



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES  
**LICENCIATURA EN PLANEACIÓN Y DESARROLLO  
REGIONAL**

## **TESIS**

### **PREDICCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO EN MÉXICO A PARTIR DE UN MODELO FACTORIAL, 2022.**

**Para obtener el título de  
Licenciado en Planeación y Desarrollo Regional**

**PRESENTA**

Francisco Salinas Becerra

Director

Dr. Juan Bacilio Guerrero Escamilla

Comité tutorial

Dr. Sócrates López Pérez

Dr. Tomás Serrano Avilés

Mtra. Silvia Lizbeth Aguilar Velázquez

Dra. Sonia Bass Zavala

Pachuca de Soto, Hgo., México; julio de 2024.

OFICIO/LPYDR/031/2024

Asunto: Autorización de impresión

**MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO**  
**DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR**  
**PRESENTE.**

El Comité Tutorial del nombre del producto que indique el documento curricular del programa educativo de licenciatura titulado **“Predicción de la degradación del suelo en México a partir de un modelo factorial, 2022”**, realizado por el sustentante **Francisco Salinas Becerra** con número de cuenta **377348** perteneciente al programa de la **Licenciatura en Planeación y Desarrollo Regional**, una vez que ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 40 del Reglamento de Titulación, tiene a bien extender la presente:

**AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN**

Por lo que el/la sustentante deberá cumplir los requisitos del Reglamento de Titulación y con lo establecido en el proceso de grado vigente.

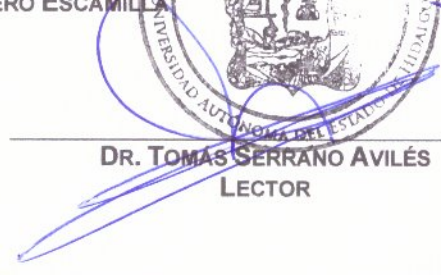
**ATENTAMENTE**

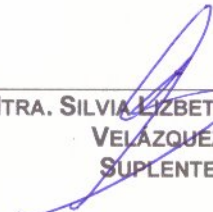
**“Amor, Orden y Progreso”**

Pachuca de Soto, Hidalgo a 10 de junio de 2024.

  
 DR. JUAN BACILIO GUERRERO ESCAMILLA  
 DIRECTOR

  
 DR. SÓCRATES LÓPEZ PÉREZ  
 LECTOR

  
 DR. TOMÁS SERRANO AVILÉS  
 LECTOR

  
 MTRA. SILVIA ELIZBETH AGUILAR  
 VELAZQUEZ  
 SUPLENTE

  
 DRA. SONIA BASS ZAVALA  
 SUPLENTE



**Predicción de la degradación del suelo en México a partir de un modelo factorial, 2022.**



## **DEDICATORIA**

A mi madre, que pese a las adversidades se mantuvo fuerte por nosotros. Jamás te dejaste caer, eres para mí un ejemplo de resiliencia. Todo te lo debo y te lo dedico a ti, te amo  
mamá.

A mis hermanas (A Alexa, Maty, Fanny, Emy y Monse) que me motivaron y me mostraron que se puede salir adelante a pesar de las adversidades. Sus enseñanzas, consejos, apoyo y cariño han sido pieza fundamental en mi desarrollo como persona y se cristaliza hoy como profesionalista.

A mi papá por siempre apoyarnos como familia, por estar ahí cuando lo necesitamos, por brindarnos su cariño.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) por permitirme hacer valer mi derecho a la educación desde el nivel preparatoria. Agradezco las risas, frustraciones y demás experiencias que he vivido en tus aulas y sobre todo, los aprendizajes obtenidos.

A mi director de tesis, el Dr. Juan Bacilio Guerrero Escamilla quien me adentró en el análisis de datos y el software libre. Agradezco la motivación, las enseñanzas y sobre todo, la confianza.

Al comité tutorial de este trabajo. Dr. Sócrates López Pérez, Dra. Sonia Bass Zavala, Mtra. Silvia Lizbeth Aguilar Velázquez y Dr. Tomás Serrano Áviles, gracias por su asesoría y confianza. Mención especial al Dr. Luis Alberto Oliver Hernández, que, pese a no formar parte del comité, fue un elemento esencial en mi formación y en la consecución de este trabajo.

A los grandes amigos y colegas que encontré en la generación 2020-2024. Valeria, Maya, Pedro, Diego y Dulce.

Al Laboratorio de Análisis Territorial, Ambiente y Ciencia de Datos del ICSHu. Gracias a sus responsables, y quienes formaron parte de él. En específico, quiero agradecer a la Mtra. Gabriela Montiel, a la Lic. Patricia Moctezuma, al Lic. Francisco Arteaga, a la Lic. Daniela Gómez, y en particular; a la Lic. Jennifer Vite Vega. Jenni, quien desde un principio confió en mi capacidad, quien me brindó siempre una mano y un abrazo cuando más lo necesitaba, quien ha compartido conmigo buenos momentos y también sus conocimientos. Me siento muy agradecido de poder llamarte amiga.

A mis amigos, que me recibieron en mi corta estancia de prácticas profesionales. Gracias Lic. Néstor Carmona, Lic. Diana Flores, Lic. Yamir Gutiérrez, Lic. Ma. de los Ángeles Santuario y Lic. Andrea Fajardo.

A mi gran amiga que conocí en la preparatoria y que pese a la distancia (que es más temporal que física) sé que siempre estará para mí, gracias por tu apoyo, por las risas, por las largas pláticas y por tu amistad. ¡Gracias, Rubio!

Al ICSHu y todo el personal que lo conforma, a la jefa del Área Académica de Sociología y Demografía, Dra. Silvia Mendoza Mendoza; a la Coordinadora de la Licenciatura en Planeación y Desarrollo Regional, Dra. Laura Myriam Franco Sánchez y a toda la planta docente.

A todos aquellos que han formado parte de mi vida.

**ESTE LOGRO NO ES SOLO MÍO ES DE TODOS USTEDES**

## AGRADECIMIENTO ESPECIAL

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT),  
pues esta tesis es producto del proyecto: *“Agenda de intervención para incidir en la mitigación y adaptación del Cambio Climático para mejorar la calidad del aire y la salud en tres Zonas Metropolitanas del estado de Hidalgo”*, con número de propuesta **315834** y proponente **1800184**, de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, y a cargo del responsable técnico Dr. Sócrates López Pérez.



**CONAHCYT**

CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

# ÍNDICE

|  |               |
|--|---------------|
| <b>RESUMEN</b>   | <b>V</b>      |
| <b>ABSTRACT</b>  | <b>VI</b>     |
| <b>ACRÓNIMOS</b>   | <b>VII</b>    |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>  | <b>- 1 -</b>  |
| <b>CAPÍTULO I. MARCO REFERENCIAL</b>                                     | <b>- 3 -</b>  |
| 1.1 INTRODUCCIÓN   | - 3 -         |
| 1.2 ANTECEDENTES   | - 4 -         |
| 1.3 MARCO JURÍDICO   | - 12 -        |
| 1.3.1 Ámbito internacional   | - 12 -        |
| 1.3.2 Ámbito federal   | - 17 -        |
| 1.4 BASES TEÓRICAS   | - 23 -        |
| 1.4.1 Teoría General de Sistemas   | - 23 -        |
| 1.4.2 Economía ecológica   | - 24 -        |
| 1.4.3 Conceptos básicos del suelo  | - 31 -        |
| 1.4.4 El enfoque de sistemas aplicado a la calidad/degradación del suelo | - 39 -        |
| 1.5 ELEMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN  | - 41 -        |
| 1.5.1 Justificación  | - 41 -        |
| 1.5.2 Objetivo general   | - 41 -        |
| 1.5.3 Objetivos específicos  | - 41 -        |
| 1.5.4 Pregunta general   | - 42 -        |
| 1.5.5 Preguntas específicas  | - 42 -        |
| 1.5.6 Hipótesis  | - 42 -        |
| 1.5.7 Alcances de la investigación.                                      | - 42 -        |
| 1.5.8 Limitaciones de la investigación                                   | - 42 -        |
| 1.6 CONCLUSIONES   | - 42 -        |
| <b>CAPÍTULO II. REDUCCIÓN DE LA DIMENSIÓN Y ANÁLISIS CLÚSTER</b>         | <b>- 45 -</b> |
| 2.1 INTRODUCCIÓN   | - 45 -        |
| 2.2 ¿QUÉ ES LA REDUCCIÓN DE LA DIMENSIÓN?                                | - 45 -        |
| 2.2.1 Análisis Factorial   | - 45 -        |
| 2.3 ¿QUÉ ES EL ANÁLISIS CLÚSTER?   | - 51 -        |
| 2.3.1 Método de Ward   | - 51 -        |
| 2.3.2 El Dendograma  | - 52 -        |
| 2.4 CONCLUSIONES   | - 53 -        |
| <b>CAPÍTULO III. CONSTRUCCIÓN DEL ÍNDICE DE DEGRADACIÓN DEL SUELO</b>    | <b>- 55 -</b> |
| 3.1 INTRODUCCIÓN   | - 55 -        |
| 3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN   | - 55 -        |
| 3.3 VARIABLES CONSIDERADAS   | - 56 -        |
| 3.4 CONSTRUCCIÓN DE NUEVAS VARIABLES                                     | - 57 -        |

|  |                                       |                |
|--|---------------------------------------|----------------|
| 3.5  | ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES | - 60 -         |
| 3.6  | APLICACIÓN DEL ANÁLISIS FACTORIAL     | - 75 -         |
| 3.7  | DIVISIÓN TERRITORIAL                  | - 86 -         |
| 3.7.1  | Grupo regional 1                      | - 87 -         |
| 3.7.2  | Grupo regional 2                      | - 88 -         |
| 3.7.3  | Grupo regional 3                      | - 89 -         |
| 3.7.4  | Grupo regional 4                      | - 89 -         |
| 3.7.5  | Grupo regional 5                      | - 90 -         |
| 3.7.6  | Grupo regional 6                      | - 91 -         |
| 3.7.7  | Grupo regional 7                      | - 92 -         |
| 3.8  | CONCLUSIONES                          | - 92 -         |
| <b>CAPÍTULO IV. RECOMENDACIONES PARA LA POLÍTICA PÚBLICA</b> |                                       | <b>- 93 -</b>  |
| 4.1  | INTRODUCCIÓN                          | - 93 -         |
| 4.2  | EJES ESTRATÉGICOS                     | - 93 -         |
| 4.3  | PRIORIZACIÓN POR GRUPO REGIONAL       | - 97 -         |
| 4.4  | CONCLUSIONES                          | - 102 -        |
| <b>CONCLUSIONES</b>  |                                       | <b>- 103 -</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>  |                                       | <b>- 107 -</b> |
| <b>ANEXOS</b>  |                                       | <b>- 111 -</b> |



## FIGURAS

|  |        |
|--|--------|
| Figura 1.1. Objetivos del Desarrollo Sostenible  | - 13 - |
| Figura 1.2. Antecedentes de la CLD   | - 15 - |
| Figura 1.3. Sistema Nacional de Planeación para el Desarrollo Rural Sustentable              | - 20 - |
| Figura 1.4. Alineación de Instrumentos de Planeación para la gestión de suelos agropecuarios | - 22 - |
| Figura 1.5. Ciclo económico neoclásico-keynesiano  | - 27 - |
| Figura 1.6. Ciclo económico de la Economía Ecológica   | - 28 - |
| Figura 1.7. Servicios ecosistémicos del suelo  | - 32 - |
| Figura 1.8. Los seis principales uso del suelo y la competencia entre ellos                  | - 34 - |
| Figura 1.9. Atributos de la Calidad del Suelo  | - 39 - |
| Figura 1.10. La calidad del suelo como sistema   | - 40 - |
| Figura 3.1. Matriz de correlación de Pearson   | - 73 - |
| Figura 3.2. Matriz de correlación entre factores   | - 80 - |
| Figura 3.3. Matriz de varianzas y covarianzas entre factores                                 | - 80 - |
| Figura 3.4. Dendograma de la República Mexicana  | - 86 - |

## GRÁFICOS

|  |        |
|--|--------|
| Gráfico 1.1. Nivel de degradación de suelos en México (en porcentaje), 1999                | - 5 -  |
| Gráfico 1.2. Procesos de degradación en México (porcentaje de superficie degradada), 1999  | - 6 -  |
| Gráfico 1.3. Comparación de degradación del suelo con los países de la OCDE, datos al 2000 | - 7 -  |
| Gráfico 1.4. Tipos de degradación del suelo en México, 2002                                | - 8 -  |
| Gráfico 1.5. Causas de la degradación por entidad federativa, 2002                         | - 9 -  |
| Gráfico 1.6. Nivel de degradación integrada en México (porcentajes), 2013                  | - 10 - |
| Gráfico 1.7. Porcentaje de tierras degradadas, comparativa en Latinoamérica, 2015-2020     | - 11 - |
| Gráfico 3.1. Screeplot   | - 78 - |
| Gráfico 3.2. Índice de Agroquímicos  | - 81 - |
| Gráfico 3.3. Índice de Presión Agropecuaria  | - 82 - |
| Gráfico 3.4. Índice de Disponibilidad Hídrica  | - 82 - |
| Gráfico 3.5. Índice de Monocultivos  | - 83 - |
| Gráfico 3.6. Grado de Degradación del Suelo por Entidad Federativa                         | - 85 - |

## MAPAS

|  |        |
|--|--------|
| Mapa 3.1. Precipitación media anual en México ( $X_1$ ), 2022.             | - 62 - |
| Mapa 3.2. Temperatura media anual en México ( $X_2$ ), 2022.               | - 63 - |
| Mapa 3.3. Tasa de herbicidas en México ( $X_3$ ), 2022.                    | - 64 - |
| Mapa 3.4. Tasa de insecticidas en México ( $X_4$ ), 2022.                  | - 65 - |
| Mapa 3.5. Tasa de fungicidas en México ( $X_5$ ), 2022.                    | - 66 - |
| Mapa 3.6. Grado de presión sobre los recursos hídricos ( $X_6$ ), 2022.    | - 67 - |
| Mapa 3.7. Tasa de rotación de cultivos en México ( $X_7$ ), 2022.          | - 68 - |
| Mapa 3.8. Tasa de irrigación en México ( $X_8$ ), 2022.                    | - 69 - |
| Mapa 3.9. Tasa de labranza en México ( $X_9$ ), 2022.                      | - 70 - |
| Mapa 3.10. Coeficiente de agostadero en México ( $X_{10}$ ), 2016.         | - 71 - |
| Mapa 3.11. Disponibilidad de agua per cápita en México ( $X_{11}$ ), 2022. | - 72 - |
| Mapa 3.12. Grupos regionales con base en el IDS, México, 2022.             | - 87 - |

