecological wealth and the employed population (rural-urban), while others show environmental degradation or underutilization of labor.

Problem. There is a lack of research that combines ecological and labor indicators in geospatial maps to support informed decision making. Are there significant spatial patterns between the Natural Capital Index (NCI) and the Principal Economic Location Quotient (PELQ) that allow identifying priority areas for sustainable development?

Purpose. This study analyzes the spatial patterns between natural capital and agricultural employment from a multidisciplinary approach that integrates environmental economics, economic geography, and spatial analysis in Mexico. It seeks to generate innovative knowledge aligned with the 2030 Agenda and the SDGs (8, 13, and 15). It is framed within social and organizational innovation according to the Oslo Manual. It promotes territorial sustainability through interaction between disciplines.

Methodology. This research is quantitative, non-experimental, and exploratory-explanatory, based on spatial and statistical analyses using 2021 secondary census and aggregated data. A geospatial database was built from official environmental and socioeconomic sources. Moran's binomial index and LISA analysis were applied in R® to identify spatial clusters of consistency between ICN and CLEp, with statistical significance at the 95% confidence level ($p \leq 0.05$).

Theoretical and practical findings. Significant positive associations were found in a total of 73 municipalities. High clustering was observed in the Northeast, Central and Southeast regions. The value of natural capital as a productive asset and the usefulness of spatial analyses to guide public policies were confirmed.

Originality. This study integrates environmental and socioeconomic variables from a spatial perspective to generate new applicable knowledge.

Conclusions and limitations. This study proposes an interdisciplinary innovation in territorial planning by integrating environmental and labor variables using spatial tools. Future research should integrate climate and institutional data to improve sustainable policy making.

1. INTRODUCCIÓN

Este estudio se centra en el año 2021 y busca atender vacíos teóricos y metodológicos que existen en la bibliografía nacional, fundamentalmente, se trata de la falta de estudios que integren los indicadores medioambientales y laborales mediante el análisis espacial bivariado a nivel de los gobiernos locales. Esta aproximación ayuda a comprender cómo se distribuyen regionalmente los recursos naturales y el empleo agrícola, y proporciona una base para formular nuevas estrategias de desarrollo sostenible regional.

Este estudio tiene como objetivo describir los patrones espaciales entre el Índice de Capital Natural (ICN) y la Población Ocupada en el sector primario (cociente de localización económica primaria (CLEp) en municipios mexicanos, e identificar áreas prioritarias para políticas públicas orientadas al desarrollo sustentable. Se plantea la pregunta de investigación: ¿Existen patrones espaciales significativos de correlación entre el capital natural disponible y la concentración del empleo agropecuario que permitan identificar zonas clave para una estrategia territorial sustentable?

Bajo este planteamiento, se propone la siguiente hipótesis nula (H_0) no existe autocorrelación espacial significativa entre el índice de capital natural y el índice de localización económica del sector primario en los municipios mexicanos, por lo que la distribución de ambos indicadores es aleatoria y no existe un patrón espacial común; y la hipótesis alternativa (H_1) sí existe una autocorrelación espacial significativa entre el índice de capital natural y el índice de áreas económicas con población ocupada en actividades del sector primario. Es decir, las ciudades con alto empleo primario tienden a agruparse espacialmente con otras ciudades con alto capital natural, lo que indica la existencia de clústeres regionales, cuyas actividades deberían estar asociadas a acciones de sostenibilidad y a la formulación de estrategias de desarrollo agroambiental. En las **Figuras 6 y 7** se puede visualizar los resultados que resuelven las hipótesis de rechazo o aceptación.

Este estudio se enmarca como una propuesta de innovación organizativa y social conforme al Manual de Oslo, publicado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2018). El programa integra datos ecológicos y laborales mediante tecnologías espaciales y los aplica a la formulación de políticas públicas diferenciadas. Este programa innovador contribuye a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 8, 13 y 15) y

proporciona herramientas para promover el empleo verde, la protección de los ecosistemas y la planificación regional sostenible.

Este enfoque identifica concentraciones espaciales (clústeres) con altos niveles de capital natural y alta producción de las actividades, lo que indica tanto oportunidades de desarrollo sostenible como presiones potenciales sobre los recursos naturales (Anselin, 1995; LeSage y Pace, 2009). La naturaleza de la autocorrelación espacial es la dependencia espacial, en este caso, las observaciones de distintos lugares no son independientes entre sí, y las observaciones de lugares próximos entre sí son más similares -autocorrelación espacial positiva- o menos similares entre ellas -autocorrelación espacial negativa- (Fotheringham, 2009, p. 399).

El análisis bivariado tiene su origen en la consideración de vecindades de variables complementarias. El trasfondo de esta lógica de índice puede explicarse del siguiente modo. La unidad central de análisis está determinada por el Índice de Capital Natural (ICN), que conecta la unidad central (en este caso, el municipio) con la vecindad de la variable secundaria, es decir, la población empleada en el sector primario. En consecuencia, el índice calculado identifica el patrón espacial de la variable ICN.

Existe una relación muy importante entre los servicios ecosistémicos y las actividades agropecuarias que se generan en los territorios de México. Martínez-Rodríguez et al. (2017, p. 3) señalan que *“Entender el intrincado funcionamiento de los ecosistemas, agroecosistemas y de los servicios que nos brindan es necesario para promover un manejo sostenible que favorezca tanto la productividad agrícola como la resiliencia [...]”* incluyendo actividades de polinización, servicios de control natural de plagas, agua y mantenimiento del suelo. Galán et al. (2012, p. 5) hacen hincapié en que *“El bienestar humano está íntimamente relacionado con el bienestar de los ecosistemas, por lo que el desarrollo económico y social de todo pueblo depende en muchos sentidos de la naturaleza”*. En esta perspectiva, cada vez hay más pruebas de las graves consecuencias para el bienestar y la supervivencia del impacto humano en la pérdida de biodiversidad y la degradación de los ecosistemas (Tellería, 2005).

La importancia del capital natural como activo ecosistémico en el país radica fundamentalmente en dos estados que mantienen condiciones de sustentabilidad donde se generan bienes y servicios ecosistémicos para el mediano y largo plazo.

Sin embargo existen estados en riesgo que vulneran las posibilidades de sustentabilidad, así como once estados que han agotado su capital natural de acuerdo con datos de la Comisión para el Conocimiento y Uso de Nacional la Biodiversidad (CONABIO, 2023).

Ante esta situación, en México se ha generado el Índice de Capital Natural (ICN), que es la cantidad del ecosistema (% área) * calidad de ecosistema (% línea de base) (Czúcz et al., 2012; Mora, 2017), como un indicador orientador sobre la sustentabilidad.

En el contexto nacional, el sector agropecuario (primario) es sumamente relevante en diversas regiones del país. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2025), en 2023 alcanzó los 780,636.2 millones de pesos (a precios del 2018), basta con mencionar que en ese año, existían alrededor de 8.8 millones de cabezas de bovino carne, 21.3 millones de porcino carne, 2.1 millones de Ave carne, 3.3 millones de ovino carne, distribuidos en las entidades federativas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo, 2023).

El problema, sin embargo, es que actualmente no existen suficientes estudios a nivel municipal que mapee conjuntamente el capital natural y los indicadores, considerando los recursos naturales y su disponibilidad en el mediano y largo plazo.

Este tipo de investigación contribuye en gran medida a mejorar la toma de decisiones en las políticas públicas de empleo agropecuario y sostenibilidad. Asimismo, se consideran fundamental centrar la creación de incentivos y estrategias para que los hacedores de políticas públicas cuenten con herramientas para mejorar las condiciones ambientales territoriales donde existe un potencial y una relación significativa entre estas variables enfrentando una posible sobreexplotación de los recursos naturales.

Por otra parte, los análisis son importantes desde una perspectiva de la integración de la economía agroambiental, la geografía económica y los enfoques interdisciplinarios innovadores en la planificación regional (OCDE, Eurostat, 2018). La combinación de enfoques geoespaciales con indicadores de empleo agropecuarios y ambientales representa una estrategia para identificar regiones con potencial para la bioeconomía, los empleos verdes y la transformación productiva.

Este trabajo utiliza un enfoque interdisciplinar que combina análisis espaciales, indicadores medioambientales y datos socioeconómicos para ilustrar herramientas de la geografía económica, la ecología aplicada y la economía rural. Esta propuesta permiten avanzar hacia los Objetivos de

Desarrollo Sostenible (**ODS 8, 13 y 15**) al vincular el trabajo decente, la acción por el clima y la vida de los ecosistemas terrestres (Organización de las Naciones Unidas, 2023).

Una revisión del estado del arte revela que, a pesar de los estudios sobre los servicios ecosistémicos o el empleo rural, pocos estudios se han centrado en el análisis espacial de la relación entre el capital natural municipal y la ocupación agropecuaria (Vázquez-Elorza, 2021).

La falta de estudios exhaustivos limita el establecimiento de una ordenación territorial diferenciada y de estrategias de desarrollo sostenible específicas en los gobiernos locales. A partir de este problema, la estructura de este trabajo se divide en cinco secciones: antecedentes, revisión bibliográfica, descripción metodológica, análisis de resultados y discusión de resultados. Este estudio proporciona un marco empírico y espacial innovador para diferenciar las políticas públicas basadas en evidencias territoriales.

2. CONTEXTUALIZACIÓN

La propuesta de investigación se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (**ODS**), particularmente con el **ODS 8** (Fomentar el trabajo digno y el crecimiento económico), el **ODS 13** (Llevar a cabo acciones concretas para combatir el cambio climático) y el **ODS 15** (Proteger los ecosistemas terrestres). Se busca generar conocimientos que contribuyan a mejorar la planeación regional basada en la sostenibilidad ecológica y la equidad laboral.