## CUADROS

|  |         |
|--|---------|
| Cuadro 2.1. Comunalidad y unicidad                           | - 47 -  |
| Cuadro 2.2. Grado de ajuste del AF                           | - 47 -  |
| Cuadro 2.3. Propiedades de los factores                      | - 48 -  |
| Cuadro 2.4. Tipos de rotación ortogonales                    | - 48 -  |
| Cuadro 2.5. Supuestos del AF                                 | - 49 -  |
| Cuadro 2.6. Interpretación del KMO                           | - 50 -  |
| Cuadro 3.1. Variables y sus fuentes                          | - 56 -  |
| Cuadro 3.2. Estructura de la base de datos                   | - 75 -  |
| Cuadro 3.3. Varianza de cada variable                        | - 76 -  |
| Cuadro 3.4. Resultados del KMO                               | - 77 -  |
| Cuadro 3.5. Resultados del Test de Barlett                   | - 77 -  |
| Cuadro 3.6. Importancia de los factores                      | - 78 -  |
| Cuadro 3.7. Resultados del AF                                | - 79 -  |
| Cuadro 3.8. Estadísticos descriptivos de los factores        | - 80 -  |
| Cuadro 3.9. Valores por Índice del Grupo 1                   | - 87 -  |
| Cuadro 3.10. Valores por Índice del Grupo 2                  | - 88 -  |
| Cuadro 3.11. Valores por Índice del Grupo 3                  | - 89 -  |
| Cuadro 3.12. Valores por Índice del Grupo 4                  | - 90 -  |
| Cuadro 3.13. Valores por Índice del Grupo 5                  | - 90 -  |
| Cuadro 3.14. Valores por Índice del Grupo 6                  | - 91 -  |
| Cuadro 3.15. Valores por Índice del Grupo 7                  | - 92 -  |
| Cuadro 4.1. Factores que inciden en la degradación del suelo | - 93 -  |
| Cuadro 4.2. Ejes propuestos                                  | - 93 -  |
| Cuadro 4.3. Semáforo de atención                             | - 97 -  |
| Cuadro 4.4. Grupo con prioridad I                            | - 97 -  |
| Cuadro 4.5. Grupo con prioridad II                           | - 98 -  |
| Cuadro 4.6. Grupo con prioridad III                          | - 98 -  |
| Cuadro 4.7. Grupo con prioridad IV                           | - 99 -  |
| Cuadro 4.8. Grupo con prioridad V                            | - 100 - |
| Cuadro 4.9. Grupo con prioridad VI                           | - 101 - |
| Cuadro 4.10. Grupo con prioridad VII                         | - 101 - |

## RESUMEN

La degradación del suelo es un problema global que afecta la productividad agrícola, la salud de los ecosistemas y tiene serias implicaciones socioeconómicas y de seguridad alimentaria. En México, estos problemas se agravan por factores climáticos adversos, prácticas agrícolas insostenibles y una creciente presión demográfica.

En este sentido, el presente estudio aborda este fenómeno identificando los principales elementos jurídicos, teóricos y conceptuales para que con ello se construyan dos modelos. El primero, un modelo factorial que permite predecir el grado de susceptibilidad de degradación del suelo en cada una de las entidades federativas que componen a la República Mexicana, tomando como referencia las prácticas agrícolas y de gestión del agua, así como los parámetros climáticos al año 2022, y; el segundo, un análisis clúster con liga de Ward, que permite regionalizar el territorio para establecer el grado de prioridad para atención.

A partir del modelo factorial se identificaron cuatro indicadores esenciales (Índice de Agroquímicos, Índice de Presión Agropecuaria, Índice de Estrés Hídrico e Índice de Monocultivos) lo que permitió establecer ejes estratégicos con una serie de líneas de acción que pretenden mitigar esta problemática. De igual forma, en este trabajo se establece el grado de prioridad en siete grupos regionales generados a partir de estos indicadores, lo cual ofrece recomendaciones para mejorar la gestión del suelo y del agua, contribuyendo a la sostenibilidad agrícola a largo plazo.

**Palabras clave:** Degradación del suelo, Análisis factorial, reducción de la dimensión, análisis clúster, gestión del suelo.

## **ABSTRACT**

Soil degradation is a global problem that affects agricultural productivity, the health of ecosystems and has serious socioeconomic and food security implications. In Mexico, these problems are aggravated by adverse climatic factors, unsustainable agricultural practices and increasing demographic pressure.

In this sense, the present study addresses this phenomenon by identifying the main legal, theoretical and conceptual elements so that two models can be built. The first, a factor analysis model that allows predicting the degree of susceptibility to soil degradation in each of the states of the Mexican Republic, taking as reference agricultural and water management practices, as well as climatic parameters by 2022, and the second is a cluster analysis with Ward's link, which allows the territory to be regionalized to establish the degree of priority for attention.

From the Factor Analysis model, four essential indicators were identified (Agrochemical Index, Agricultural Pressure Index, Water Stress Index and Monoculture Index) which made it possible to establish strategic axes with a series of lines of action that aim to mitigate this problem. Likewise, this work establishes the degree of priority in seven regional groups generated from these indicators, which offers recommendations to improve soil and water management, contributing to long-term agricultural sustainability.

**Keywords:** Soil degradation, Factor Analysis, dimensionality reduction, cluster analysis, soil management.

## **ACRÓNIMOS**

**SEMARNAT:** Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

**CLD:** Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación.

**ODS:** Objetivos del Desarrollo Sostenible.

**FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

**COP:** Conferencia de las Partes.

**ONU:** Organización de las Naciones Unidas.

**PND:** Plan Nacional de Desarrollo.

**SADER:** Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

**ENASAS:** Estrategia Nacional de Suelos para la Agricultura Sustentable.

**TGS:** Teoría General de Sistemas.

**EE:** Economía Ecológica.

**OCDE:** Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.

**INEGI:** Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

**CEPAL:** Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

# INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo es de gran relevancia a nivel mundial. Este fenómeno no solo afecta la productividad de los cultivos y la salud de los ecosistemas, sino que también tienen profundas implicaciones socioeconómicas y de seguridad alimentaria. En el contexto mexicano, estos problemas son particularmente agudos debido a la combinación de factores climáticos adversos, prácticas agrícolas insostenibles y una creciente presión demográfica y urbanística.

El presente trabajo aborda estos desafíos mediante la aplicación de técnicas multivariantes proporcionando un marco integral para comprender y mitigar las causas de la degradación del suelo.

En el primer capítulo, se profundiza en el marco jurídico presente tanto a nivel internacional como nacional para identificar las principales dimensiones de análisis de la degradación del suelo, así como justificar la presente investigación. Así mismo, se plantea a través de una serie de teorías y conceptos como la Teoría General de Sistemas y la Economía Ecológica el fenómeno de la degradación del suelo como un fenómeno sistémico. Con base en ello se procede a construir los elementos que conducen la investigación y su objetivo general, el cual se alcanza con la consecución de los capítulos.

En el segundo capítulo, se hace un recorrido teórico-conceptual entre dos principales de técnicas multivariantes: las técnicas de reducción de dimensiones y las técnicas de análisis clúster. Estas herramientas permiten simplificar y explicar fenómenos complejos, en este caso, la degradación del suelo. En específico, se hace énfasis en el Modelo de Análisis Factorial, modelo que permite expresar  $X$  variables observables como una combinación lineal de  $F$  factores. Además de abordar el concepto, también se establecen los pasos para construir un modelo de esta índole, basado en la metodología de investigación de operaciones.

Con respecto al análisis clúster, se enfatiza el método de Ward el cual permite definir grupos más o menos homogéneos, y que se representa mediante un gráfico en forma de árbol a partir de una medida de distancia denominada ultramétrica.

En el capítulo 3, en la primera parte, se construye un modelo factorial que permite predecir el grado de susceptibilidad de degradación del suelo en cada una de las entidades federativas

de la República, esto a partir de 11 variables que comprenden el manejo del suelo, la gestión de los recursos hídricos y los parámetros climáticos. En la segunda, se crean grupos regionales con base en los indicadores construidos con el análisis factorial, esto permite observar semejanzas y particularidades.

Finalmente, en el capítulo 4 se establecen cuatro ejes principales de atención con base en el peso de cada uno de los factores, así como el grado de prioridad basado tanto en el modelo factorial como en el análisis clúster.

Con base en ello, no solo se proporciona una comprensión teórica sólida de la problemática de degradación del suelo, sino que se proveen recomendaciones para mejorar la gestión del suelo y del agua. Por ello, esta investigación es un paso crucial para desarrollar estrategias integrales que garanticen la conservación del suelo, la eficiencia en el uso del agua y la sostenibilidad agrícola a largo plazo.

# CAPÍTULO I.

## MARCO REFERENCIAL

### 1.1 INTRODUCCIÓN

La **degradación del suelo** es uno de los más apremiantes problemas socio ambientales a nivel global. Esta se define como “...la reducción o pérdida de la productividad biológica o económica y complejidad de las tierras de cultivo de secano o de cultivo de regadío, pastizales, bosques, resultantes del uso de la tierra o de un proceso o combinación de procesos derivados de actividades humanas” (UNCCD, 2017).

La Convención de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía (UNCCD, 2017), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR-UACH, 2013) y la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente (SEMARNAT, 2002), entre otros, han hecho énfasis en la pérdida de bienes y servicios ambientales de los suelos y las tierras. Asimismo, apuntan a que la degradación tiene efectos negativos tales como: inseguridad alimentaria, inseguridad hídrica, incremento de la vulnerabilidad social y migraciones, aceleración del cambio climático, etcétera, esto al perderse estos servicios.

Así, la degradación del suelo se convierte en un problema menester por estudiar, analizando las causas para establecer acciones que permitan alcanzar la neutralidad en la degradación de tierras (NDT).

Dado lo anterior, este primer capítulo se conforma por cuatro secciones:

- I. Antecedentes.
- II. Marco Jurídicos.
- III. Bases teóricas, y:
- IV. Elementos de la investigación.



## 1.2 ANTECEDENTES

La degradación del suelo ha sido un problema que ha acompañado a la humanidad desde los inicios de la agricultura, no obstante, el sistema agro productivo actual y los efectos del cambio climático han acelerado fuertemente este problema, alcanzando niveles antes vistos.

En la actualidad, la degradación de la superficie terrestre derivado de las actividades humanas y el cambio climático afecta la calidad de vida de cerca de 3.2 mil millones de personas, empuja a la extinción a un sexto de las especies, y representa el 10% del producto anual global en pérdidas de biodiversidad y servicios ecosistémicos (Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas [IPBES], 2018).

Los grandes efectos de la degradación del suelo se vislumbran de manera particular en los grupos vulnerables, principalmente a los campesinos dependientes de sus cosechas para el autoconsumo y la venta, que muchas veces es el único ingreso para este sector. Así mismo, afecta a la población urbana de menor ingreso, pues una mayor degradación implica una mayor dificultad para la producción de alimentos, lo cual incrementa el costo (IPBES, 2018).

En el mundo, los principales elementos que conducen a la degradación son (IPBES, 2018):

- Expansión de los monocultivos.
- Expansión de pastizales.
- Prácticas agrícolas y forestales insostenibles.
- Expansión urbana.
- Desarrollo de infraestructura, y;
- La industria extractiva.

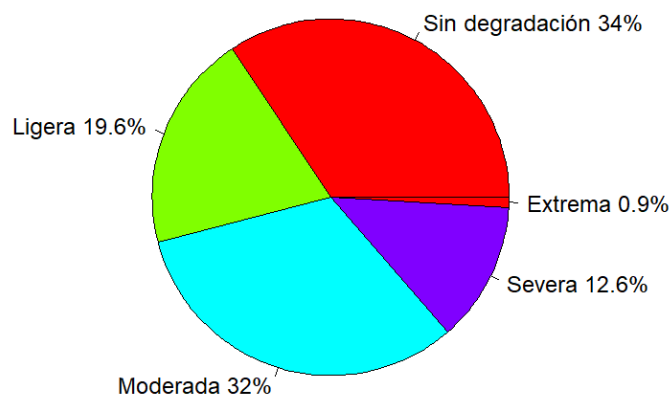
Si bien, este tipo de actividades generan grandes ganancias a corto plazo, a largo plazo estas producen una pérdida a largo plazo. Estudios en Asia y África indican que el costo de la inacción en la degradación del suelo es tres veces mayor que el costo de la acción (IPBES, 2018).

Cabe destacar que, tomar acciones específicas que ataquen, reduzcan y reviertan la degradación del suelo incrementará la seguridad alimentaria e hídrica al igual que a la mitigación y adaptación al cambio climático. Esto resulta importante de señalar pues de

acuerdo con proyecciones en el año 2050, cerca de 4 mil millones de personas vivirán en lugares con sequías, lo que implica una reducción en la productividad de la tierra, y a su vez, produce sociedades vulnerables a eventos climáticos (IPBES, 2018).

México no se encuentra exento de este problema, pues con base en estimaciones de SEMARNAT (2002) con año base 1999, la degradación de suelos ha afectado directamente al 64% del territorio, principalmente en los usos del suelo agropecuario y forestales.

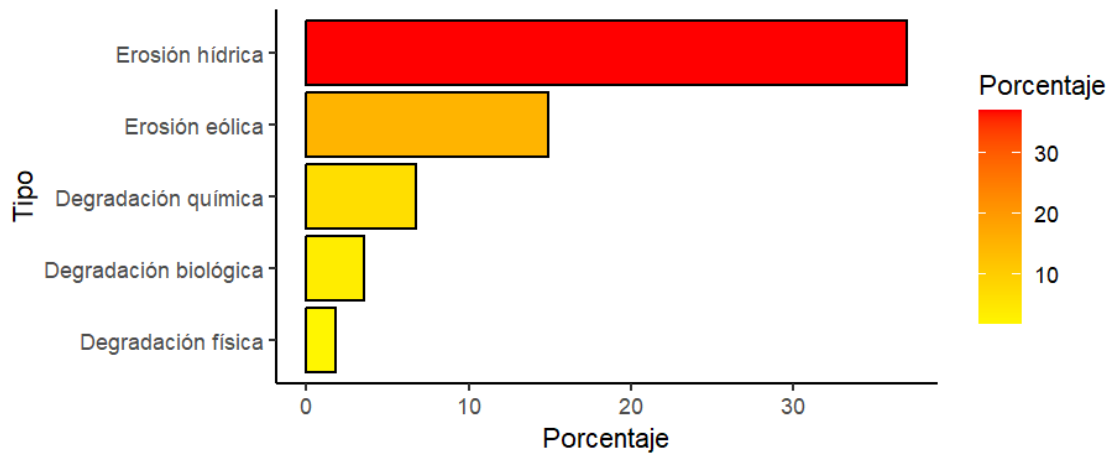
**Gráfico 1.1.** Nivel de degradación de suelos en México (en porcentaje), 1999



**FUENTE:** Elaboración propia con base en SEMARNAT (2002, p. 92).

Del 66% de la superficie degradada, cerca del 70% de esta se encuentra en procesos de moderada a extrema (Gráfico 1.1) lo cual implica que gran parte del territorio nacional se encuentra con una fertilidad del suelo altamente reducida.

**Gráfico 1.2.** Procesos de degradación en México (porcentaje de superficie degradada), 1999



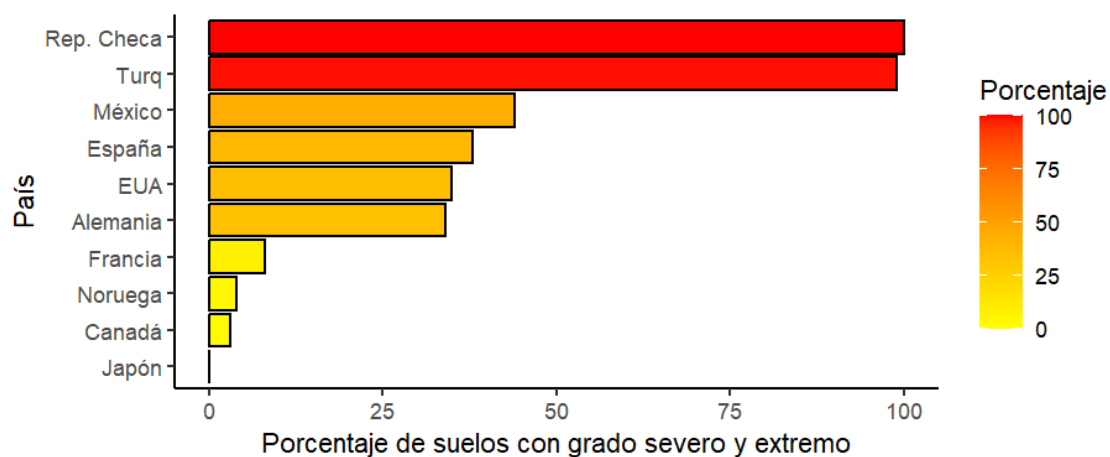
**FUENTE:** Elaboración propia con base en SEMARNAT (2002, p. 92).

Tal como se observa en el Gráfico 1.2, el proceso que afectó en mayor parte al territorio fue la erosión hídrica<sup>1</sup>, efecto de un riego por inundación principalmente, así como de la falta resiliencia del suelo a las precipitaciones anormales, que se correlaciona también con las grandes sequías, el sobrepastoreo, la deforestación y malas prácticas agrícolas (López, 2002; SEMARNAT, 2002).

---

<sup>1</sup> La erosión hídrica hace referencia a la remoción y/o pérdida del suelo por efecto del agua (SEMARNAT, 2002).

**Gráfico 1.3.** Comparación de degradación del suelo con los países de la OCDE, datos al 2000



**FUENTE:** Elaboración propia con base SEMARNAT (2002).

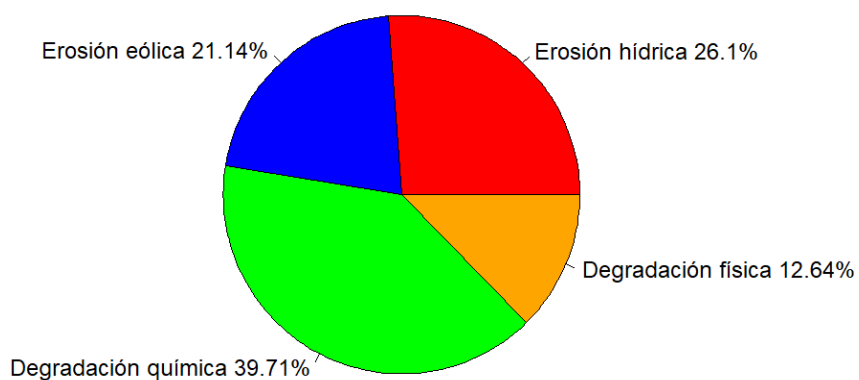
SEMARNAT (2002) señala que la degradación de suelos es más severa principalmente en países en vías de desarrollo, derivado de la mala tecnificación, En el contexto de la OCDE, México ocupaba una de las primeras posiciones en términos de proporción de degradación del suelo pese a que esta era moderada (ver Gráfico 1.3).

Con base en la evaluación realizada por SEMARNAT-CP (2003), con año base 2002, se determinó que la acción humana degradó la superficie nacional en un 39.71%, siendo el principal proceso, la degradación química<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> La degradación química hace referencia a la disminución de la fertilidad por la recepción de elementos contaminantes como agroquímicos (López, 2002; SEMARNAT-CP, 2003).

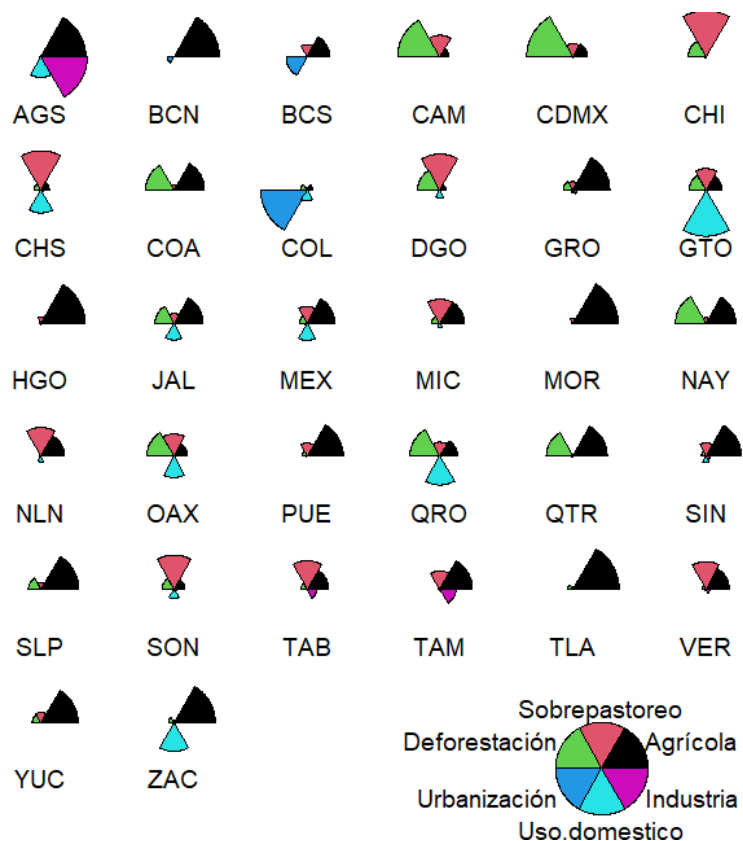
**Gráfico 1.4.** Tipos de degradación del suelo en México, 2002



**FUENTE:** Elaboración propia (SEMARNAT-CP, 2003).

De ahí le sigue la erosión hídrica con un 26.1%, la erosión eólica con un 21.14% (efecto también de malas prácticas como la deforestación, la falta de rotación de cultivos, etc.), y la degradación física en un 12.64 (efecto del sellamiento del suelo por el uso de maquinaria en la actividad agrícola y la pavimentación por el crecimiento urbano) (López, 2002; SEMARNAT-CP, 2003).

**Gráfico 1.5.** Causas de la degradación por entidad federativa, 2002



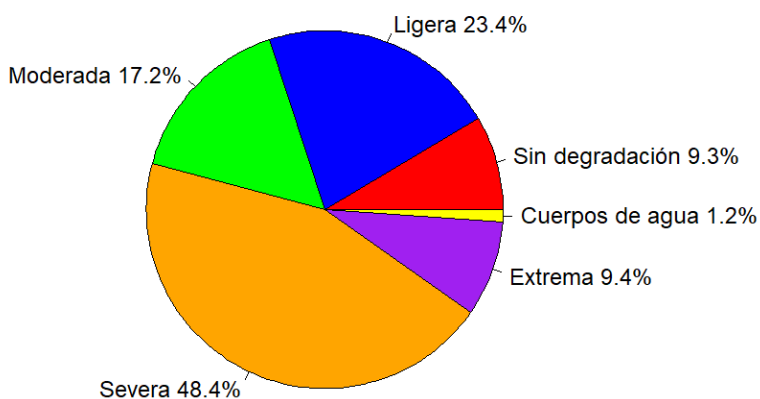
**FUENTE:** Elaboración propia (SEMARNAT-CP, 2003).

De acuerdo con SEMARNAT-CP (2003) se determinó que la degradación del suelo está en función de las actividades agrícolas en Aguascalientes, Hidalgo y Tlaxcala con un 85.4%, 83.4% y 76.5% respectivamente.

Para el caso de Chihuahua, Sonora, Durango, el factor de mayor peso es el sobrepastoreo, con un 71.2%, 55.5% y 55.2%. La deforestación para Nayarit (52.2%), Campeche (38.6%) y Chiapas (35.6%).

La urbanización es la causa principal en el Distrito Federal (hoy Ciudad de México) con un 65.6%, Baja California Sur (29.8%) y Baja California (26.2%). La sobreexplotación de la vegetación para el consumo industrial influye en menos del 0.5% de la degradación que se presenta en los estados (2003, p. 34).

**Gráfico 1.6.** Nivel de degradación integrada en México (porcentajes), 2013



**FUENTE:** Elaboración propia (SEMARNAT-CP, 2003, p. 24).

En el año 2013, la Comisión Nacional Forestal y la Universidad Autónoma de Chapingo presentan la Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación, retomando a la degradación bajo un enfoque que integraba la pérdida de productividad, recursos hídricos y aspectos climáticos.

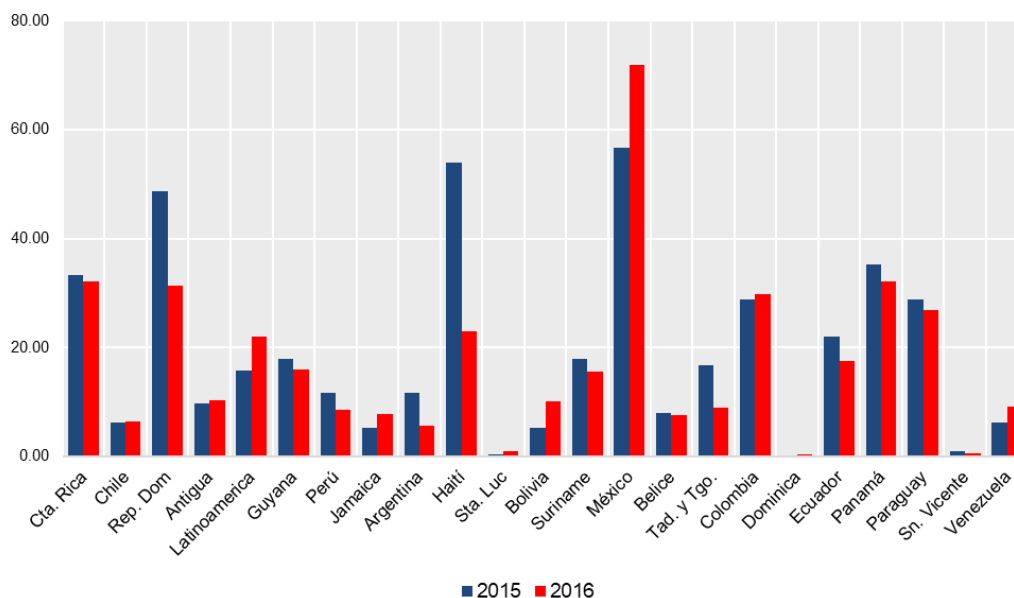
Los resultados arrojaron que 90.7% de la superficie del país se encontraba en algún grado de degradación, de la cual, 38.4% se situaba en severa, 24.3% en ligera, 17.2% en moderada, 9.4% en extrema y tan solo el 9.3% sin degradación (CONAFOR-UACH, 2013, p.17).

En este trabajo a su vez, estimó que cerca del 98.32% de la población vive en zonas con algún tipo de degradación, siendo la tierra con degradación severa donde mayormente se encuentra asentada la población. En la CDMX, Morelos, Estado de México, Querétaro, Veracruz, Aguascalientes, Guanajuato, Hidalgo, Sonora y Tlaxcala se encuentra la mayor proporción de población afectada por degradación severa y extrema. La principal causa, el uso indebido de la tierra por uso agrícola (CONAFOR-UACH, 2013, pp. 141-147).

Para el 21 de marzo de 2023 se presenta el informe mexicano para la Convención de Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación el cual compara dos periodos 2000-2015 y 2004-2019 cuyo objetivo fue observar los avances o retrocesos en materia de degradación de tierras y vulnerabilidad ante la desertificación.