La innovación que se propone en este estudio, siguiendo la clasificación del Manual de Oslo de 2018 de la OCDE, tiene características sociales y organizativas. Este enfoque ofrece un nuevo método para diseñar políticas públicas que combinen información ambiental con información socioeconómica espacial. Esta innovación permite a los gobiernos locales identificar las zonas en las que confluyen el capital natural, la agricultura y la ganadería, y elaborar estrategias diferenciadas para tomar decisiones más informadas. Por tanto, el enfoque colaborativo y multidisciplinar de este estudio es un método innovador para generar pruebas espaciales que contribuyan a la consecución de los objetivos globales en el marco de la Agenda 2030.

Las relaciones existentes entre los recursos naturales y el empleo en el sector agrícola es una preocupación mundial, especialmente ante retos como el cambio climático, la degradación del medio ambiente y las disparidades regionales (Xue y Liu, 2024; OCDE y FAO, 2017).

Existen Organismos internacionales como la FAO y la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE, 2025) que han destacado la necesidad de políticas rurales integradas que vinculen la sostenibilidad ecológica y el bienestar social.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) resalta la importancia de la cooperación y planificación regional disminuir las brechas de productividad rural (CEPAL-FAO-IICA, 2023).

En México, la incorporación de métodos como la ordenación del territorio a la política ambiental es fundamental, pero falta conexión con el sistema laboral del sector primario. A nivel local, muchos municipios muestran un desajuste entre su potencial ambiental y ecológico con su estructura de empleo, que este estudio trata de visualizar utilizando herramientas de análisis espacial.

3. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La literatura revisada coincide en que el análisis regional debe integrar los factores ambientales. Investigadores como Krugman (1991) y Fujita et al. (1999) excluyeron inicialmente los factores ecológicos en la Economía Geográfica Espacial (**EGE**), pero posteriormente estudios como los de Vesco et al. (2020) y Bugge et al. (2016) incorporaron el capital natural como factor clave para la ubicación y la sostenibilidad. Costanza et al. (2017) y Rodríguez-Robayo et al. (2020) reforzaron aún más esta perspectiva al combinar los servicios ecosistémicos con los medios económicos. Sin embargo, en el caso de México son escasos los estudios que analizan esta relación a nivel municipal utilizando tecnologías espaciales (como la variable Morán I), lo que constituye la innovación metodológica de este estudio.

La **EGE** estudia cómo se distribuyen las actividades económicas en el espacio en función de los costos de transporte, la concentración urbana, el crecimiento de los ingresos y los factores de localización. Aunque los métodos clásicos de (Fujita et al., 1999; Krugman, 1999, 1991) no incluyen claramente las cuestiones medioambientales, en estudios posteriores se han desarrollado extensiones de la **EGE** que incorporan los recursos naturales y los servicios ecosistémicos como factores de localización adicionales. En este sentido, la economía ambiental puede integrarse como una extensión o complemento de la **EGE**, especialmente cuando los recursos naturales son factores

determinantes de actividades principales como la agricultura, la ganadería o la silvicultura (Vesco et al., 2020).

Desde la perspectiva de la bioeconomía (Bugge et al., 2016, p. 10) que presenta visiones biotecnológicas, bio recursos y bio ecología, el análisis de la interacción entre el capital natural y el empleo agrícola en México puede abordarse desde los recursos biológicos y de la bio ecología. El primero hace hincapié en la optimización interdisciplinaria del uso de la tierra, la evaluación de los recursos biológicos, la gestión de residuos y la integración de la ciencia, la ingeniería y el mercado en modelos de producción interactivos y en red, con el fin de lograr un crecimiento económico sostenible.

La perspectiva bioecológica, por su parte, aborda la sostenibilidad del territorio a través de prácticas agroecológicas, la conservación de la biodiversidad, el reciclaje de residuos, uso circular del suelo y la producción autosostenida. Estas perspectivas son especialmente importantes para las zonas rurales y periurbanas, que cuentan con un rico capital natural pero presentan modelos de especialización productiva muy diversos, aunado a desafíos en la gobernanza ambiental por la creciente conectividad de los sistemas de uso de recursos (Brondizio et al., 2009) como lo demuestra el análisis espacial de los clústeres agroambientales de México, fundamentalmente en las zonas rurales (Munton, 2016, p. 221-225).

En la última década, numerosos estudios han investigado la relación entre el capital natural, la sostenibilidad regional y el empleo agrícola. Costanza et al. (2017) destacan que, para evaluar el capital natural, es necesario cuantificar la cantidad de servicios ecosistémicos. Rodríguez-Robayo et al. (2020) analizó la relación entre la estructura rural, la sostenibilidad ambiental y servicios ecosistémicos manifestando su importancia del instrumento económico para proteger los recursos naturales.

El índice de capital natural (**ICN**) ha sido utilizado para evaluar las condiciones medioambientales en municipios en Veracruz (Luna y Méndez, 2022) la disponibilidad ecológica e identificar la transformación del patrimonio natural. Además, la relación entre el estatus económico y la especialización productiva regional se ha utilizado como indicador alternativo (Pacheco-Almaraz et al., 2025).

Algunos estudios utilizan análisis de autocorrelación espacial para evaluar las sinergias y tensiones entre variables ecológicas y socioeconómicas. Además, se destaca la transcendencia

sobre los patrones regionales mediante análisis bivariados y de conglomerados. En la metodología se integra el uso de herramientas de análisis geoespaciales, sistemas de información geográfica **SIG**, modelos de análisis espaciales, en este caso en **R®**.

Este estudio replica y amplía estos métodos, planteando la hipótesis central de que existe una correlación espacial positiva entre el capital natural y el empleo agrícola en México.

3.1. Diseño del instrumento de medición y/o materiales .

El diseño metodológico fue construido sobre la base geoespacial a nivel municipal considerando las variables del Índice de Capital Natural, previamente calculadas por la **CONABIO**. El índice de localización económica del sector primario (**CLEp**) es elaborado por el **CONVAL** mediante una fórmula de localización relativa.

A continuación, se generaron relaciones geoespaciales y mapas temáticos utilizando el software **R®**. Se aplicaron pruebas de autocorrelación espacial (Moran I global y local) para detectar agrupaciones significativas. Los datos se normalizaron y se verificaron visualmente mediante cartografía exploratoria. El resultado final genera una matriz de datos espaciales de más de 2,400 territorios de observación municipales, categorizados por agrupación y significación estadística.

3.2. Modelo Conceptual/Modelo Experimental.

El modelo conceptual de este estudio se basa en dos dimensiones principales: el índice de capital natural disponible (**ICN**) y el coeficiente de localización económica del empleo en el sector agrícola (**CLEp**). Se supone que existe una relación de dependencia espacial entre estas dos variables. Se plantea la hipótesis de que existe una correlación positiva entre el **ICN** y el **CLEp**.

Lo anterior se basa en la suposición de que las regiones ricas en recursos naturales suelen tener estructuras económicas que se complementan entre sí. En el diseño metodológico se incluye un análisis espacial binomial para detectar agrupaciones y significancia local entre los distintos gobiernos locales del país.

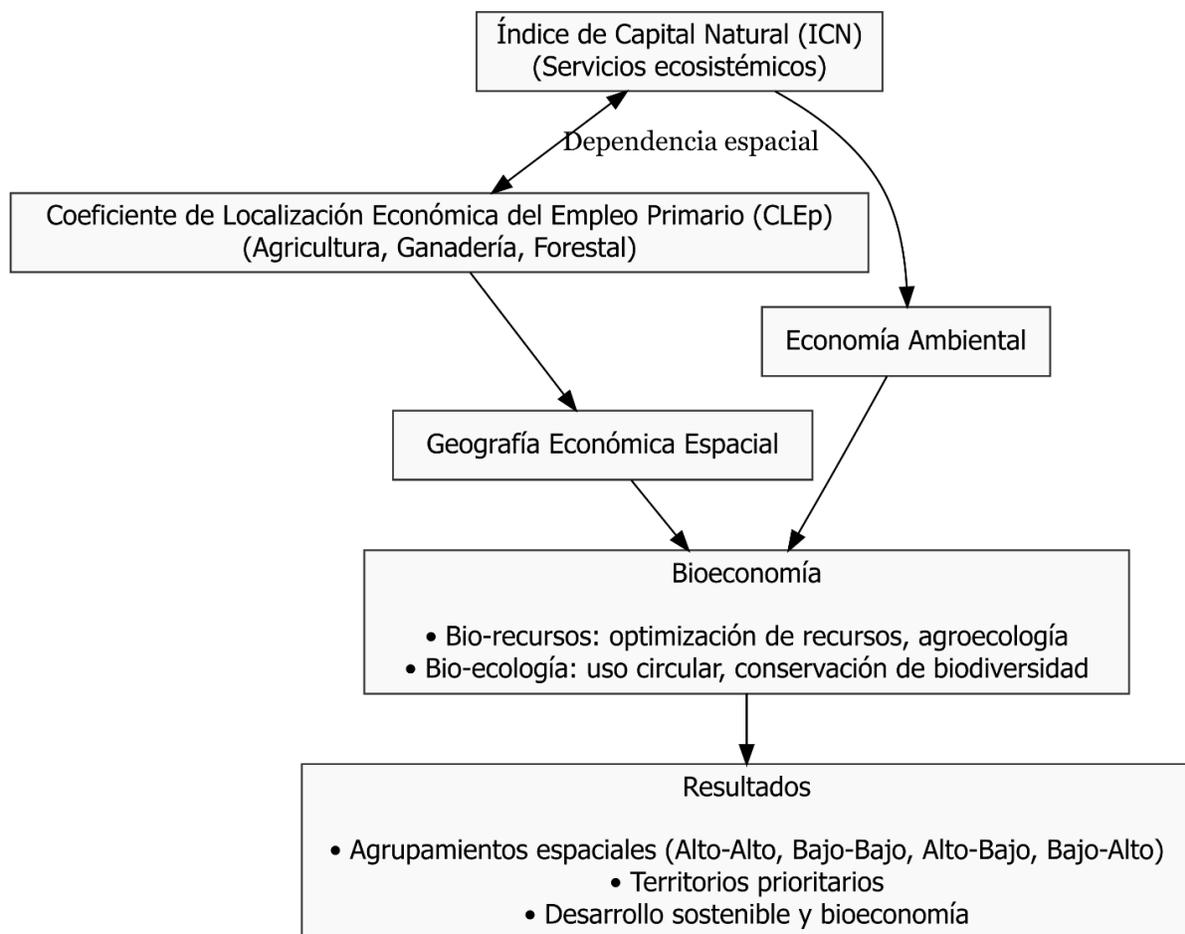
El modelo se ha validado empíricamente mediante pruebas de autocorrelación espacial y clasificación de tipos de agrupaciones (por ejemplo, alto-alto, bajo-bajo, etc.). Por último, se ha creado un marco gráfico del modelo conceptual que integra variables ambientales y variables

laborales (entradas), interacciones espaciales (procesos), tipos de regiones y regiones prioritarias (resultados).