Lo más desalentador de este informe es observar que la degradación en México pasó de 56.7 % del territorio a 71.9% (CEPAL, 2015), y no solo eso, sino que, para ambos periodos, México fue el que mayormente presentaba este problema de todo América Latina). Esto posiblemente como consecuencia de la falta de continuidad del Programa Nacional Forestal y la Estrategia Nacional para la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (ENAREDD+), aunado a que se detuvo el programa de pagos por servicios ambientales y programas de aprovechamiento sustentable, así como una mala gestión del suelo en la actividad agrícola

**Gráfico 1.7.** Porcentaje de tierras degradadas, comparativa en Latinoamérica, 2015-2020



**FUENTE:** Elaboración propia con base en Gobierno de México (2023).

La población expuesta para el año 2019 fue de 86,994,442 (Gobierno de México, 2023, p. 38) más de la mitad de las personas que viven en México. Esta afirmación resulta importante, pues implica que gran parte de la población no podrá hacer frente a los retos de económicos y ambientales que supone la degradación de la tierra.

Esto aunado a que la población que vive en zonas afectadas por la degradación tiene un Coeficiente de Gini con un valor de 46.5% (Gobierno de México, 2023, p. 34), lo cual indica



una desigualdad económica exacerbada. En este tenor, se hace evidente la problemática en materia de tierras que yace en un país como el nuestro, y que, sumado al contexto socio económico, puede exacerbar los problemas sociales, principalmente la inseguridad alimentaria.

### **1.3 MARCO JURÍDICO**

#### **1.3.1 Ámbito internacional**

##### ***1.3.1.1 La Agenda 2030 y los Objetivos del Desarrollo Sostenible***

La Agenda 2030 es un plan de acción mundial adoptado por la Asamblea General de las Naciones Unidas en septiembre del 2015, y entró en vigor el 1º de enero de 2016. El fin de esta, es intensificar los esfuerzos de las naciones para abonar a los desafíos globales más apremiantes, como pobreza, desigualdad, brechas de género, desempleo y degradación ambiental, etc.

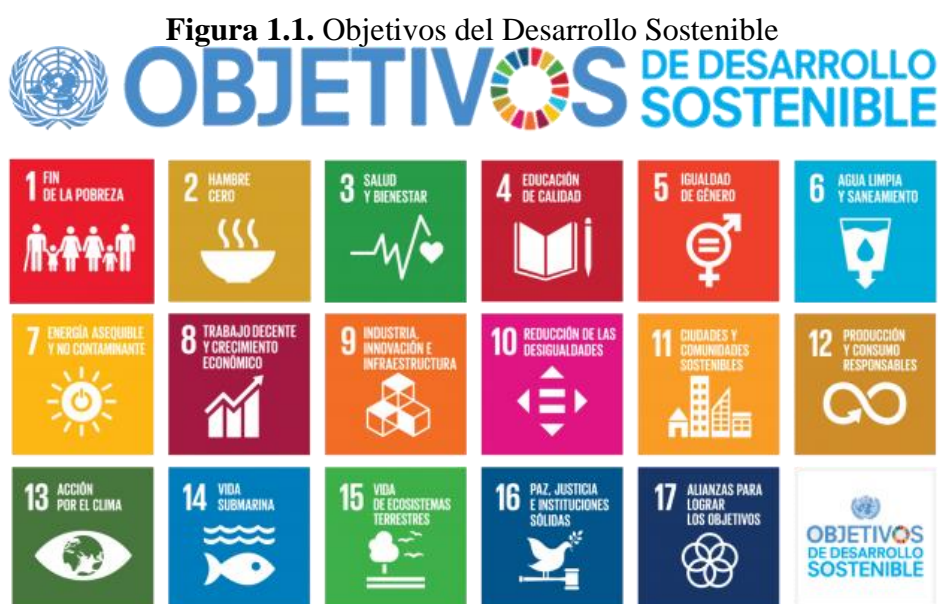
Esta surge en el marco de la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, la cual es sucesora de una serie de acuerdos como lo fueron:

- ***Cumbre de la Tierra de 1992 (Conferencia de Río)***. Celebrada en Río de Janeiro, Brasil. Se adoptó la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, al igual que el Programa 21, un plan de acción para el desarrollo sostenible.
- ***Objetivos del Desarrollo del Milenio (ODM)***. En el marco la Cumbre del Milenio, celebrada en la Sede de las Naciones Unidas en Nueva York, se firmó la Declaración del Milenio, dando continuidad con el surgimiento de los ODM, representantes del compromiso de las naciones firmante para erradicar la pobreza, mejorar la salud materna, combatir enfermedades, y en particular, garantizar la sostenibilidad del medio ambiente (ONU, 2023).
- ***Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible de 2002 (Cumbre de Johannesburgo)***. En esta cumbre del 26 de agosto al 24 de septiembre del 2002 se adoptó una Declaración Política y un Plan de Implementación que abonó acciones y medidas a considerar para lograr el desarrollo en armonía con el medio ambiente. En esta, fueron participes múltiples jefes de Estado, así como representantes gubernamentales y de ONG, lo que resultó en decisiones relacionadas con diversos

temas, como lo es el agua, salud, energía, biodiversidad, etc. (Organización de las Naciones Unidas [ONU], s. f.-a).

- **Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible de 2012.** También conocida como Rio +20, se estableció el proceso para el desarrollo de los ODS, basados en los ODM que posteriormente cristalizó la agenda para el desarrollo. Aquí también se adoptaron decisiones prospectivas en varios ejes temáticos, como la energía, seguridad alimentaria, mares y océanos, al igual que las ciudades.

Todos estos ejercicios permitieron la concreción de la Agenda 2030, producto de la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible realizada del 25 a 27 de septiembre de 2015, Nueva York. Este plan se denominó como *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*, donde se incluyó una declaración y los 17 ODS con 169 metas respectivamente.



FUENTE: Tomado de CEPAL (2017)

Los ODS que sustenta esta investigación son:

- ❖ **ODS 2. HAMBRE CERO:** Este objetivo busca lograr un mundo sin hambre para 2030. La inseguridad alimentaria ha presenta un crecimiento exponencial desde 2015, derivado de la sinergia de una serie de factores, tales como la pandemia, conflictos socio territoriales, malas prácticas agrícolas, cambio climático y desigualdades. Para abonar a este problema, resulta de suma importancia transformar los sistemas agrícolas convencionales hacia sistemas de producción resilientes,

contribuyendo al mantenimiento de los ecosistemas la capacidad de adaptación a los efectos del cambio climático y los fenómenos meteorológicos que este conlleva (ONU, 2018, pp. 19-22).

- ❖ **ODS 12. PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES:** En este objetivo, la ONU plantea el garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, basado en el uso eficiente de los recursos y la energía. Aquí se hace referencia al incremento de las ganancias netas de bienestar de las actividades económicas a partir de la reducción del uso de recursos y evitando la degradación y la contaminación ambiental (2018, pp. 55-56).
- ❖ **ODS 15. VIDA DE ECOSISTEMAS TERRESTRES:** Hace referencia a la preservación, el restablecimiento y uso sostenible de los ecosistemas terrestres, mediante la gestión sostenible de bosques, la lucha contra la desertificación, la mitigación de la degradación de tierras y suelos, así como, detener la pérdida de biodiversidad (ONU, 2018, p. 69).

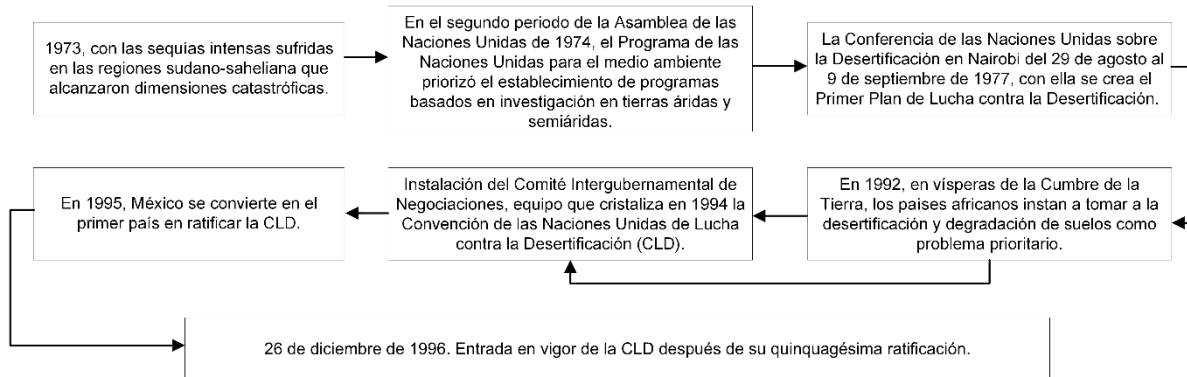
### ***1.3.1.2 La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación***

En el año de 1994, la Asamblea General de las Naciones Unidas estableció la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CLD)<sup>3</sup>, esto derivado de la preocupación de las naciones por las severas sequías en países en desarrollo, especialmente en la África Sudanosaheliana. Este acuerdo del que 194 países son parte emana directamente de varios eventos esenciales:

---

<sup>3</sup> Este "...es el único acuerdo internacional legalmente vinculante que vincula el medio ambiente y el desarrollo con la gestión sostenible de la tierra" (Organización de las Naciones Unidas [ONU], s. f.-b).

**Figura 1.2. Antecedentes de la CLD**



**FUENTE:** Elaboración propia con base en SEMARNAT (2002, pp. 88-127).

La CLD enmarca las obligaciones generales, así como las obligaciones específicas de los países partes afectados y los países partes desarrollados. México, al estar inserto dentro de los países afectados, debe comprometerse a (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2012, pp. 8-9):

- a. Priorizar la lucha contra la desertificación y la sequía a partir de la asignación de recursos.
- b. Establecer estrategias y prioridades en sus planes y políticas de desarrollo sostenible.
- c. Ocuparse de las causas latentes de la desertificación.
- d. Promover la sensibilización y participación de las poblaciones en materia de desertificación.
- e. Fortalecer la legislación en vigor, así como promulgar nuevas leyes para el establecimiento de políticas y programas a largo plazo.

Las obligaciones anteriores muestran de manera general que, en México se hace menester la sistematización de acciones que abonen directamente a la mitigación de los problemas relacionados con la tierra y los suelos, partiendo de la gestión sostenible de la tierra.

### *1.3.1.3 Declaración de los Emiratos Árabes Unidos sobre Agricultura Sostenible, Sistemas Alimentarios Resilientes y Acción Climática*

En el marco de la Conferencia de las Partes (COP<sup>4</sup>) 28, se reconocieron que los impactos del cambio climático tienen que ver con la resiliencia en la agricultura y los sistemas alimentarios. En este sentido, las naciones han declarado la intención de trabajar para la consecución de los objetivos planteados a partir de las siguientes acciones (ONU, 2023<sup>a</sup>):

- ❖ Ampliar las actividades y respuestas de adaptación y resiliencia para reducir la vulnerabilidad de los productores alimentarios ante los impactos del cambio climático. Lo anterior a partir del apoyo financiero y técnico, la capacitación, la mejora de infraestructura, etc.
- ❖ Promoción de la seguridad alimentaria y nutrición.
- ❖ Apoyar a los trabajadores de los sistemas agroalimentarios cuyos medios de subsistencia se encuentran amenazados por el cambio climático.
- ❖ Fortalecer la gestión integrada del agua en la agricultura y los sistemas alimentarios a fin de garantizar la sostenibilidad y reducir los impactos adversos.
- ❖ Maximizar los beneficios climáticos y ambientales asociados a la agricultura y los sistemas alimentarios, a partir de la conservación, la protección y la restauración de la tierra.

México, por tanto, adquiere el compromiso de establecer las acciones necesarias que permitan el logro de los objetivos anteriores, a partir de una conducción adecuada de las políticas públicas en materia de tierras y suelos.

---

<sup>4</sup> La COP de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático se realiza cada año y se trata de la máxima reunión de los órganos de negociación del régimen internacional de cambio climático, en donde se adoptan decisiones vinculantes para las partes.

## **1.3.2 Ámbito federal**

### ***1.3.2.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM)***

A nivel federal, la Ley Suprema establece la correspondencia del Estado Mexicano para garantizar el desarrollo nacional en todos los ámbitos y escalas. Esto se ve plasmado en los artículos 25, 26 y 27, los que enmarcan la esencia de la planeación.

De manera particular, el artículo 25 hace énfasis al desarrollo mediante la planeación, el cual, a la letra dice:

Corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable, que fortalezca la Soberanía de la Nación y su régimen democrático y que, mediante la competitividad, el fomento del crecimiento económico y el empleo y una más justa distribución del ingreso y la riqueza, permita el pleno ejercicio de la libertad y la dignidad de los individuos, grupos y clases sociales, cuya seguridad protege esta Constitución. La competitividad se entenderá como el conjunto de condiciones necesarias para generar un mayor crecimiento económico, promoviendo la inversión y la generación de empleo (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 2024, p. 27).

De acuerdo con lo anterior se vislumbra que, el Estado velará por el desarrollo tomando en consideración la sostenibilidad. En el contexto agrícola, implica que el Estado debe de promover las condiciones necesarias que permitan el uso racional de los recursos naturales, la protección del medio ambiente, conservación de los ecosistemas, y todo ello en armonía con los sistemas de producción agrícola.

### ***1.3.2.2 Ley de Planeación***

Establece los pilares sobre los que se construye y se encauza la Planeación Nacional del Desarrollo<sup>5</sup>, previendo las bases para (Ley de Planeación, 2023, pp. 1-2):

- ❖ Integrar y hacer funcionar el Sistema Nacional de Planeación Democrática.

---

<sup>5</sup> Esta se entiende como "...la ordenación racional y sistemática de acciones que, en base al ejercicio de las atribuciones del Ejecutivo Federal en materia de regulación y promoción de la actividad económica, social, política, cultural, de protección al ambiente y aprovechamiento racional de los recursos naturales..."(Ley de Planeación, 2023, pp. 2-3). El fin último de esta es la transformación del país de conformidad con los principios de la propia Constitución.

- ❖ Que el Ejecutivo Federal coordine sus actividades de planeación en las entidades federativas.
- ❖ Promover y garantizar la planeación democrática.
- ❖ Las acciones de los particulares para alcanzar los objetivos y prioridades del Plan Nacional de Desarrollo.

Uno de los elementos esenciales que dan operatividad al Sistema Nacional de Planeación Democrática, es el Plan Nacional de Desarrollo, el cual permite precisar los objetivos y estrategias prioritarias de cada gobierno para lograr el Desarrollo Nacional, este debe contener previsión de recursos, los instrumentos y responsables de su ejecución, los lineamientos de política global, sectorial y regional, tomando en cuenta las variables externas que se relacionen (Ley de Planeación, 2023, p. 8).