El modelo conceptual de este estudio refleja la interacción entre el capital natural disponible y la especialización de los municipios mexicanos con población ocupada en el sector agrícola, integrando los fundamentos teóricos de la geografía económica espacial, la economía ecológica y la bioeconomía. Los dos indicadores principales son:

- a. El índice de capital natural (ICN), como representación cuantitativa de la disponibilidad de bienes y servicios ecosistémicos; y
- b. El coeficiente de localización económica del empleo primario (CLEp), como indicador de la intensidad relativa del empleo en la agricultura, la ganadería y la silvicultura (**Figura 1**).

Figura 1. Diagrama del procedimiento metodológico de análisis



Fuente: Elaboración propia basa en la construcción del modelo de análisis del estudio

Se prevé que estas dos variables tengan una dependencia espacial positiva, es decir, que las zonas con un capital natural elevado suelen presentar niveles de empleo primario más altos, formando grupos o clústeres regionales. Esta relación se encuentra generalmente vinculada por los procesos territoriales y productivos propios de la bioeconomía, especialmente desde el punto de vista de los recursos biológicos (optimización interdisciplinaria de recursos y tecnologías para lograr la sostenibilidad) y la bioecología (reciclaje de recursos, prácticas agroecológicas y conservación de la biodiversidad) (Bugge et al., 2016).

Desde el punto de vista metodológico, la interacción entre el **ICN** y el **CLEp** se logra mediante análisis de autocorrelación espacial (índice Moran Bivariado y **LISA**), lo que permite identificar grupos regionales con patrones similares (alto-alto, bajo-bajo) o contrastados (alto-bajo, bajo-alto). Los resultados del estudio contribuyen a clasificar las zonas prioritarias para promover la planificación regional sostenible, el desarrollo de la bioeconomía y la protección de los servicios ecosistémicos.

4. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo este estudio, se construyó una base de datos geoespacial integrada con variables socioeconómicas y ambientales a nivel municipal en México. Los datos básicos proceden de dos fuentes oficiales cuyos formatos se convirtieron para ser compatibles.

Por un lado, la Plataforma para el Análisis Territorial de la Pobreza (**PATP**) del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (**CONEVAL**, 2023) y, por otro, información geoespacial del portal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (**SNIB**) de la Comisión para el Conocimiento y Uso de Nacional la Biodiversidad (CONABIO, 2023).

La variable de población dedicada al sector primario fue extraída del **PATP** y se expresó como índice de localización económica primaria (**CLEp**), que representa la especialización relativa de cada municipio en agricultura, ganadería y silvicultura. El índice de capital natural (**ICN**), un índice compuesto que resume los principales atributos ecológicos de la región se obtuvo del **SNIB**, y las dos variables se combinaron en un único archivo tipo *shapefile* geoespacial, que se normaliza después al sistema de referencia de coordenadas como **EPSG:4326 (WGS 84)** para garantizar la interoperabilidad espacial entre las capas vectoriales entre los territorios. Se realizaron análisis

municipales para 2,466 unidades en **CLEp** y 2,469 unidades en **ICN**. Se exploró la información y se analizó la estadística descriptiva, además se realizaron histogramas para identificar las distribuciones de las variables.

La autocorrelación espacial se evalúa mediante el índice global binario de Moran, un método para estimar las dependencias espaciales entre dos variables diferentes. Para ello, construimos una matriz de pesos espaciales basada en vecindades de primer orden posterior y la normalizamos fila por fila. Esta matriz define la relación de vecindad entre ciudades y sirve de entrada para el cálculo del estadístico de Moran propuesto por Anselin (2001): El criterio de *vecindad* más sencillo es la continuidad física de primer orden, Moran define el fundamento de este criterio (Siabato y Guzmán-Manrique, 2019).

El Índice Global de Moran Bivariante para el análisis de autocorrelación espacial es utilizada en la evaluación de autocorrelación espacial (Moran, 1948) donde se establece la hipótesis de no dependencia espacial en contraste con significancia ($p < 0.05$). Asimismo, se construyó una matriz de pesos espaciales basada en vecindades de primer orden posterior y se normalizó fila por fila.

Esta matriz define la relación de vecindad entre los municipios y sirve de entrada para el cálculo del estadístico de Moran propuesto por Anselin (2001), como se muestra en la **Ecuación 1**:

$$I = \frac{N}{W} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \dots \dots (1)$$

Donde **N** es el número de unidades de análisis en los municipios de México, w_{ij} el elemento ij de la matriz de contigüidad, x_i es el cociente de localización económica primaria en el municipio i , y_i es **ICN** en el vecino j , y w_{ij} son los pesos espaciales (*row-standardized*).

Además, Se calculó el Índice de Moran bivariante (Global y Local) relacionando **ICN** con % de población en sector primario, usando una matriz de pesos espaciales basada en contigüidad de primer orden tipo reina.

Se utilizó una extensión binaria del Índice Local de Moran de asociación espacial (*Local Indicators of Spatial Association - LISA*) (Anselin, 1995) para identificar patrones de correlaciones espaciales locales entre el Índice de Capital Natural (**ICN**) y la proporción de la población ocupada en la agricultura, la ganadería y la silvicultura en cada municipio. **LISA** tiene dos requisitos:

- a. El primero es que cada observación muestra un grado significativo de agrupación espacial de valores similares en torno a esa observación, y
- b. La suma del **LISA** de todas las observaciones es proporcional al índice global de asociación espacial (Anselin, 1995 p. 94).

Se generaron clústeres los cuales están referenciados al polígono municipal para localizar los “*puntos calientes*” y “*puntos fríos*” de Capital Natural y empleo. Es importante señalar que este método no agrupa por “rangos” absolutos (es decir, no se usan rangos numéricos fijos, como percentiles o cuartiles), sino por comparaciones relativas a la media de cada variable. Este método detectó grupos de lugares relacionados espacialmente y se clasificaron en cuatro cuadrantes:

Cuadrante I Alto – Alto (High–High): municipios con **ICN** > media y vecinos con Población Ocupada > media.

Cuadrante II Bajo – Alto (Low–High): **ICN** < media y vecinos con Población Ocupada > media.

Cuadrante III Bajo – Bajo (Low–Low): **ICN** < media y vecinos con Población Ocupada < media.

Cuadrante IV Alto – Bajo (High–Low): **ICN** > media y vecinos con Población Ocupada < media.

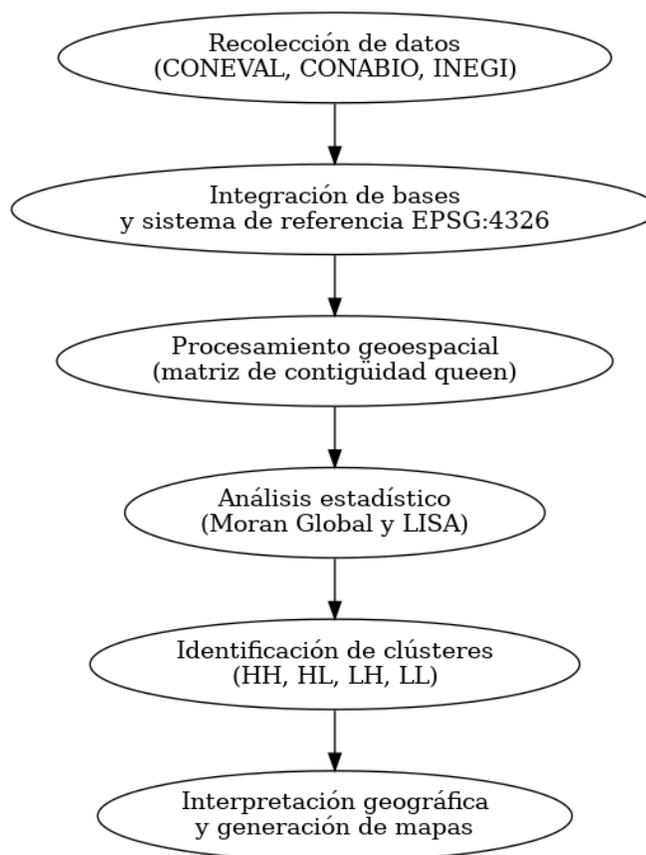
Estas agrupaciones se georreferenciaron con precisión en el polígono para cada uno de los municipios en la República Mexicana, lo que permitió la identificación de *puntos calientes* y *puntos fríos* en términos de interacciones entre el capital natural y el empleo agropecuario. El tratamiento estadístico y espacial se llevó a cabo mediante el programa informático **R®**. A continuación se resumen las herramientas y los procesos metodológicos utilizados. Ver **Tabla1** y **Figura 2**.

Tabla 1. Herramientas y variables empleadas

<i>Categoría</i>	<i>Descripción</i>
Fuente de Datos	CONEVAL - PATP
Fuente de Datos	CONABIO - SNIB
Fuente de Datos	INEGI - Marco Geoestadístico
Variable	CLEp (<i>Cociente de Localización Económica Primaria</i>)
Variable	ICN (<i>Índice de Capital Natural</i>)
Procesamiento Espacial	Unificación sistema EPSG:4326, generación matriz de pesos (<i>queen</i>)
Procesamiento Estadístico	Índice de Moran Bivariante, LISA
Software	R®

Fuente: Elaboración propia basada en la información del modelo de estudio.