A su vez, se establecen cuatro figuras de programas:

- Programas sectoriales.
- Programas institucionales.
- Programas regionales.
- Programas especiales.

Estos permiten encaminar los objetivos plasmados en el Plan Nacional del Desarrollo.

### ***1.3.2.3 Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente***

Esta ley enmarca las disposiciones que refieren a la preservación y restauración del medio ambiente. En términos de suelos, sienta las bases para aprovechar, preservar y restaurar el suelo y demás recursos (Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 2024).

En el capítulo II de esta ley, *Preservación y Aprovechamiento Sustentable del Suelo* se hace referencia al manejo sostenible del suelo, buscando el mantenimiento de su integridad física y capacidad productiva, basado en un correcto uso del suelo. Partiendo de lo anterior, el Gobierno Federal impondrá los criterios ecológicos para (Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 2024, pp. 12-13):

- La preservación y el aprovechamiento sustentable del suelo a partir del apoyo de la tecnificación a la actividad agrícola.

- La fundación de centros de población y asentamientos humanos.
- El establecimiento de reservas en los planes de desarrollo urbano.
- Las disposiciones, lineamientos y programas de protección, y restauración de suelos en actividades primarias.

En términos agrícolas, la SEMARNAT promoverá ante la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y las demás dependencias involucradas generalizar prácticas de protección restauración de suelos en actividades agropecuarias y realizar estudios de impacto que permitan cambiar el uso del suelo.

Para la dimensión forestal, se fomentan los estímulos fiscales y apoyos económicos para el establecimiento de plantaciones forestales y obras de protección de suelos forestales. Asimismo, se menciona que debe de buscar que los apoyos que se otorgue a la actividad agropecuaria tienen que ser compartible con los suelos forestales, impidiendo el cambio de uso del suelo forestal a agrícola o pecuario.

#### ***1.3.2.4 Ley de Desarrollo Rural Sustentable***

La fracción XX de la CPEUM, menciona la obligación del Estado de promover las condiciones necesarias para el desarrollo rural integral, basado en los propósitos de (CPEUM, 2024, pp. 36-37):

- Generación de empleo y garantizar el bienestar de la población campesina, así como la participación e incorporación en el desarrollo nacional.
- El fomento de la actividad agropecuaria y forestal para el uso óptimo de la tierra a partir de infraestructura, créditos, capacitación y asistencia técnica.
- La expedición de reglamentación para la planeación y organización de la producción, industrialización y comercialización agropecuaria.

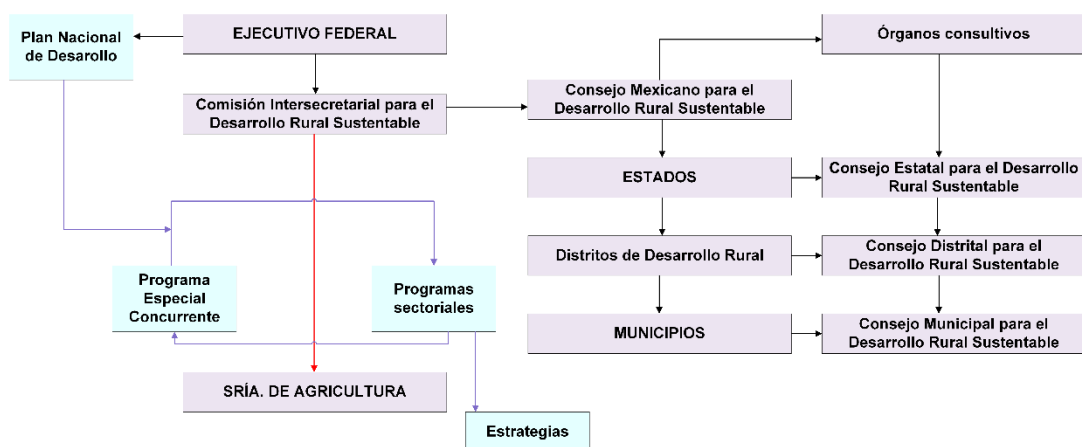
Según esto, surge la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, que rige los actores del Sistema Nacional de Desarrollo Sustentable, y los instrumentos que permeen al medio rural basados en principios de promoción al bienestar social, reducción de desigualdades en desarrollo regional, contribución al soberanía y seguridad alimentaria, protección de la biodiversidad y la valoración integral de funciones de la agricultura nacional.



Según esta ley, se establece que mediante el Ejecutivo Federal y en coordinación con los demás órdenes de gobierno, se impulsarán todas aquellas acciones y programas del medio rural prioritarios para el desarrollo de la nación.

De igual manera, se establece la figura de la Comisión Intersecretarial, encargada de atender, difundir, coordinar y dar seguimiento a los programas sectoriales que impulsen el desarrollo rural sustentable, y promover y coordinar acciones, además de concertar la asignación de responsabilidades y dependencias competentes federales.

**Figura 1.3.** Sistema Nacional de Planeación para el Desarrollo Rural Sustentable



**FUENTE:** Elaboración propia con base en la Ley de Desarrollo Rural Sustentable (2021).

Para operar de manera eficaz el sector rural y en aras del Desarrollo Rural Sustentable se consideran diversos organismos y actores de la relacionados con lo rural para establecer los procesos de diseño y toma de decisiones, que a nivel nacional se define como el Consejo Mexicano de Desarrollo Rural Sustentable, y de manera descendente los Consejos Estatales, Distritales y Municipales.

En el artículo 14 de esta misma ley, se prevé el diseño del Plan Especial Concurrente para el Desarrollo Rural Sustentable, el cual comprende las políticas para para orientar la generación y diversificación de empleo y garantizar a la población campesina el bienestar y su participación e incorporación al desarrollo nacional (Ley de Desarrollo Rural Sustentable, 2021, pp. 8-9). Del mismo modo, se establece la necesidad de incorporar en los programas sectoriales de cada secretaría involucrada objetivos y acciones transversales que fomenten el desarrollo rural y la conservación y mejoramiento del suelo.

### ***1.3.2.5 Alineación de Instrumentos de Planeación para la gestión de suelos agropecuarios***

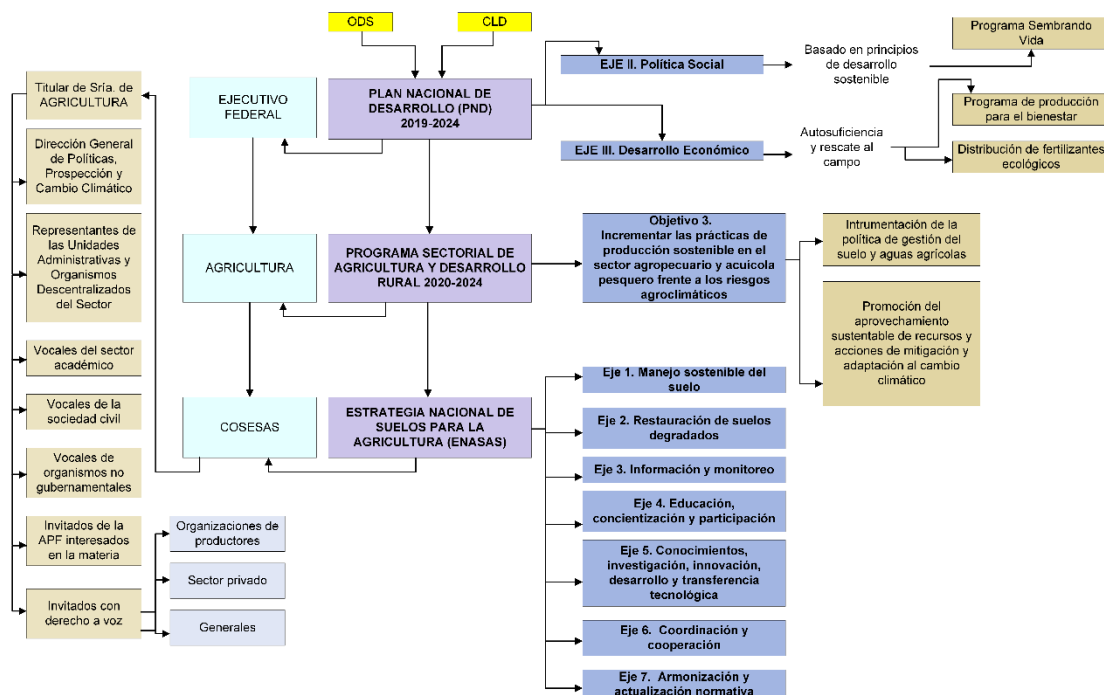
A partir de las leyes anteriores, se puede establecer la alineación de los instrumentos de planeación que abordan la gestión de suelos en la actividad agropecuaria. En este, sentido, y desde un enfoque de arriba hacia abajo, se parte de los sustentos establecidos en los acuerdos internacionales de los que el Estado Mexicano es parte.

En este sentido, se tiene:

- i. Agenda 2030, en particular el ODS 2. HAMBRE CERO, el ODS 12. PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES y el ODS 15. VIDA DE ECOSISTEMAS TERRESTRES.
- ii. La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación.
- iii. Declaración de los Emiratos Árabes Unidos sobre Agricultura Sostenible, Sistemas Alimentarios Resilientes y Acción Climática.

Retomando los principios de la Agenda 2030, el Plan Nacional de Desarrollo (PND establece en el eje prioritario 2 la búsqueda del desarrollo sostenible incluyente a partir de una serie de programas, entre los que se destaca el Programa Sembrando Vida, el cual busca incentivar a los sujetos agrarios a establecer sistemas productivos agroforestales combinando la producción de cultivos tradicionales con árboles frutales y maderables, de igual forma, se busca la adopción del sistema Milpa intercalada, el fin es la autosuficiencia alimentaria (Gobierno de México, 2019, pp. 47-48).

**Figura 1.4.** Alineación de Instrumentos de Planeación para la gestión de suelos agropecuarios



**FUENTE:** Elaboración propia con base a partir de los ODS (ONU, 2018), la CLD (ONU, 2012), el PND (Gobierno de México, 2019), el PSADR (SADER, 2020), y la ENASAS (SADER, 2023).

En materia de suelos, se destaca en este plan el eje 3, que habla acerca del Desarrollo Económico, puntualmente, en la dimensión de *Autosuficiencia Alimentaria y Rescate del Campo* se aborda el rompimiento del círculo vicioso establecido por la relegación del campo y el favorecimiento de la agroindustria. En este aspecto, se han emprendido diferentes programas que buscan atender esta dimensión, dentro de los que se destacan (Gobierno de México, 2019, pp. 65-68):

- ❖ **Producción para el Bienestar:** Está orientado a mejorar la producción de pequeña y media escala. Esto a partir de apoyos productivos que impulsan entre los productores prácticas agroecológicas sustentables, la conservación del suelo, agua y agro diversidad.
- ❖ **Distribución de fertilizantes químicos y biológicos:** Se busca implementar un programa de entrega de fertilizantes que no dañen los suelos y que asimismo sea en beneficio de los productores agrícolas.

Por parte de la SADER se tiene el Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural que, en materia de suelos, se destaca el Objetivo 3, que busca incidir en la producción de

sostenible del sector agropecuario frente a los riesgos agroclimáticos a partir del incremento de buenas prácticas. Particularmente, se puntualizan las estrategias (SADER, 2020):

- 3.1. Instrumentar una política de uso, conservación y recuperación del suelo y aguas agrícolas para la sustentabilidad de recursos naturales.
- 3.2 Promover acciones de adaptación y mitigación al cambio climático para el manejo integral de riesgos.

Basado en lo anterior, se sustenta la creación de la Estrategia Nacional de Suelos para la Agricultura Sustentable (ENASAS) que, a partir de 7 ejes, se establecen los elementos necesarios que contribuyan a la gestión sustentable de suelos. No obstante, no se abordan de manera específica las acciones pertinentes que deben de emprender las Entidades Federativas para contribuir en este sentido, por ello, la importancia de este trabajo.

## **1.4 BASES TEÓRICAS**

### **1.4.1 Teoría General de Sistemas**

La vida en sociedad se organiza en sistemas complejos, los cuales tratan de organizar la realidad a la que el humano se somete. Algunos son construcciones del hombre y otras son de la propia naturaleza. Los problemas de la humanidad, en concreto los ambientales, han adquirido especial importancia al afectar de manera puntual la vida social y política, por ello para comprenderlos hay que aplicar sistemas.

La complejidad, se debe principalmente al gran número de interacciones entre los subsistemas implícitos en el sistema. Cuando se concibe al sistema bajo la complejidad de este, es necesario un análisis holístico de los elementos e interacciones que en el subyacen, a fin de optimizarlo. Esto se logra a partir del modelamiento de subsistemas, tomando como referencia los planteamientos de la Teoría General de Sistemas.

La Teoría General de Sistemas fue acuñada en 1954 por Ludwig Von Bertalanffy. Bertalanffy consolidó la idea de sistema como:

***“Un complejo de componentes en interacción total”.***

De igual manera, puede considerarse al sistema como “...la conjunción entre diferentes elementos que se relacionan entre sí para el cumplimiento de un fin determinado...”

(Cardona, 2017, p. 9). Estas relaciones generan cambios en uno o en varios de los elementos, de manera que inciden en el resto y al sistema en su totalidad. Bajo estas afirmaciones, los organismos, los objetos, o los fenómenos pueden estudiarse como un sistema, a esto se le llama “*enfoque de sistemas*”.

Para considerar un fenómeno como sistema es necesario que cumplan con tres características fundamentales:

- Deben de estar definidos los elementos que lo componen.
- Las relaciones entre esos elementos.
- Los límites del propio sistema, esto implica fundamentalmente definir los subsistemas que conforman al sistema.

Los problemas ambientales son resultado de la interacción entre factores físicos, objeto de estudio de ciencias como la biología, la geología, la física y la química; y de factores humanos. Dada la complejidad del estudio de estos problemas, es necesario aplicar el enfoque de sistemas, pues este permite (Van Gigch, 1987, p. 19):

- Definir problemas a partir de la identificación de sistemas y subsistemas componentes.
- Determinar las condiciones o conductas actuales del sistema.
- Comparar las condiciones reales y esperadas del sistema a fin de determinar el grado de desviación.
- Conjeturar las razones de la desviación de acuerdo con los límites de los subsistemas que lo componen, y con ello;
- Sacar conclusiones de hechos conocidos mediante el proceso de deducción y desintegrar el problema en subproblemas mediante la reducción.