Figura 2. Diagrama del procedimiento metodológico de análisis



Fuente: Elaboración propia.

4.1 Limitaciones y reproducibilidad de la metodología

Aunque el método utilizado permite encontrar relaciones importantes entre el capital natural y el trabajo agropecuario en México, hay que tener en cuenta varias limitaciones. En primer lugar, el análisis se basa en datos secundarios de fuentes públicas que pueden estar afectadas por dos factores de confusión: la falta de sincronía temporal y la calidad, ambos dependientes de los procesos institucionales de recopilación y actualización. Aunque las variables se han seleccionado para garantizar su exhaustividad y coherencia, sigue existiendo la posibilidad de que se produzcan sesgos no observados y errores de información.

Otra limitación procede del problema de *Modifiable Areal Unit Problem (MAUP)* (Buzzelli, 2020; Openshaw, 1983) característico de la utilización de las circunscripciones social políticas como unidad de análisis. Esto puede afectar a la interpretación de los resultados y a la identificación

de los grupos. Además, la matriz de ponderación espacial utilizada se basa en la continuidad de primer orden (tipo Queen - *Reina*). En este método, se consideran vecinos todos los municipios que comparten al menos un vértice o límite. Aunque este método es un estándar ampliamente aceptado, es importante tener en cuenta que el uso de otras definiciones de vecindad (por ejemplo, tipo *Rook* o distancias k-vecinos) puede dar lugar a patrones espaciales diferentes y afectar a la interpretación de los resultados.

5. RESULTADOS

Los resultados de este estudio aportan una base empírica para la innovación social, regional y de políticas públicas, al identificar los clústeres espaciales donde coinciden el capital natural y el empleo agrícola. Esta coincidencia revela las regiones con mayor potencial de aplicación en materia de estrategias bio economía. empleo verde y gestión sostenible de los recursos, lo que se corresponde directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 8 (empleo decente), 13 (acción por el clima) y 15 (protección de los ecosistemas terrestres). Además, abre un nuevo camino de planeación regional sostenible que integra múltiples ámbitos y promueve los cambios estructurales necesarios para lograr un desarrollo sostenible e inclusivo.

El coeficiente de localización del empleo en el sector primario (medido por la proporción de la población dedicada a la agricultura, la ganadería y la silvicultura en cada municipio **CLEp**) se calculó para 2,466 municipios. La media a nivel nacional es de 2.4564 y la mediana de 1.9781. La desviación típica es de 2.6264, con un intervalo entre el mínimo (0.0036) y el máximo (38.5859) de 38.5822, y el coeficiente de variación ($CV=1.0692$) es ligeramente superior a la media.

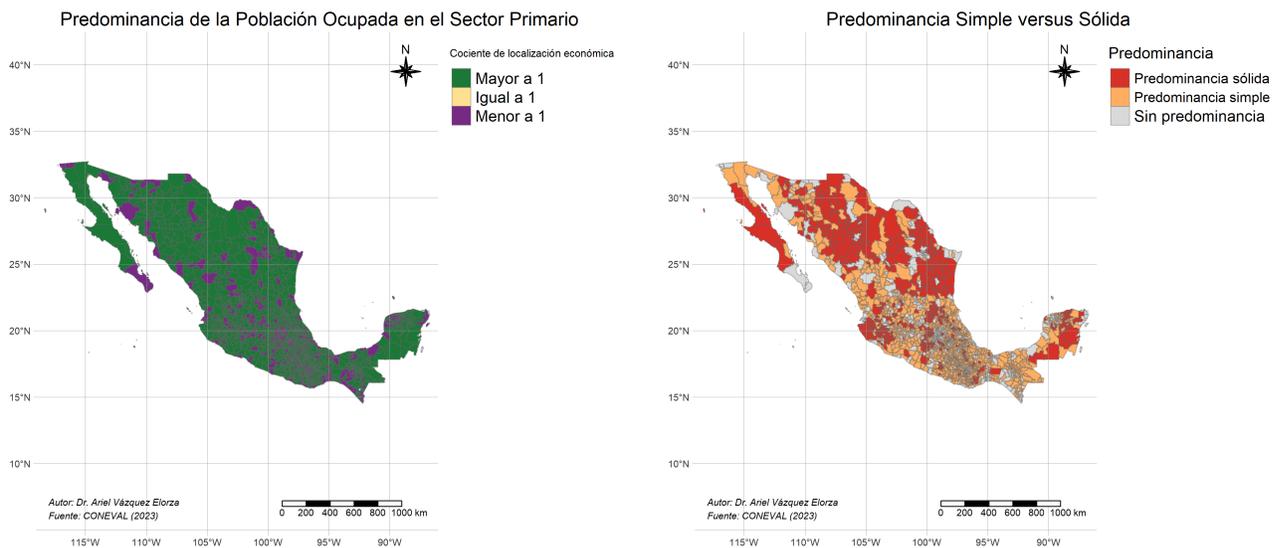
Los cuartiles primero y tercero de 1.1100 y 2.8925, respectivamente, arrojan un **IQR** de 1.7824, mientras que el coeficiente de localización de las ciudades del 50% central se sitúa entre el 1.11% y el 2.89%, aproximadamente. Los resultados de la participación del empleo representan lo siguiente:

- a. **CLEp > 1**: El predominio del municipio en el sector agropecuario (primario) es superior al del estado;
- b. **CLEp < 1**: El predominio del municipio en el sector primario es inferior al del Estado, y
- c. **CLEp = 1**: El municipio tiene el mismo predominio que el Estado.

Asimismo, se le considera que el municipio tiene predominancia simple cuando el **CLEp** está entre 1 y 3, y predominancia sólida cuando el **CLEp** es 3 o más. Es importante encontrar un valor alejado de 1, ya que este indicador indica la grandeza de la actividad económica en la zona urbana (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social CONEVAL, 2022, p. 5-7).

En la **Figura 3** se visualiza el predominio e importancia que tienen las actividades económicas relacionadas con el sector primario en la república mexicana, es decir agricultura ganadería y forestal en los municipios de México.

Figura 3. Cociente de localización económica primaria y su predominancia CLEp.



Nota: los valores corresponden a los siguientes segmentos:

- Mayor a 1 significa que el predominio del municipio en el sector primario es superior al del estado.
- Menor a 1 muestra que el predominio del municipio en el sector primario es inferior al del Estado.
- Igual a 1 el municipio tiene el mismo predominio que el Estado.

Fuente: Elaboración propia basada en CONEVAL (2023), CONABIO (2023).

En contraste, con aquellos que tienen menores porcentajes de participación de empleo en estas actividades lo cual podría reflejar un sector primario de autoconsumo o menos orientadas hacia actividades tecnológicas en contraste con aquellas que tienen un predominio más sólido.

El valor de I Moran bivariado es 1.8743 lo cual indica una fuerte autocorrelación espacial binaria positiva entre el Índice de Capital Natural y la Población Ocupada del sector primario en México.

Por término medio, los municipios con valores más elevados de **Cle_1** (porcentaje de población dedicada a la industria primaria) tienden a estar rodeadas de ciudades con valores más elevados de **ICN** (Índice de Capital Natural) y viceversa. Además, esto demuestra que el entorno natural también es más rico allí donde se concentra la actividad agrícola, y el patrón es estadísticamente significativo.

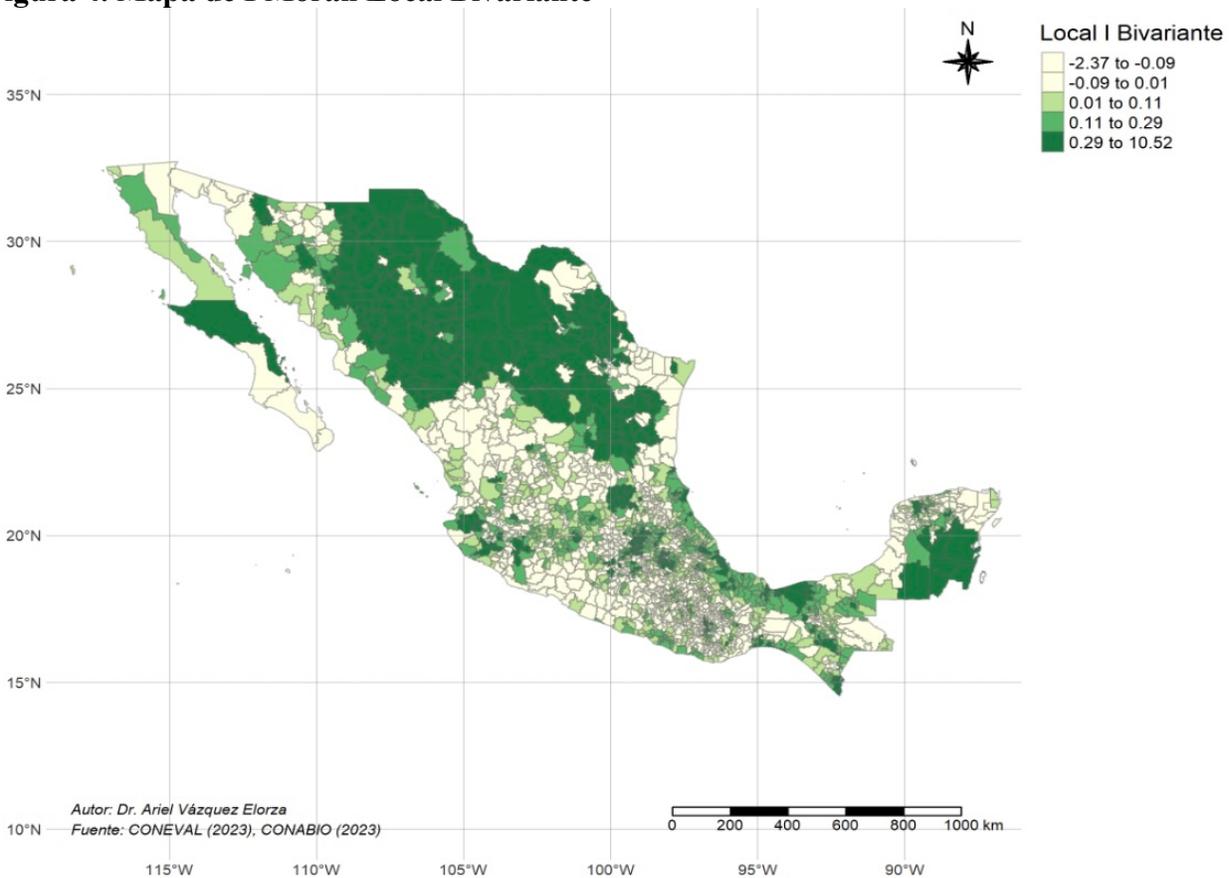
En la **Figura 4** se muestra la relación del Índice Local Bivariante entre el Índice de Capital Natural (**ICN**) y la proporción de población dedicada a actividades agropecuarias en los municipios de México. Los valores que oscilan desde -2.37 hasta +10.52, los cuales se pueden segmentar de la siguiente manera:

- a. El color **amarillo claro** (-2.37 a -0.09) evidencia que los municipios presentan una asociación local negativa moderada, a saber, un **ICN** elevado contrasta con bajos niveles agrícolas en sus alrededores, o viceversa.
- b. El color **amarillo intenso a verde suave** (que oscila desde -0.09 a +0.11) establece que los valores de **ICN** y agropecuaria en vecinos son similares, aunque sin una tendencia marcada.
- c. El color **verde intermedio a oscuro** (+0.11 a +10.52) destacan fuertes clústeres de asociación positiva, donde altos niveles de capital natural se combinan con una intensa actividad agrícola vecina (o bien bajos/bajos).

En cuanto a los patrones espaciales, se observan regiones del noreste (Coahuila, Nuevo León y sur de Tamaulipas), bajío (Jalisco, Guanajuato y Michoacán) y Sur de la Península de Yucatán emergen en verde oscuro, indicando sólidos agrupamientos positivos.

Es fundamental señalar que la Península de Yucatán presenta un alto potencial de convertirse en una región proveedora de alimentos nutritivos, o derivados para la industria alimentaria considerando la heterogeneidad de hábitos de consumo regionales (Islas et al., 2024) y de administración de los recursos hídricos (Cabral et al., 2024). Por el contrario, extensas zonas del noroeste y el centro-oriente aparecen en tonos amarillos, señal de relaciones débiles o mixtas entre las variables en estudio. Ver **Figura 4**.

Figura 4. Mapa de I Moran Local Bivariante



Fuente: Elaboración propia basada en Fuente: CONEVAL (2023), CONABIO (2023).

La **Figura 5** muestra los valores p utilizando tres colores para resaltar la importancia estadística de la asociación regional entre el índice de capital natural y la proporción de la población dedicada a la agricultura.

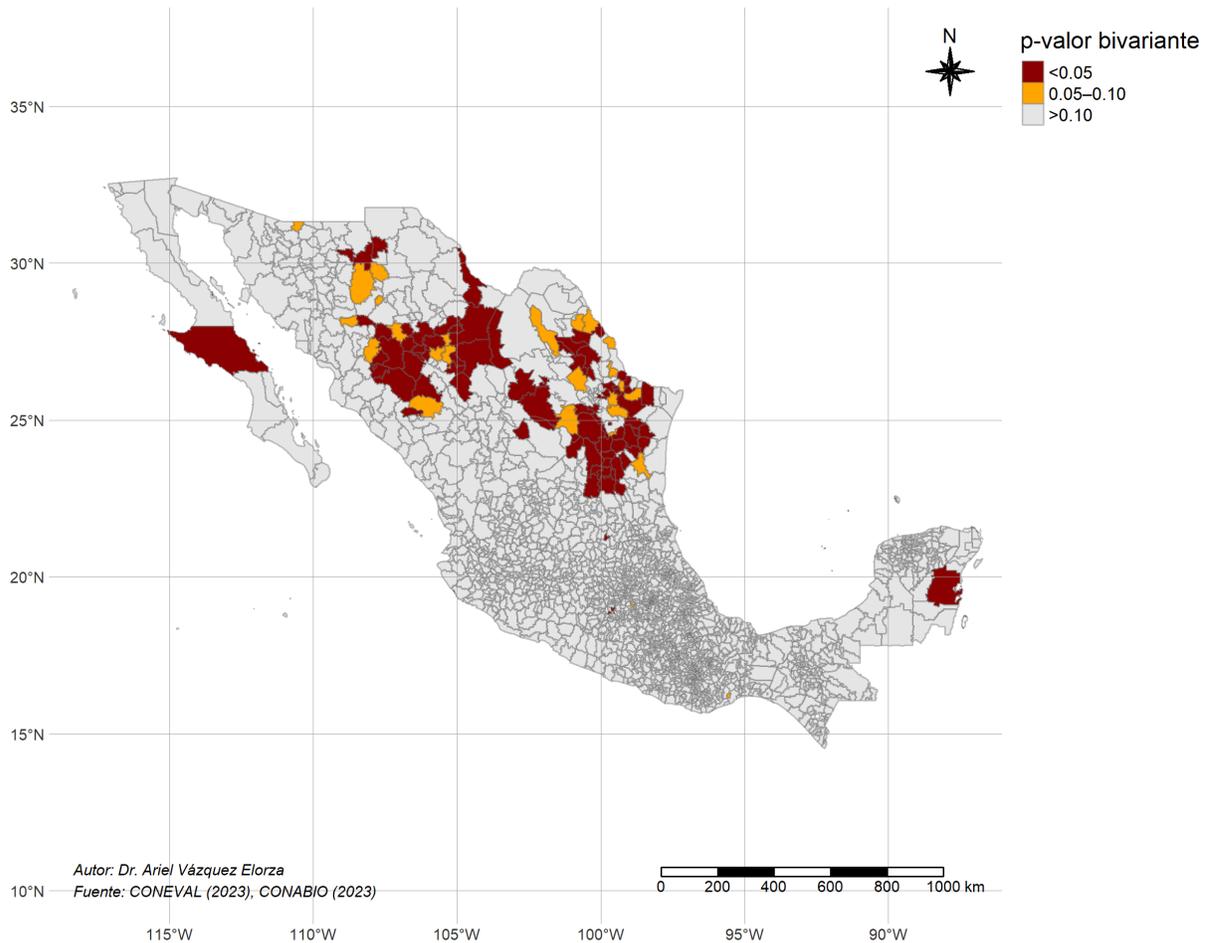
El color **rojo** ($p < 0.05$) indica zonas con correlaciones espaciales muy significativas, lo que hace muy improbable que los patrones observados sean producto del azar.

El color **naranja** ($0.05 \leq p < 0.10$) señala las zonas de significación marginal, es decir, zonas en las que las pruebas no son suficientemente sólidas, pero siguen sugiriendo la presencia de alguna correlación espacial; y el color **gris** ($p \geq 0.10$): corresponde a zonas con pruebas insuficientes de relaciones espaciales locales.

Geográficamente, los puntos rojos se concentran en el noreste de México (principalmente en los estados de Nuevo León y Coahuila al sur), incluyendo un grupo prominente en la región del

Bajo. Además, aparecen pequeños bloques esporádicos en el sureste, que alcanzan valores p marginales o muy destacados.

Figura 5. Mapa de p -value Bivariante.

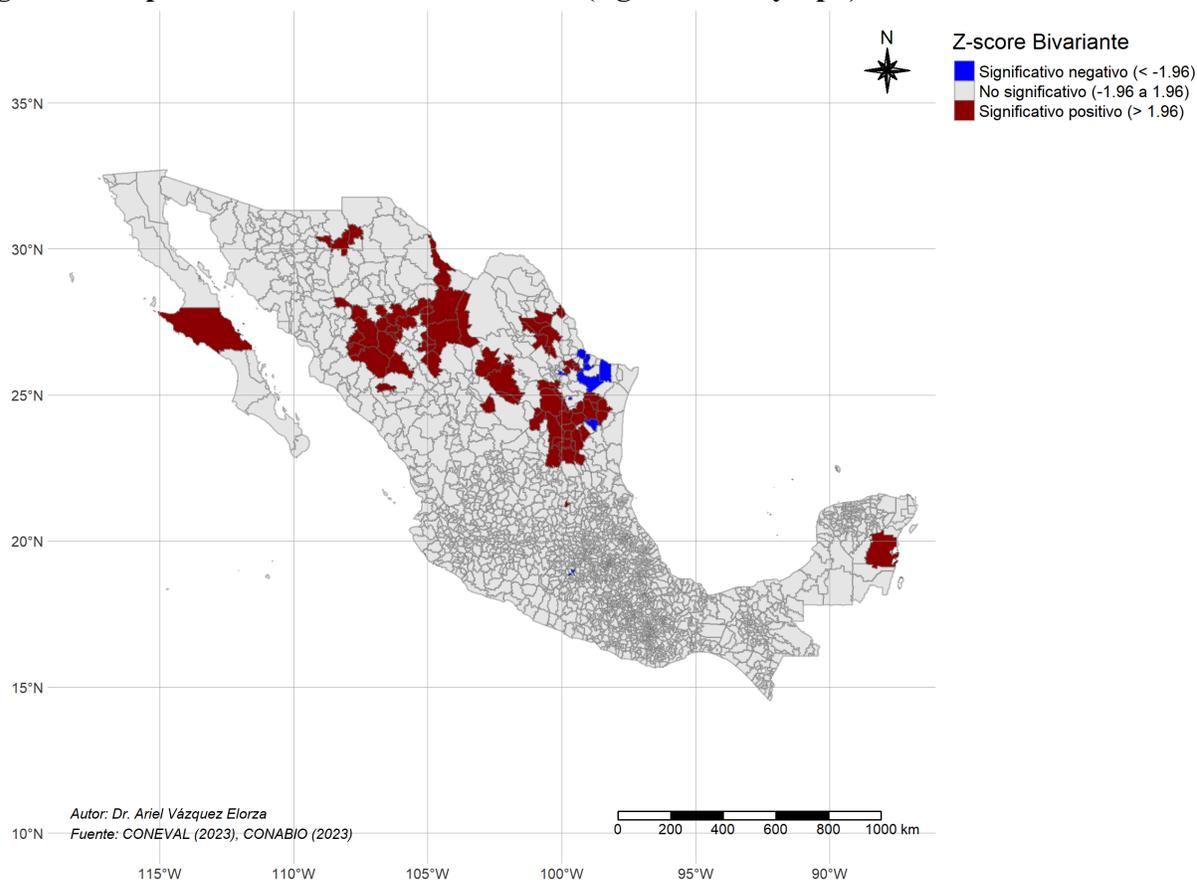


Fuente: Elaboración propia basada en Fuente: CONEVAL (2023), CONABIO (2023).