#### **1.4.2 Economía ecológica**

La Economía Ecológica es una corriente de pensamiento económico que tiene un carácter interdisciplinario, pues busca definir la relación entre los ecosistemas y el sistema económico. Esta se consolida durante los años 70 derivada de la respuesta a la crisis ambiental, cuyo objetivo es construir un marco teórico más robusto de la economía neoclásica ambiental, así como realizar una crítica a la teoría neoclásica-keynesiana.

El principal antecedente teórico que tiene la Economía Ecológica (EE) es la fisiocracia, escuela del pensamiento francés del siglo XVIII que reconoce el papel fundamental de la tierra como único proveedor de productos netos, en este sentido, la prosperidad de la humanidad se encuentra ligada al mayor producto neto posible.

Bajo los preceptos anteriores, la naturaleza, era una de las grandes fuentes de valor, junto con el trabajo (Gómez, 1980, pp. 45-57). Que la naturaleza tenga un valor en sí misma es uno de los preceptos de la Economía Ecológica.

La Economía Ecológica, surge como forma de crítica ante la economía neoclásica-keynesiana que concibe a la actividad económica como un sistema cerrado y que a su vez considera el crecimiento económico como ilimitado a partir de patrones de consumo que soslayan a la naturaleza.

A partir de la EE, se han generado replanteamientos teóricos que consideren que en la relación sociedad-naturaleza incorporan los elementos ecológicos, biofísicos y sociales por encima de aquellos basados en el consumo irracional capitalista.

La EE estudia la interacción entre los sistemas ecológicos y sistemas económicos, esto a partir de aspectos conceptuales y metodológicos que permiten explicar el impacto de las actividades humanas en el entorno. En este orden de ideas, se propone que el sistema económico no es más que un subsistema de un ecosistema físico, global y finito, y que, partiendo de los preceptos de la Teoría General de Sistemas, se interrelaciona con el sistema ecológico (Carmenza, 2007; Foladori, 2007).

Estos dos sistemas, el ecológico y el económico exhiben por tanto características de sistemas vivos, que bajo las miras reduccionistas de la ciencia clásica no pueden ser bien comprendidos. De ahí que emerge el concepto de complejidad, para explicar el comportamiento no lineal de los sistemas y características como incertidumbre (Carmenza, 2007; Foladori, 2007).

Dentro de los principales precursores de la EE se encuentran Boulding, Daly, Georgescu-Roegen y los ecologistas, Holling y Odum. Estos autores jugaron un papel importante en el desarrollo del pensamiento de la EE (Carmenza, 2007; Foladori, 2007).

Los aportes de los teóricos de la EE han sido (Carmenza, 2007; Foladori, 2007):

- Patrick Geddes, Podolinsky y Popper-Lynkiewics fueron de los primeros autores que consideraron la visión biofísica de la economía como un sistema de jerarquía menor enclavado en uno mayor, y que se encontraba sujeto a las leyes de la termodinámica.
- Frederick Soddy, premio Nobel de Química, estableció las relaciones entre energía y economía que hizo frente a la idea económica convencional de que la energía fósil se degrada y genera riqueza con la afirmación que es imposible degradar un flujo de energía y considerar que se ha aumentado la riqueza física.
- K.E. Bulding a partir de la metáfora del planeta como una nave espacial consideró que esta tiene energía externa, la solar y que a su vez tiene fuentes de energía interna pero que está limitada a la existencia, por ello, al disminuir las existencias, también la esperanza de vida lo hará, por ello se hace fundamental el reciclaje.
- Georgescu-Roegen incorporó conceptos biofísicos, las leyes de conservación de la masa y la energía, al igual que la ley de la entropía al análisis de economía. Con ello desvaneció la idea del flujo circular del valor de intercambio, demostrando que la energía y la materia no son regenerables de manera continua y perpetua.

De igual manera, plantea la idea de la imposibilidad de la sustitución del capital natural por el capital tecnológico. El 1971, en su obra "*The entropy law and economic process*" establece que la materia es una limitante mayor para los procesos económicos que la misma energía, tomando en cuenta que la materia no se recicla perfectamente y que el proceso degradativo de la materia es irreversible.

En este sentido, sus planteamientos llevan a comprender que la **Ley de Entropía** determina la **Ley de la Escasez** y verdadero valor en los procesos económicos.

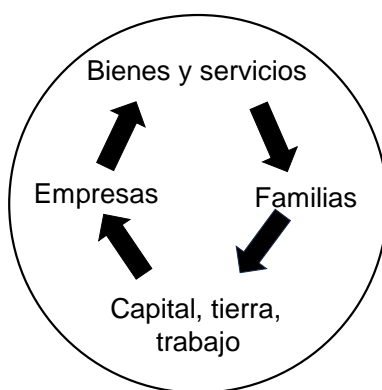
- Daly, en los 70's propone la idea del **estado estacionario de la economía** la que de manera general establece la necesidad de disminuir el uso de materiales y energía.
- Holling, el ecologista con la influencia más directa a la EE propone las ideas de estabilidad y resiliencia.
- Odum, ecólogo, propone que la energía solar constituye la fuente de energía básica para los procesos y funciones ecosistémicas. Odum también propone el método de estudio integrado de las interacciones economía-ecología a partir de escalas locales y globales.

Otros economistas, no menos relevantes fueron René Passet e Ignacio Sachs, este último propuso la idea de **ecodesarrollo**. De manera paralela, Joan Martínez hace contribuciones

sobre los conflictos ecológicos distributivos e implanta la idea de *deuda ecológica* (Carmenza, 2007; Foladori, 2007).

Una de las principales ideas que se consolidan en la EE es la incompatibilidad de la Teoría Neoclásica con los límites reales de la natural. La visión neoclásica-keynesiana considera a la actividad económica es un sistema cerrado basado en el siguiente esquema:

**Figura 1.5.** Ciclo económico neoclásico-keynesiano



**FUENTE:** Tomado de Faladori (2007, p. 192).

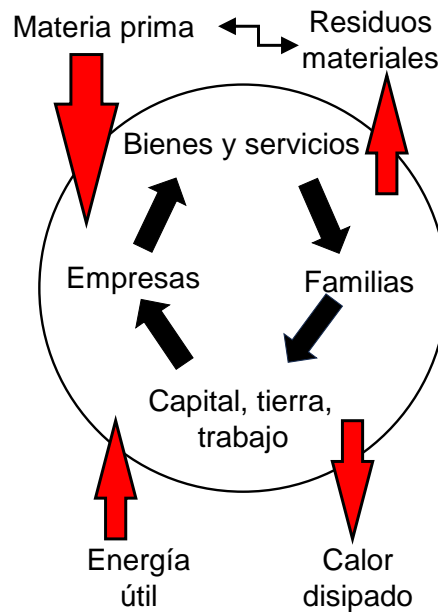
En este sentido, se plantea que las empresas producen bienes y servicios que son comprados por las familias, que estas a su vez ofrecen factores de producción que son comprados por las empresas (véase Figura 1.5). Este sistema es cerrado, por lo que no se consideran entradas ni salidas (Foladori, 2007).

De forma que, no se consideran los materiales generados por la naturaleza, ni se propone que el ciclo económico genera residuos. Y no resulta extraño que no sean considerados, pues estos no tienen precio en el mercado y, por tanto, están fuera del sistema (Foladori, 2007).

Diametralmente, la concepción de la EE considera que el sistema económico es abierto, pues recibe energía de fuera, tanto solar, como materiales, y de la misma forma disipa calor y lanza residuos al medio (véase Figura 1.6). La EE contempla que la crisis ecológica actual es de causa humana, pues el uso de los recursos naturales a un ritmo acelerado genera degradación de los ecosistemas por contaminación y sobreexplotación (Carmenza, 2007; Foladori, 2007).



**Figura 1.6.** Ciclo económico de la Economía Ecológica



**FUENTE:** Tomado de Foladori (2007, p. 193)

La visión del *homo economicus*, basada también en la economía neoclásica, determina una economía que debe de crecer sin límites para satisfacer las necesidades humanas, con ello, se ha subordinado al concepto de desarrollo con el de crecimiento, visto en las condiciones actuales del planeta (Carmenza, 2007; Foladori, 2007).

En este contexto los principales postulados de la EE son:

- **El sistema económico es un subsistema del ecosistema**, el cual al ser abierto este intercambia materia, energía e información de un ecosistema global.

Está sujeto a la ley y los límites que la naturaleza induce, por ello la economía no puede ser analizada por sí misma, sino que debe de partir de la interrelación con los ciclos biogeoquímicos (Carmenza, 2007; Foladori, 2007).

Bajo esta perspectiva, los ecosistemas no son solo una fuente de recursos para la producción y satisfacción de necesidades económicas, si no también cumplen varias funciones para el ser humano y los demás seres vivos (Carmenza, 2007; Foladori, 2007).

- **El sistema económico está sometido a las leyes de la materia y la energía**, así como la primera y la segunda Ley Termodinámica. Es decir, el proceso de producción implica disipación y degradación de la energía y por ello, al ser un sistema abierto existe la incorporación de material energético de alta calidad y baja entropía y retorna materia energética de baja calidad y alta entropía como resultado del sistema (Carmenza, 2007; Foladori, 2007).
- **Existe una concepción de tiempo**. En economía, el tiempo se rige bajo la circulación de capital y tasa de interés, y con ello, el tiempo responde al mercado. No obstante, los procesos ecológicos se someten al ritmo natural lo cual confiere que los procesos de presión sobre los ecosistemas tienen un ritmo inexorable e irreversible, y por tanto se crean desequilibrios, discontinuidades y cambios (Carmenza, 2007; Foladori, 2007).
- **Dualidad entre “sostenibilidad débil” y “sostenibilidad fuerte”**. La primera concebida desde la economía neoclásica, y asume que las funciones del patrimonio natural se pueden denominar *capital natural* y que se puede sustituir con el *capital fabricado*.  
La sostenibilidad fuerte, propuesta por Daly, menciona que requiere un mantenimiento de los niveles de capital natural para hacer posible la reproducción del capital físico. De igual manera, se reconoce que los recursos naturales son insumos del proceso de producción y se deben tomar en cuenta características como incertidumbre sobre los impactos dados por la intervención en los ecosistemas (Carmenza, 2007; Foladori, 2007).

No cabe duda de que es necesario retomar los preceptos de la EE, considerando principalmente, que no solo la naturaleza debe satisfacer las necesidades utilitaristas que como seres humanos se han priorizado, sino que también el proceso de degradación ambiental determina efectos adversos en el sistema social y los demás sistemas que comprende el ecosistema.

El modo de producción capitalista actual ha generado estragos irreparables en la Tierra, muestra de ello es (Soto, 2020):

- Cada año se producen 380 millones de toneladas de plásticos las cuales, 12.7 termina en los océanos y afectan a más de 700 especies diferentes.

- El consumo de plásticos ha contribuido a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, desde la extracción, fabricación, transporte y disposición final. Al convertirse en residuos emiten metano y etileno.
- La ganadería contribuye al 60% de las emisiones de GEI, y contribuyen al cambio climático y la pérdida de biodiversidad.
- El sistema alimentario produce el 80% de la deforestación.
- El consumo de pescado produce una presión en los stocks pesqueros.
- La industria de la tecnología tiene obsolescencia programada que promueve el reemplazo de productos en vez de optar por repararlos. En México, cada habitante genera alrededor de 3.2 kg en promedio de estos residuos, de las cuales solo el 17% se recicla.
- La industria del vestido produce 8% de las emisiones de gases de efecto invernadero, y daña de manera importante los cuerpos de agua.

Por ello, es necesaria la reestructuración económica a partir de medidas que reestablezcan la estabilidad del ecosistema que soportan y a su vez limitan al sistema económico. Economistas ecológicos han propuesto las siguientes acciones (Carmenza, 2007; Foladori, 2007):

- Fin de la era de las energías no renovables a partir de la transición a energía solar e hidroeléctrica.
- Transición a la economía circular que permita la reducción de desperdicios.
- Cambiar hacia tecnologías de baja intensidad de emisiones.
- Poner fin a la explotación de minas de oro y minerales.
- Imponer impuestos sobre vertederos, eliminar subvenciones a actividades y sectores perjudiciales al ambiente, establecer impuestos sobre combustibles fósiles y deforestación y promover subvenciones para incentivar actividades conservación.
- Aumentar la productividad sostenible del suelo.
- Aumentar eficiencia del agua.
- Proteger los bienes y servicios ambientales de bosques.
- Desarrollar sistemas de transporte público eficiente.

Estas son solo algunas, pero que son muestra indiscutible que los ecosistemas y su mantenimiento deben de ser elementos para considerar dentro de la generación de políticas

públicas, pues los cambios producidos en el sistema ecológico afectan de manera profunda al sistema social y viceversa.

### **1.4.3 Conceptos básicos del suelo**

#### ***1.4.3.1 Suelo***

El suelo se define como la capa superficial de la Tierra, resultado de la interacción de la diversidad de rocas con elementos como el agua, el clima y la biota. El suelo se constituye como el sistema vital de la más alta importancia, pues es la base para la producción alimentaria (López, 2002, p. 2).

El óptimo funcionamiento del suelo está interrelacionado directamente con el bienestar de las comunidades humanas, el clima y la biodiversidad. Cabe recalcar, que, dentro de la multifuncionalidad del suelo, no solo se encuentra la provisión de alimentos, sino también, la de fibras y combustibles, regulación climática, mantenimiento de la biodiversidad, etc. (Hussain et al., 2021, pp. 335-337).