Otras zonas se muestran en gris, lo que indica que en ellas no se encontró una correlación regional estadísticamente fiable entre el capital natural y la proporción de población dedicada a actividades agropecuarias municipal.

En la **Figura 6** muestra la combinación de la significación estadística de la relación entre el índice de capital natural y la proporción de la población dedicada a la agricultura. **Gris** para las zonas en las que no se ha encontrado ninguna asociación significativa en la prueba,

Figura 6. Mapa de Local I Moran Bivariante (significación y tipo)



Fuente: Elaboración propia basada en Fuente: CONEVAL (2023), CONABIO (2023).

Se utilizaron tres tonos básicos para clasificar cada municipio:

- a. **Rojo** para la agrupación positiva muy significativa (municipios con valores similares (alto - alto o bajo - bajo) agrupados aleatoriamente por encima de lo esperado), y
- b. **Azul** para la agrupación negativa significativa o los valores atípicos (municipios con valores altos están rodeados de municipios vecinos con valores bajos, y viceversa).

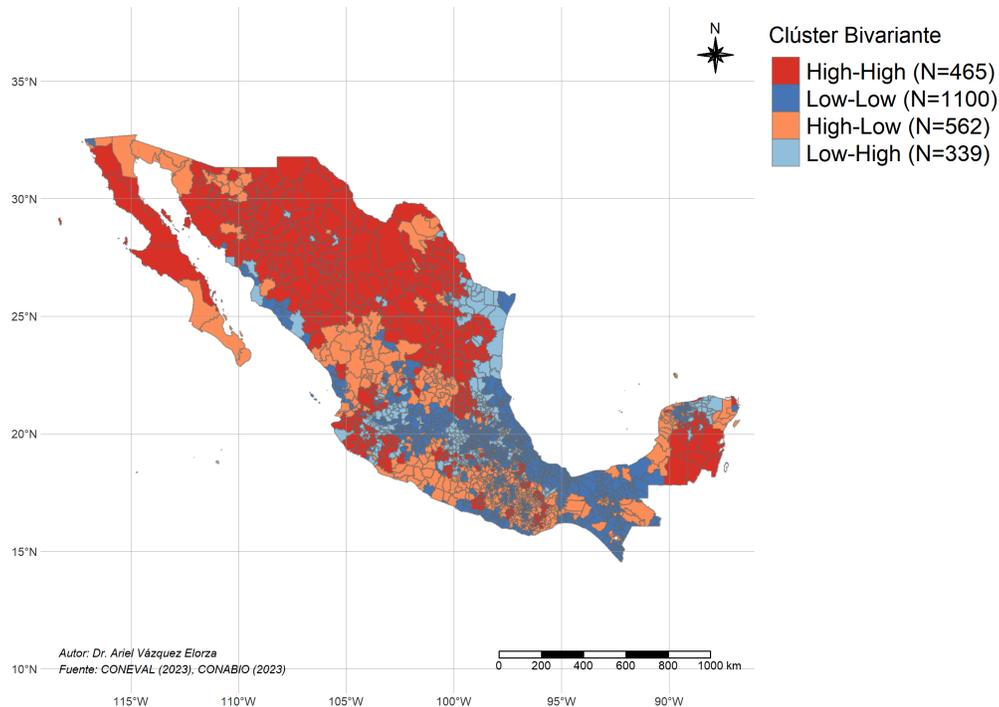
Los territorios que evidencian los clústeres espaciales coincidentes entre el capital natural y el empleo agropecuario para aplicar estrategias de bio economía, empleos verdes y manejo sostenible de recursos son 73 municipios con valores del índice local bivariante positivos y significativos ($p \leq 0.05$), lo cual reflejó clústeres estadísticamente significativos de alta concentración simultánea de capital natural y empleo agropecuario, como se evidenció en las Figuras 5 y 6.

Asimismo, 10 municipios presentaron asociaciones negativas significativas, en los cuales un alto valor del ICN coincidió con un entorno agrícola disminuido, o viceversa. Estos valores negativos se observaron especialmente en áreas del norte-centro del país, incluyendo porciones de Zacatecas y San Luis Potosí. Así, los puntos **azules** de la **Figura 6** son casos especiales en los que la relación entre el capital natural y la actividad agrícola es de sentido contrario a la de los municipios vecinos. El resto de las zonas cubiertas de **gris** no muestran pruebas suficientes de autocorrelación regional estadísticamente fiable (96.6% de los municipios).

Los análisis espaciales bivariado del Índice de Capital Natural (ICN) y del Índice de Localización Económica Principal (pEQ) revelan patrones regionales significativos que proporcionan información sobre la distribución geográfica de los activos medioambientales de México y de la mano de obra en actividades primarias.

En la **Figura 7** se muestran los clústeres obtenidos del Índice de Moran Binario Global identificando cuatro conglomerados espaciales (alto-alto, bajo-bajo, alto-bajo y bajo-alto) que ponen de relieve la coexistencia de fortalezas y debilidades regionales.

Figura 7 Clúster Bivariante del Índice Global de Moran



Fuente: Elaboración propia basada en Fuente: CONEVAL (2023), CONABIO (2023).

El conglomerado alto-alto (concentrado principalmente en las regiones del Sur y el Noroeste) sugiere que la región es rica en capital natural, tiene una elevada proporción de empleo en el sector primario y posee potencial para aplicar estrategias de desarrollo rural sostenible.

Por el contrario, el clúster bajo-alto, situado en el Golfo de México y partes del Sureste, presenta un panorama preocupante de actividad económica en el sector primario que tiene lugar en un entorno de baja calidad medioambiental. Esta situación puede indicar una sobreexplotación de los recursos naturales y una degradación ecológica gradual, poniendo en peligro la sostenibilidad a largo plazo del empleo rural.

Respecto a las agrupaciones alto-bajo revelan zonas ecológicamente ricas que están infrautilizadas en términos de ocupaciones económicas, lo que abre posibilidades para el diseño de políticas que fomenten el uso productivo del capital natural a través de la bioeconomía y los modelos de empleo verde. En conjunto, este enfoque espacial permite diferenciar y localizar las estrategias de intervención y reconoce la complejidad de los vínculos entre el medio ambiente y las estructuras productivas económico - rurales.

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran una estructura espacial no aleatoria en la distribución del Índice de Capital Natural (**ICN**) y del Índice de Localización Económica del sector primario (**ICPE**), confirmando la hipótesis alternativa de autocorrelación espacial significativa. Este hallazgo sugiere que la localización geográfica influye de forma muy importante en la concentración de actividades agrícolas económicas y, por ende, en la importancia sobre la conservación de los recursos naturales, constituyendo clústeres regionales con características socio ambientales y económicas comunes.

Las regiones Noreste y Bajío muestran una agregación espacial positiva (alto-alto), con valores elevados de **ICN** que coinciden con una elevada proporción de empleo en el sector primario. Este conjunto refleja sinergias regionales que pueden aprovecharse para aplicar estrategias de bioeconomía, agricultura sostenible y empleo verde.

Por el contrario, zonas de tierras bajas y altas, como el Golfo de México y partes del Sureste, hacen un uso intensivo del empleo rural en zonas con menos capital natural generado en 2023, advirtiendo de los riesgos sobre una posible sobreexplotación de los recursos naturales y degradación medioambiental. Por su parte, las agrupaciones en territorios con un valor de alto-bajo

representan zonas ecológicamente valiosas que aún no están bien integradas en las actividades económicas rurales y representan oportunidades estratégicas para un uso sostenible.

Los métodos espaciales como el Índice de Moran Bivariante y el análisis **LISA** permiten comprender las dinámicas locales asociadas entre variables territoriales más allá de la tradicional visión descriptiva y agregada simple. La implementación de estas metodologías también permite visualizar patrones que no son visibles a escala nacional, lo que supone una importante contribución a la planificación territorial e incluyendo escalas urbanas entre los municipios, en este caso de investigación.

Entre los hallazgos teóricos se puede mencionar que se confirma la dependencia espacial de las variables del Índice de Capital Natural y las actividades económicas agropecuarias rurales, apoyando los fundamentos de la econometría espacial. Así mismo, cuando se vincula a variables socioeconómicas, diversos estudios nacionales manifiestan que el **ICN** se muestra como un indicador robusto de la sostenibilidad local, reforzando el marco teórico del capital natural como activo productivo (CONABIO, 2023).

A su vez, el enfoque de conglomerados espaciales (*clústeres*) proporciona una nueva forma de entender el desarrollo rural y permite reinterpretar el concepto de potencial agroambiental no sólo en términos de productividad, sino también de sostenibilidad ecológica.

6. DISCUSIÓN

El marco teórico de este estudio presenta una ventaja significativa, ya que integra tres corrientes teóricas principales que generalmente operan de forma independiente: la geografía económica espacial, la economía ecológica y la bioeconomía. Esta integración ofrece una perspectiva más integral de la complejidad regional, demuestra que la sostenibilidad ecológica y la distribución del empleo en el sector primario están directamente relacionadas. Además, los resultados empíricos refuerzan la operatividad de los **ODS (8, 13 y 15)**, y demuestran el potencial de generar pruebas científicas útiles para políticas públicas diferenciadas y estrategias regionales sostenibles. Los clústeres espaciales de capital natural y empleo agropecuario añaden valor a la planeación regional.

Sin embargo, este estudio tiene limitaciones. La falta de estudios precios para establecer intervalos de confianza y el análisis de sensibilidad de las estadísticas espaciales, puede minar la

fiabilidad de las inferencias regionales. En la medida que se generen datos oficiales primarios, se reducirían los sesgos o problemas de calidad de las fuentes de datos. Aunque este modelo propone una fusión interdisciplinaria innovadora, se necesita una verificación internacional para comparar estos hallazgos con otras regiones del mundo. Por último, existe una tensión entre la lógica de desarrollo orientada al mercado y la estructura de uso rural histórica, sugiriendo que el potencial de innovación regional debe tener en cuenta otros factores sociales, culturales e institucionales que determinan el uso del capital natural en cada región.

La correlación espacial positiva encontrada entre el Índice de Capital Natural (ICN) y el empleo -productos básicos primarios- (pCLE) sugiere que, visiblemente, los entornos ambientalmente ricos son también zonas de concentración sostenida y significativa de actividades de producción de productos básicos primarios. Además, evidencia la oportunidad de relacionar la innovación social, territorial y de políticas públicas con la evidencia empírica de aplicación del modelo y atención de **ODS (8, 13 y 15)**.

El índice bivariado de Moran (global frente a local) confirma esta correlación espacial significativa, sugiriendo que las zonas con más recursos naturales tienden a mantener un mayor empleo agrícola. Este hallazgo permite un enfoque multidisciplinar para el diseño e implementación de políticas públicas ambientales y de resiliencia al cambio climático.

Este hallazgo permite un enfoque multidisciplinar e interdisciplinario para debatir la sostenibilidad de las estructuras de producción tradicionales en zonas sensibles desde el punto de vista medioambiental. La distribución superpuesta del capital natural y el empleo agropecuario revela patrones económicos regionalizadas muy bien delimitadas entre los estados. Esto no se explica necesariamente por la lógica del mercado moderno, sino más bien por la estructura sociohistórica de la ocupación, la tenencia de la tierra y la tecnología.

En el marco contextual de la marginación municipal regional, las zonas que muestran una agrupación positiva (alto - alto), como el Noreste y el Bajío, también muestran potencial para estrategias de desarrollo rural sostenible. Sin embargo, otras regiones identificadas como de agrupamiento cruzado (alto - bajo o viceversa) muestran tensiones importantes; esto es, podrían traducirse en regiones de sobreexplotación ambiental e infra explotación de la productividad

También identificamos una deficiencia metodológica: no se presentaron intervalos de confianza ni pruebas de sensibilidad para las estadísticas espaciales utilizadas. Esta omisión limita

la interpretación de la solidez de los conglomerados y sugiere la necesidad de realizar comprobaciones cruzadas en futuros estudios. Tampoco hubo comparación directa con estudios internacionales similares, lo que puede reforzar la novedad de los resultados.

6.1. Implicaciones Teóricas (*Scientia*)

Los resultados revelan una nueva relación entre indicadores clásicos como el ICN y el CLEp, que suelen analizarse por separado como suele ocurrir entre las instituciones gubernamentales federales que generalmente realizan estudios de manera independiente y no de forma coordinada para correlacionar información y conocimiento agregando valor a los mismos. La integración de estos indicadores con herramientas de medición económica espacial aporta una dimensión innovadora al estudio de la transformación rural y el potencial de la bio economía regional. Si se sistematiza este enfoque desde lo local, es decir desde las unidades administrativas y de gobierno municipales, puede surgir una nueva disciplina entre la geografía económica, la ecología aplicada y la ordenación del territorio para diseñar estrategias y programas focalizados a problemas concretos. Esta fusión de disciplinas dará lugar a un modelo de gobernanza territorial sostenible.

Además, el uso de modelos multivariantes bivariados que vinculen variables ambientales, ecológicas y agro socioeconómicas contribuirá a crear formas innovadoras de medir la productividad y responsabilidad ambiental, así como el rendimiento territorial de una manera más compleja y sostenida. El presente enfoque integrado tiene el potencial de influir en futuros esquemas de clasificación geográfica para la planificación y la asignación de recursos públicos privados.

Este estudio propone una nueva relación entre el índice de capital natural (ICN) y el coeficiente de localización de la economía primaria (CLEp) desde la perspectiva de la econometría espacial. Esta relación, que no se ha explorado suficientemente en estudios anteriores, contribuye a comprender mejor la interdependencia entre las variables ambientales y la estructura regional del empleo agrícola.

Desde un punto de vista teórico, este estudio contribuye a tres aspectos que se interrelacionan:

1. En primer lugar, amplía el ámbito de aplicación de la geografía económica espacial, incluyendo variables ambientales como factores de localización, y extiende las hipótesis de Krugman (1991) y Fujita et al. (1999) a las zonas rurales y al ámbito de los recursos naturales.

2. En segundo lugar, vincula las hipótesis de la economía ecológica y la bioeconomía, especialmente desde el punto de vista de la bioecología y los biorecursos (Bugge et al., 2016), recalcando la importancia del capital natural como activo productivo que influye en el empleo en la agricultura.
3. Por último, contribuye a la formación de una nueva epistemología territorial, creando pruebas empíricas claras que pueden servir de base para el desarrollo de políticas públicas diferenciadas, idóneas de combinar la sostenibilidad ecológica, el desarrollo económico y la gestión local.

En este contexto, el modelo proporciona una base conceptual para promover una nueva gobernanza territorial basada en pruebas espaciales y alto potencial para aplicar estrategias de bioeconomía, empleos verdes y manejo sostenible de recursos, y abre escenarios para futuras investigaciones que vinculen la bioeconomía, el análisis espacial y el desarrollo rural.

6.2. Implicaciones prácticas

A partir de los patrones espaciales encontrados en este estudio permiten generar recomendaciones específicas y diferenciadas para el diseño e implementación de políticas públicas entre los hacedores en función de las características regionales. Sobre la base de la clasificación de clústeres espaciales (**ICN-CLEp**), se proponen las siguientes recomendaciones estratégicas:

- **ICN Alto/Alta** tasa de empleo agropecuario. Es conveniente establecer planes para incentivar la conservación productiva y la gestión sostenible de los ecosistemas.
- **ICN Bajo/Alta** tasa de empleo agropecuario. Se requieren esquemas de restauración ecológica medio ambiental acompañados de un proceso de reconversión sostenible de la producción.
- **ICN Alto/Bajo** índice de empleo agropecuario. Debe fomentarse las cadenas agroecológicas, la bioeconomía en desarrollo y el empleo verde con menor impacto ambiental.

Además, los resultados del estudio proponen criterios regionales para medidas diferenciadas, esto es, discriminación positiva (no tratar igual a los desiguales) que apoyen la bioeconomía, la gestión agroecológica, la sostenibilidad climática, el empleo sostenible en las zonas rurales. Asimismo, sería una buena práctica que el Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, en coordinación con las instituciones ambientales, locales, estatales y federales trabajen

en conjunto para establecer mecanismos y herramientas de política pública (como por ejemplo, la incursión de pagos por servicios ecológicos, planificación ecológica participativa o incentivos fiscales para prácticas de producción sostenible).

En cuanto a la repetibilidad del método, el estudio utilizó herramientas econométricas de análisis espacial basadas en el software **R**®, que integran paquetes estadísticos reconocidos internacionalmente (entre ellos *spdep*, *sf*, *tmap*, *spData*, *rgdal*, *raster*). Aunque por motivos editoriales no se ha publicado el protocolo de programación completo, los procedimientos técnicos utilizados pueden reproducirse de acuerdo con los principios de transparencia científica y repetibilidad, por ello, para establecer una colaboración académica o una transferencia formal del método, es suficiente con ponerse en contacto con los autores.

Por último, los resultados presentados responden a atender los Objetivos de Desarrollo Sostenible (**ODS**) **8** - *Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos*, **13** - *Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos* y **15** *Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad* (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2023). Asimismo, estos objetivos han dado lugar a políticas nacionales e internacionales reforzadas (como el Plan Sectorial de Medio Ambiente (SEMARNAT), la Estrategia Nacional de Agricultura Sostenible del Suelo (FAO-México) y estrategias regionales de planificación adaptativa).

7. CONCLUSIÓN

En esta sección se resumen las principales conclusiones del estudio, se responden las preguntas planteadas. Asimismo, se responde el grado de confirmación respecto de las hipótesis planteadas; además, se presentan conclusiones significativas basadas en el análisis espacial destacando su importancia para comprender la interacción entre el capital natural y el empleo ocupado en el sector agropecuario en México. Por último, se definen los límites y las restricciones de este estudio, así como posibles líneas de investigación futura cuyo propósito sería la ampliación de la metodología y su aplicación práctica del mismo en otros niveles de territorios.

7.1. Cómo respuesta a pregunta e hipótesis de investigación.

Los resultados del estudio muestran una relación significativa entre el Índice de Capital Natural (ICN) y el empleo agropecuario (cociente de localización económica primaria - **CLEp** en municipios mexicanos). Esta evidencia empírica confirma que la distribución desigual del capital natural es una condición de la estructura productiva regional, validando así la hipótesis de investigación.