#### ***1.4.3.2 Servicios ecosistémicos del suelo***

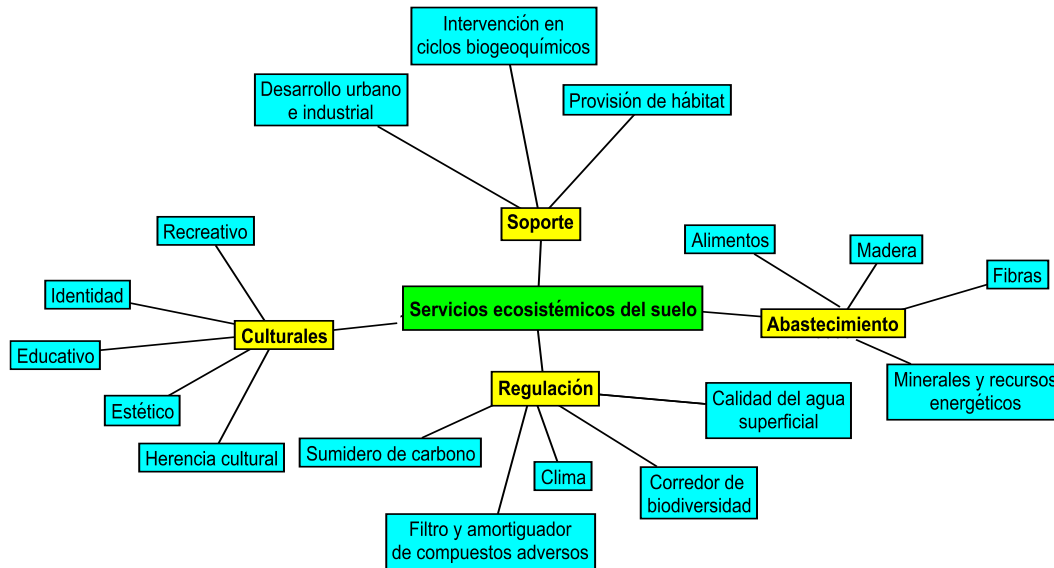
El ecosistema es la unidad funcional básica de la naturaleza, en donde interactúan componentes de carácter biótico (hábese de organismos vivos) y abiótico (agua, aire, suelo, etc.). Cuando se habla de servicios ecosistémicos, se abarcan todos los beneficios que obtienen las comunidades humanas de los ecosistemas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

En estricto sentido, se pueden destacar cuatro tipologías de servicios (Camacho-Valdez y Ruiz-Luna, 2012, pp. 8-9):

- 1. Servicios de soporte.** Son los que coadyuvan a la producción de otros servicios, como, por ejemplo: la polinización, el ciclo del agua, etc.
- 2. Servicios de abastecimiento.** Hace referencia a los bienes y servicios para consumo humano, desde alimento hasta materia prima.

3. **Servicios de regulación.** Hace referencia a la capacidad de los ecosistemas para regular procesos ecológicos esenciales y sostener sistemas vitales mediante los ciclos biogeoquímicos<sup>6</sup>.
4. **Servicios culturales.** Los ecosistemas proporcionan funciones que contribuyen al enriquecimiento espiritual, desarrollo cognitivo, y experiencias de recreación.

**Figura 1.7.** Servicios ecosistémicos del suelo



**FUENTE:** Elaboración propia con base en Camacho-Valdez y Ruiz-Luna (2012, pp. 8-12) y Montico et al. (2021, p. 6).

En la Figura 1.7, se observan los servicios que ofrece el suelo y que permiten el equilibrio del ecosistema y el mantenimiento de la vida humana a partir de la provisión de alimentos y materias extraídas que pueden transformarse en productos para el funcionamiento del mercado.

---

<sup>6</sup> Son procesos que garantizan el reciclado de los elementos que son de suma importancia para la vida humana y de los demás seres. Entre estos se encuentran el ciclo del agua, del carbono, del nitrógeno, etc. (A. Rodríguez, 2021).

### ***1.4.3.3 Uso del suelo***

En el campo del urbanismo, el uso del suelo hace referencia a la ocupación de los predios para un fin que satisfaga las necesidades de carácter urbano. En este caso, el uso del suelo puede ser habitacional, industrial, comercial, recreativo y de circulación (Ducci, 2012).

Para el caso de la ecología, el uso del suelo está estrechamente relacionado con las funciones que este provee, de tal forma que, este se define como la utilización simultánea tanto espacial como temporalmente de las funciones que ofrece el suelo (López, 2002, p. 6). Bajo esta coyuntura existen 2 tipos de uso del suelo, los ecológicos y los socioeconómicos.

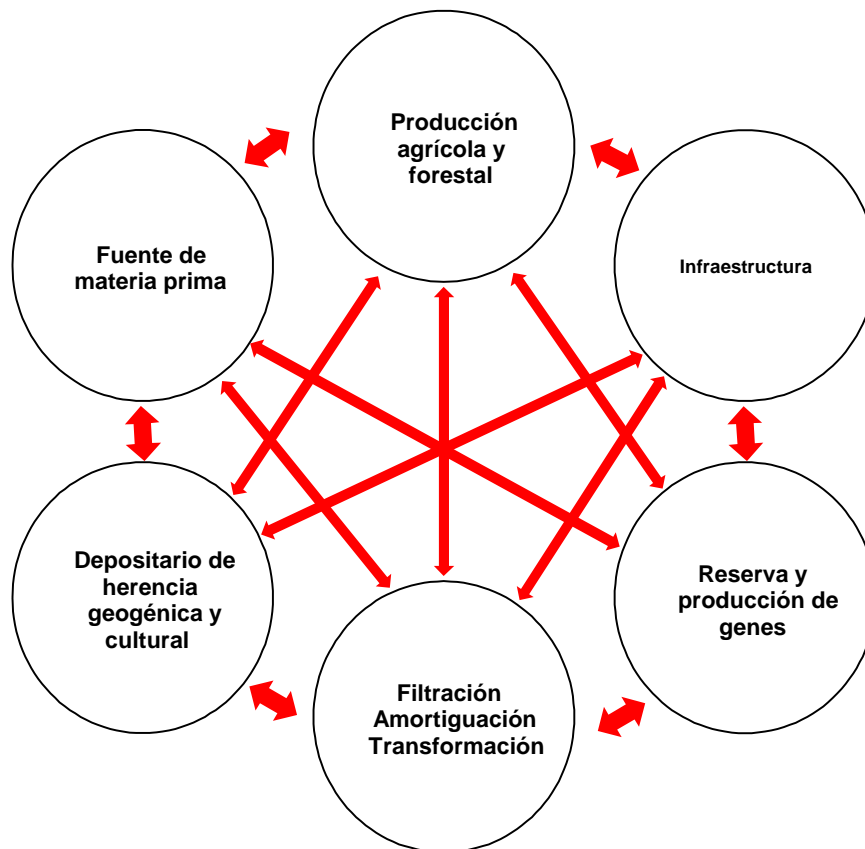
Dentro de los ecológicos se encuentran:

- Producción de biomasa, lo que permite la producción de alimentos, forraje, materia prima, etc.
- El suelo como filtro, amortiguador y transformador de compuestos entre atmósfera, agua y raíces.
- Suelo como hábitat ecológico, lo que permite la reserva de genes y con ello la biodiversidad.

En los socioeconómicos se encuentran:

- Suelo como base para el desarrollo de estructuras técnicas, industriales, sociales, como desarrollos urbanos, vialidades, aeropuertos, etc.
- Suelo como almacén energético, materias primas y agua.
- Suelo como patrimonio geogénico y cultural.

**Figura 1.8.** Los seis principales uso del suelo y la competencia entre ellos



**FUENTE:** Tomado de (López, 2002, p. 7).

La Figura 1.8 muestra los seis principales usos del suelo. Esta figura muestra la competencia e interacción entre ellos. Dicha competencia puede explicar la degradación del suelo, bajo el argumento de que (López, 2002, p. 6):

***“El uso excesivo de una función del suelo o varias funciones de este al costo y riesgo de otras”.***

Blum (2006, como se citó en López, 2002, pp. 6-9) menciona que la competencia e interacción entre los seis usos del suelo pueden distinguirse como:

Competencia exclusiva entre el uso para desarrollo de infraestructura y suelo como fuente de materia prima o como patrimonio cultural frente a la producción agrícola, actividades de filtración, amortiguación y reserva de genes.

- Interacciones intensivas entre los usos que implican el desarrollo de infraestructuras por un lado y actividades agrícolas, forestal, y funciones de regulación por el otro. Esto ocurre cuando existen zonas agrícolas periurbanas que buscan satisfacer las demandas urbanas.
- Competencia intensa entre los tres usos ecológicos, v.g. la actividad agrícola influencia la calidad y cantidad de agua derivado de las prácticas y manejo agronómico.

En este sentido, se plantea que para combatir la degradación del suelo se debe buscar una armonización de los seis usos del suelo, minimizando los usos de un solo tipo que sobre todo son irreversibles (urbanización).

#### ***1.4.3.4 Degradación del suelo.***

Son los procesos desencadenados por actividades humanas que reducen la capacidad del suelo para sostener a los ecosistemas, evidenciados en la reducción de la capacidad productiva del suelo (López, 2002; SEMARNAT, 2002).

Cabe destacar que la degradación del suelo se retroalimenta de la alteración en las condiciones micro y macro climática, generado en gran parte de las emisiones de gases de efecto invernadero. Con ello se conjetura (López, 2002):

***“La variación de los parámetros climáticos altera la capacidad productiva del suelo”***

De igual manera, uno de los elementos de la degradación del suelo es la degradación del agua, efecto también de un mal manejo del suelo. Esto afirma que (López, 2002):

***“El descenso en la cantidad y calidad del agua altera la capacidad productiva del suelo”***

La pérdida de tierras por el cambio de uso del suelo para el desarrollo urbano e industrial, por ello:

***“El desarrollo urbano desplaza la cobertura vegetal, y con ello genera degradación del suelo”***

En este sentido, hablar de la degradación del suelo es hacer énfasis en estos procesos:



- El declive de la capacidad productiva del suelo derivada de un mal manejo.
- La variación de los parámetros climáticos que producen sequías, inundaciones y heladas, elemento que se correlaciona con:
  - La degradación del agua.
  - El desplazamiento de la cobertura vegetal por el desarrollo urbano.

#### ***1.4.3.5 Causas de la degradación del suelo***

El suelo es susceptible de recibir impactos que se expresan en degradación del suelo e incluso en la pérdida de este. Esto reflejado en tres dimensiones (López, 2002):

- Ocupación.
- Contaminación.
- Sobreexplotación.

##### ***1.4.3.5.1 Ocupación***

Generado por cualquier actividad que tome e invalide las funciones primarias del suelo. Los ejemplos más representativos son la urbanización, localización de polígonos industriales, vialidades.

- Los efectos inducidos por la ocupación:
  - Modificación del drenaje del suelo por cimentaciones, impermeabilización.
  - Alteración topográfica y del relieve.

De igual manera, en esta dimensión se incluye la minería, la extracción de petróleo, gas natural, gases, y agua subterránea.

##### ***1.4.3.5.2 Contaminación***

En palabras de Encinas (2011) se define como "... la presencia en el aire, agua o suelo de sustancias o formas de energía no deseables en concentraciones que afectan el confort, salud y bienestar de las personas..." (p. 3). Si bien esta definición implica una afectación directa a la población, López (2002) añade que la contaminación tiene un efecto directo en la capacidad y salud del ambiente, principalmente en los elementos primarios; agua, aire y

suelo. En términos de suelo, las fuentes de contaminación pueden establecerse en dos: las aportaciones directas y, las aportaciones indirectas por desechos en el aire y en el agua.

En esencia, las principales fuentes de contaminación del suelo se generan en tres actividades: agrícola, urbana e industrial (López, 2002, pp. 11-12). No obstante, en este trabajo, se retoma únicamente la contaminación derivada de la actividad agrícola, pues se parte de que a mayor contaminación agrícola existe una mayor degradación del suelo.

→ ***Contaminación derivada de la actividad agrícola:*** La producción agrícola representa una interacción entre las propiedades del suelo y los factores meteorológicos; sistemas de siembra y labranza; uso de agroquímicos; irrigación, y; métodos de cosecha y disposición de residuos (López, 2002, p. 12).

Los sistemas de producción agrícola implican la mezcla de diferentes insumos que permiten mejorar el rendimiento de los cultivos, no obstante, estos, en sinergia con la mala disposición de residuos, así como el uso de agua residual para riego, pueden impactar directamente en las propiedades de la tierra (López, 2002; Encinas, 2011).

Los impactos generados por cada elemento se describen a continuación:

- **Uso de fertilizantes:** La utilización de fertilizantes inorgánicos en cantidades excesivas provocan un desbalance en los nutrientes y en la microfauna del suelo que impacta en su capacidad futura de producción. Asimismo, la aplicación de fertilizantes contamina los mantos freáticos (eutrofización) (Cabriales et al., 2002; López, 2002).
- **Fungicidas:** El pesticida que se incorpora al suelo deja un residuo en la capa superficial del terreno, lo que maximiza la posibilidad de un efecto tóxico, es decir, es probable que se impida el normal crecimiento o desarrollo de uno o más tipos de plantas en el suelo (López, 2002; Romero, 1970; Ronco Campaña, 2018)
- **Desechos de origen animal:** se refieren a los producidos por el ganado ya sea mayor (bovinos, porcinos, avícolas) y menores (ovejas, cabras, callos, conejos, etc. Con el ganado mayor, dada su numerosidad, se vinculan a problemas de manejo y utilización de los desechos. El estiércol, principalmente bovino, es uno de los mayores desechos en los agroecosistemas y se vinculan directamente a la producción

de nitratos y otros elementos que deterioran la calidad del agua y el suelo. (López, 2002; Rodríguez, 2002).

#### *1.4.3.5.3 Sobreexplotación*

Actualmente, derivado del proceso de urbanización, el área per cápita destinada a la producción ha disminuido, lo que implica una mayor explotación en la superficie para obtener alimentos suficientes para satisfacer la demanda, no obstante, el uso de la tierra con poca aptitud trae consecuencias, tal como la degradación (López, 2002, p. 42).