Del mismo modo, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa (**H₁**) demostrándose que las ciudades con alto empleo primario tienden a agruparse espacialmente con otras ciudades con alto capital natural, lo que indica la existencia de clústeres regionales. En las **Figuras 6 y 7** se sustenta que existen regiones con autocorrelación espacial significativa, es decir, está positivamente asociada con patrones espaciales concentrados, como la alta disponibilidad ambiental y ecológica que coexiste con altos niveles de empleo agrícola en diferentes regiones del país.

7.2. Hallazgos de la investigación.

El análisis espacial demuestra una clara agrupación regional, lo cual refuerza la interdependencia entre los recursos naturales y la estructura de la mano de obra agropecuaria.

Más del 77% de los municipios tienen un índice de localización económica superior a 1, lo que indica que los territorios tienen una fuerte especialización en la actividad del sector económico primario.

A partir del índice bivariado de Moran, pueden identificarse las siguientes **agrupaciones espaciales**:

- a. Los clústeres alto-alto** son los que presentan una correlación positiva entre el ICN y el **CLEp**, mientras que
- b. Los clústeres bajo-bajo** representan zonas con menor capital natural y menor especialización en agricultura.
- c. Los conglomerados mixtos (alto-bajo y bajo-alto)** generan posibles tensiones estructurales en el uso del suelo y su sustentabilidad.

Geográficamente, estos conjuntos se distribuyen con mayor claridad en las regiones Noreste, Bajío y Altiplano Central, mientras que en las regiones Golfo de México y Sureste prevalecen

patrones más heterogéneos y estadísticamente poco significativos. Esta evidencia apoya la idea de que la sustentabilidad rural depende no sólo de los recursos disponibles, sino también de la integración de esos recursos con la dinámica económica local de cada municipio y región.

7.3. Alcances finales de la investigación.

La presente investigación emplea datos publicados por CONABIO (2023) y CONEVAL (2023) y técnicas avanzadas de análisis espacial para presentar relacionamientos entre información geográfica sobre la relación entre la naturaleza y el empleo en el sector agropecuario. No obstante, se reconocen ciertas limitaciones.

La falta de intervalos de confianza en las pruebas de autocorrelación local reduce la solidez de algunas inferencias. Además, no se realizaron análisis de sensibilidad ni pruebas con casos internacionales comparables. Estas limitaciones abren futuras vías de investigación, como la inclusión de indicadores climáticos, el desarrollo de modelos multivariantes que incorporen variables institucionales y sociales, o el seguimiento longitudinal de las agrupaciones identificadas.

Por último, la metodología puede ampliarse para evaluar el potencial de las políticas orientadas a la bioeconomía, los empleos verdes y la planificación rural diferenciada desde una perspectiva de política pública para enfrentar el cambio climático con un enfoque integral geoespacial.

8. REFERENCIAS

- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical analysis*, 27(2), 93-115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- Anselin, L. (2001). Spatial econometrics. En *A companion to theoretical econometrics* (Blackwell Publishing Ltd., pp. 310-330). <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470996249.ch15>
- Brondizio, E. S., Ostrom, E., & Young, O. R. (2009). Connectivity and the governance of multilevel social-ecological systems: The role of social capital. *Annual review of environment and resources*, 34(1), 253-278. <https://doi.org/10.1146/annurev.envIRON.020708.100707>
- Bugge, M. M., Hansen, T., & Klitkou, A. (2016). What is the bioeconomy? A review of the literature. *Sustainability*, 8(7), 691. <https://doi.org/10.3390/su8070691>
- Buzzelli, M. (2020). Modifiable areal unit problem. *International encyclopedia of human geography*, 169-173. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102295-5.10406-8>

- Cabral, J. J. V., Medina, I. O., & Ortiz, M. H. (2024). Hacia una gestión sostenible del agua en México: Innovación agroecológica y gobernanza policéntrica. *Scientia et PRAXIS*, 4(8), 1-31. <https://doi.org/10.55965/setp.4.08.uady.a1>
- CEPAL; FAO; IICA. (2023). *Perspectivas de la Agricultura y del Desarrollo Rural en las Américas: Una mirada hacia América Latina y el Caribe 2023-2024*. <https://mexico.un.org/sites/default/files/2023-10/IICA-FAO-CEPAL.pdf>
- Comisión para el Conocimiento y Uso de Nacional la Biodiversidad (CONABIO). (2023). *Índice de Capital Natural (ICN)*. Capital Natural de México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/capitalNatMex.html>
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2022). *Fichas metadato de los indicadores. Fichas metadato de los indicadores*. CONEVAL. https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Documents/PATP/Fichas_metadato_PATP_3era_fase.pdf
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2023). *Plataforma para el Análisis Territorial de la Pobreza (PATP)*. <https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Plataforma-Analisis-Territorial-de-la-Pobreza.aspx>
- Costanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S., & Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- Czúcz, B., Molnár, Z., Horváth, F., Nagy, G. G., Botta-Dukát, Z., & Török, K. (2012). Using the natural capital index framework as a scalable aggregation methodology for regional biodiversity indicators. *Journal for Nature Conservation*, 20(3), 144-152. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2011.11.002>
- Fotheringham, A. S. (2009). The problem of spatial autocorrelation” and local spatial statistics. *Geographical analysis*, 41(4), 398-403. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.2009.00767.x>
- Fujita, M., Krugman, P. R., & Venables, A. (1999). *The spatial economy: Cities, regions, and international trade*. <https://doi.org/10.7551/mitpress/6389.001.0001>
- Galán, C., Balvanera, P., & Castellarini, F. (2012). *Políticas públicas hacia la sustentabilidad: Integrando la visión ecosistémica*. CONABIO. https://www.academia.edu/download/49372325/Politicas_pblicas_hacia_la_sustentabilida20161005-894-1ww7cj.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2025). *Economía y Sectores Productivos. Producto Interno Bruto*. <https://www.inegi.org.mx/temas/pib/>
- Islas, M. N. H., Novelo, A. F., & Serna, M. del C. M. (2024). Desarrollo sostenible a través de la innovación en seguridad alimentaria y hábitos alimenticios en familias marginadas. *Scientia et PRAXIS*, 4(8), 32-60. <https://doi.org/10.55965/setp.4.08.uady.a2>
- Krugman, P. (1991). Increasing returns and economic geography. *Journal of political economy*, 99(3), 483-499. <https://www.jstor.org/stable/2937739>
- Krugman, P. (1999). The role of geography in development. *International regional science review*, 22(2), 142-161. <https://doi.org/10.1177/016001799761012307>
- LeSage, J., & Pace, R. K. (2009). *Introduction to spatial econometrics* (Chapman and Hall/CRC). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781420064254>

- Luna, E. R., & Méndez, J. L. A. (2022). Otontepec; la región y su capital natural. *Patrimonio natural del área natural protegida Sierra de Otontepec, Veracruz, México*, 49-145. <https://doi.org/10.25009/uv.2849.1688>
- Martínez-Rodríguez, M. R., Viguera, B., Donatti, C. I., Harvey, C. A., & Alpizar, F. (2017). *La importancia de los servicios ecosistémicos para la agricultura Módulo 3*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza (CATIE). https://www.conservation.org/docs/default-source/publication-pdfs/modulo-3-color.pdf?Status=Master&sfvrsn=342df765_3
- Mora, F. (2017). Nation-wide indicators of ecological integrity in Mexico: The status of mammalian apex-predators and their habitat. *Ecological Indicators*, 82, 94-105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.030>
- Moran, P. A. (1948). The interpretation of statistical maps. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 10(2), 243-251. <http://www.jstor.org/stable/2983777>
- Munton, R. (2016). *The rural: Critical essays in human geography* (University College London, UK). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315237213>
- OCDE. (2025). *Supply Chain Resilience Review: Navigating Risks*. 184. <https://doi.org/10.1787/94e3a8ea-en>.
- OCDE, Eurostat. (2018). *The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities Oslo Manual 2018 Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation*. OECD publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>
- OCDE, & FAO. (2017). *Guía OCDE-FAO para las cadenas de suministro responsable en el sector agrícola*. 88. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264261358-es>
- Openshaw, S. (1983). The modifiable areal unit problem. *Concepts and techniques in modern geography*. <https://doi.org/10.1002/9781118526729.ch3>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2023). *Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS). Nueva Agenda para el Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Pacheco Almaraz, V., Palacios Rangel, M. I., Martínez González, E. G., & Vargas Canales, J. M. (2025). La especialización productiva en el sector agrícola mexicano. *Investigación multidisciplinaria en tiempos de Covid-19*, 175-184. <https://doi.org/10.52501/cc.162.13>
- Rodríguez-Robayo, K. J., Perevochtchikova, M., Ávila-Foucat, S., & De la Mora De la Mora, G. (2020). Influence of local context variables on the outcomes of payments for ecosystem services. Evidence from San Antonio del Barrio, Oaxaca, Mexico. *Environment, Development and Sustainability*, 22(4), 2839-2860. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00321-8>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo (SADER). (2023). *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON-NG)*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). <https://www.agricultura.gob.mx/datos-abiertos/siap>
- Siabato, W., & Guzmán-Manrique, J. (2019). La autocorrelación espacial y el desarrollo de la geografía cuantitativa. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 28(1), 1-22. <https://doi.org/doi:10.15446/rcdg.v28n1.76919>
- Tellería, J. L. (2005). *El impacto del hombre sobre el planeta*. Editorial Complutense De Madrid.
- Vázquez-Elorza, A. (2021). Regional Wealth with Biodiversity and Socioeconomic Marginality. *Scientia et PRAXIS*, 1(1), 9-16. <https://doi.org/10.55965/setp.1.01.a2>

- Vesco, P., Dasgupta, S., De Cian, E., & Carraro, C. (2020). Natural resources and conflict: A meta-analysis of the empirical literature. *Ecological Economics*, 172, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106633>.
- Xue, Y., & Liu, H. (2024). Influence of Natural Risks and Non-Agricultural Income on Agricultural Trusteeship Decisions in Northeast China. *Foods*, 13(13), 2024. <https://doi.org/10.3390/foods13132024>



This is an open access article distributed under the terms of the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)