La sobreexplotación de la tierra es causante de los procesos de degradación, y tiene que ver con prácticas insostenibles como (López, 2002, pp. 42-44):

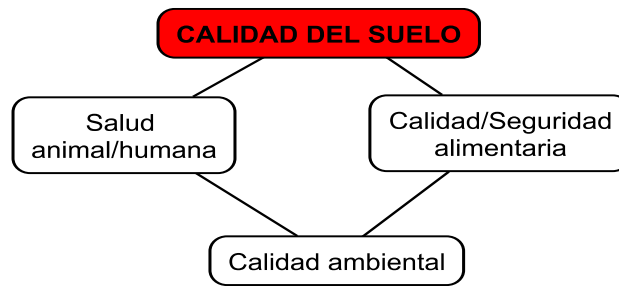
- Agricultura intensiva, muchas veces incompatible con las características propias de la tierra (monocultivos y cultivos no aptos).
- Técnicas de labranza que incluye maquinaria, la intensidad de labranza y la quema del suelo.
- Monocultivos y nula protección del suelo ante agentes erosivos, además de ausencia de prácticas de conservación.
- Sobrecarga de ganado, y con ello, sobrepastoreo y pisoteo excesivo.
- Explotación forestal abusiva, que implica la deforestación y la compactación del suelo por el uso de máquinas.

#### *1.4.3.6 Calidad del suelo*

Este concepto se constituye como la antítesis de la degradación. Parr et al. (1992) la define como la capacidad del suelo para funcionar en relación con la demanda de uso, como lo es la producción de biomasa, manteniendo la resiliencia ante eventos perturbadores. Es decir, este concepto hace énfasis en la capacidad del suelo de producir cultivos sanos y nutritivos que permite la salud animal y humana, sin perjudicar la base de los recursos (principalmente agua y suelo) ni el ambiente (Parr et al., 1992, p. 6).

En este epígrafe, al concepto de calidad del suelo se le atribuye la seguridad alimentaria, la calidad ambiental y la salud tanto animal como vegetal, tal como se observa en la Figura 1.9.

**Figura 1.9.** Atributos de la Calidad del Suelo



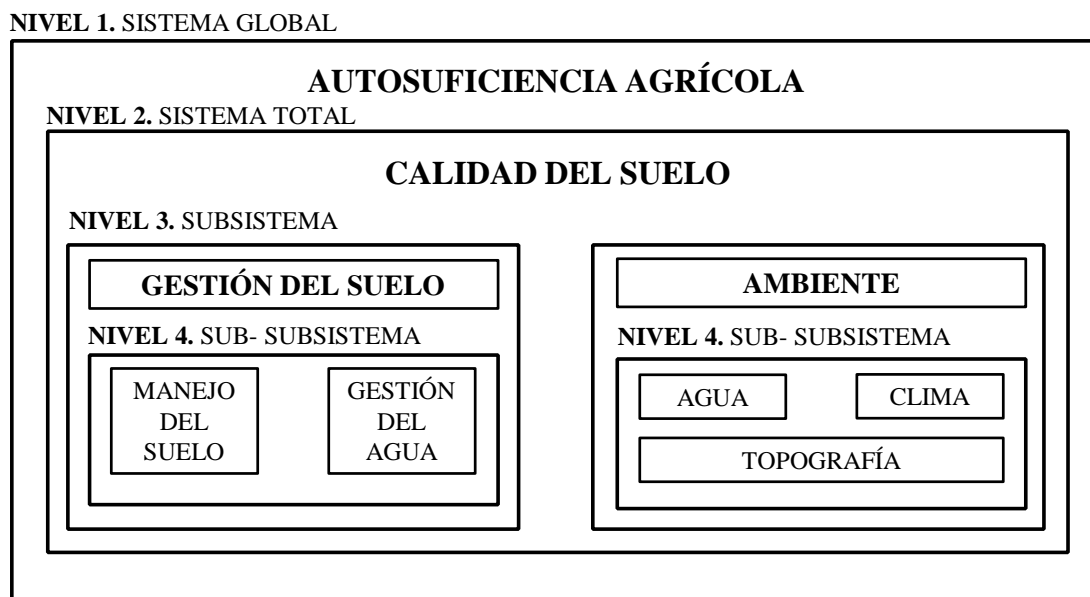
**FUENTE:** Adaptado de Parr et al. (1992, p. 6).

Lal (1998, como se citó en López, 2002) hace referencia a que la calidad del suelo se encuentra en función de las propiedades inherentes del suelo, clima, uso y manejo del suelo, y que, por tanto, perturbaciones en alguno de estos factores pueden ser los desencadenantes del proceso de degradación. Este autor, hace énfasis en que la causa principal de dichas perturbaciones son los factores sociales como la presión poblacional o la pobreza, que involucra una mayor presión sobre el suelo, reflejado en el manejo agrícola (López, 2002).

#### **1.4.4 El enfoque de sistemas aplicado a la calidad/degradación del suelo**

Partiendo del sustento teórico analizado con anterioridad, y tomando como referencia que para delimitar un problema ambiental es necesario determinar los sistemas y subsistemas que en él tienen injerencia el sistema de calidad del suelo se ve de la siguiente manera:

**Figura 1.10.** La calidad del suelo como sistema



FUENTE: Elaboración propia con base en Van Gigch, (1987).

El Sistema *“Calidad del suelo”*, se conforma de dos subsistemas: “Gestión del suelo” y “Ambiente”.

- El subsistema denominado “Gestión del suelo” se constituye de otros subsistemas que hace referencia a las prácticas del manejo del suelo y gestión hídrica.
- El subsistema “Ambiente” hace referencia a los factores externos al ser humano pero que determinan la calidad del suelo, como lo son parámetros climáticos y características topográficas.

La *“Calidad del suelo”*, hace referencia a la capacidad del suelo para producir bienes y servicios ambientales, haciendo principal énfasis a la producción de alimentos, así como, el mantenimiento de la salud humana y animal. Esta es el resultado de la interacción de factores climáticos y la propia gestión del suelo (López, 2002).

Cuando un territorio tiene una baja *“Calidad del suelo”* o una alta *“Degradación del suelo”* limita la capacidad para generar alimentos y asegurar la disposición de agua suficiente, lo que genera problemas como la inseguridad alimentaria, migraciones e inestabilidad política.

De manera paralela, un territorio con alta *“Calidad del suelo”* o una baja *“Degradación del suelo”* es capaz de asegurar la suplencia alimentaria, tiene una alta disposición de recursos

hídricos y con ello, una menor vulnerabilidad social, lo que permite una alta calidad de vida. La calidad del suelo depende de subsistemas (topografía, precipitación, temperatura) que del subsistema “Ambiente” que interactúan directamente con el subsistema “Gestión del suelo” donde se parte del supuesto que, entre peores características ambientales, se hace un uso más agresivo del suelo.

En este epígrafe, el sistema total “*Calidad del suelo*” requiere del buen funcionamiento de los subsistemas “Gestión del suelo” y “Ambiente”, si no se cuenta con alguno de los subsistemas presentes en estos, se produce “*Degradación del suelo*” y con ello se genera menor productividad alimentaria y menor disposición de recursos hídricos que a su vez produce problemas sociales: inseguridad alimentaria, aceleración del cambio climático, pobreza, etc.

## **1.5 ELEMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1 Justificación**

Los estudios revisados apuntan a que el territorio nacional se encuentra afectado por la degradación del suelo, y, por tanto, se conjetura que el acceso a alimentos asequibles, suficientes y de buena calidad, respirar un aire limpio, tener agua suficiente, y tener un clima estable, entre otros, será cada vez más complicado, lo que incrementará la vulnerabilidad de la población. Con base en lo anterior, se necesita desarrollar un modelo probabilístico que permita determinar los elementos más significativos para establecer acciones que abonen a la mitigación de la degradación del suelo.

### **1.5.2 Objetivo general**

Predecir la degradación del suelo en México, tomando como referencia las condiciones climáticas y la actividad agropecuaria en 2022.

### **1.5.3 Objetivos específicos**

- Identificar las variables que inciden en la degradación del suelo.
- Determinar el grado de degradación del suelo agropecuario a partir de un modelo probabilístico.
- Interpretar los resultados emitidos por el modelo.

#### **1.5.4 Pregunta general**

¿Cuál es el grado de la degradación del suelo a partir de variables climáticas (precipitación media anual y temperatura media) y variables referentes a la actividad agropecuaria en México al año 2022?

#### **1.5.5 Preguntas específicas**

- ¿Cuáles son las variables que explican la degradación del suelo?
- ¿Cuál es el grado de degradación del suelo que han alcanzado las entidades federativas en México?
- ¿Cuáles serían las acciones específicas que deben tomar las entidades federativas para mitigar la degradación del suelo?

#### **1.5.6 Hipótesis**

*“A medida que se intensifica la actividad agropecuaria y se presentan eventos climáticos mayor será la degradación del suelo”.*

#### **1.5.7 Alcances de la investigación.**

- Tipificación del grado de degradación del suelo en México.
- Identificación de las variables que inciden en la degradación del suelo en México.
- Establecer las recomendaciones para mitigar la degradación del suelo en México.

#### **1.5.8 Limitaciones de la investigación**

- La falta de información en referencia a las variables que intervienen en el fenómeno de estudio.
- La construcción de un modelo matemático o estadístico es una representación simplificada del fenómeno de estudio, por lo que existe probabilidad de márgenes de error que limiten algunos resultados del contexto del fenómeno.

### **1.6 CONCLUSIONES**

De manera general, en este capítulo se hizo énfasis en cómo se ha desarrollado el fenómeno a lo largo del tiempo, específicamente en el contexto mexicano. En este epígrafe se destaca que el fenómeno de la degradación del suelo es complejo, pues es el resultado de diversas interacciones derivadas de la actividad agrícola, la urbanización y la industria extractiva.

Para el caso de México, se puede observar que se han desencadenado diversos procesos de degradación, como lo es la degradación hídrica y la erosión eólica derivado de la actividad agrícola, lo que ha localizado al país como uno de los más degradados en comparación de los de la OCDE, así como el más degradado si se compara con Latinoamérica,

Bajo este contexto y derivado del impacto del problema a nivel mundial se han realizado diversos ejercicios que ha consolidado agendas de intervención haciendo especial énfasis en este problema, tal como la Agenda 2030, la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y más recientemente, la Declaración de los Emiratos Árabes Unidos sobre Agricultura Sostenible, Sistemas Alimentarios Resilientes y Acción Climática.

De igual forma, a nivel nacional existen diversos instrumentos que permiten construir el marco jurídico, y con ello establecer acciones que permitan mitigar este fenómeno, desde la Constitución del país y las diversas leyes que de ella emanan tal como la de Planeación, la de Protección del Ambiente y sobre todas, la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, que permite esquematizar el Sistema Nacional de Planeación para el Desarrollo Rural y de esta manera identificar los principales actores que intervienen, así como los instrumentos de planificación (programas).

De este marco emana la Estrategia Nacional de Suelos para la Agricultura (ENASAS) que busca promover una gestión integral del suelo, no obstante, esta carece de focalización regional, por ello la importancia de este trabajo.

De igual manera, en este capítulo se abordaron los sustentos teóricos elementales que permiten construir el fenómeno de estudio, comenzando con la Teoría General de Sistemas, la cual parte de los preceptos de que un fenómeno es un sistema, es decir un conjunto de elementos que interactúan entre sí y que proveen un resultado, base para el modelamiento matemático. Estos fundamentos se retoman en la Economía Ecológica, que tal como la TGS, se hace énfasis en que los problemas ambientales son el resultado de la interacción entre el sistema social y el sistema ambiental.

Finalmente, se retoman los conceptos esenciales que permiten concebir el problema, en este caso la degradación del suelo, retomando que este es el resultado de la actividad agrícola y la interacción entre los elementos climáticos y físicos. Bajo esta afirmación se construyeron los elementos conductores de esta investigación, en específico la hipótesis, la cual enuncia



que: *“A medida que se intensifica la actividad agropecuaria y se presentan eventos climáticos mayor será la degradación del suelo”*. La cual es la principal conclusión de este capítulo.

# **CAPÍTULO II.**

## **REDUCCIÓN DE LA DIMENSIÓN Y ANÁLISIS CLÚSTER**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se retoman las técnicas de reducción de dimensiones, así como el análisis clúster. La primera permite reducir un conjunto de variables para explicar un fenómeno complejo con la menor pérdida de información. El análisis clúster permite crear grupos homogéneos a partir de variables, con lo que se pueden analizar semejanzas y características comunes.

### **2.2 ¿QUÉ ES LA REDUCCIÓN DE LA DIMENSIÓN?**

La reducción de la dimensión consiste identificar las técnicas que permiten minimizar el espacio conformado por un conjunto de datos. El objetivo es resumir y visualizar la información más relevante a partir de un número más pequeño de variables que pueden explicar la mayor parte de la variabilidad de dicho conjunto (Elnér, 2016).

Estas técnicas son vitales en el campo de la ciencia de datos, por un espacio reducido de dimensiones que permite optimizar el rendimiento de algoritmos predictivos (Ayala, 2020).

#### **2.2.1 Análisis Factorial**

Este modelo permite expresar  $X$  variables observables como una combinación lineal de  $F$  variables latentes, denominadas factores (Elnér, 2016). El objetivo es resumir la información de variables altamente correlacionadas en un conjunto de datos con la mínima pérdida de información (Elnér, 2016).

La reducción de datos se realiza mediante la matriz de correlación de las variables originales, a fin de observar los patrones de relación entre las variables para reducirlas en factores (Elnér, 2016):

$$(X_1, X_2, \dots, X_{p-1}, X_p) = (F_1, F_2, \dots, F_{p-1}, F_p) \quad (1)$$

↓

↓

**Correlacionadas                  No correlacionados**

Entre las diferencias que podemos encontrar con Análisis de Componentes Principales (ACP) y Análisis Factorial (AF) Son:

- Los componentes principales se basan en aspectos matemáticos como el álgebra lineal y el método de Lagrange, cuya estimación da como resultado nuevas variables que resumen relaciones lineales
- El AF es un proceso matemático-estadístico que busca variables ficticias que requiere de la inferencia estadística para su validación y aplicación, lo que lo convierte en un modelo estadístico formal.

La estructura del modelo factorial es:

$$X = BF + E \quad (2)$$

Donde:

X = Variables originales.

B = Coeficientes o pesos de los factores.

F = Factores comunes.

E = Factores específicos.

Tal que:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_1 & \dots & B_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{p1} & \dots & B_{pk} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_1 \\ \vdots \\ F_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} E_1 \\ \vdots \\ E_k \end{pmatrix}; \text{ tal que } k < p \quad (3)$$

Donde:

$$\text{Var}(X_{ij}) = 1$$

$$\text{Var}(x_{ij}) = \begin{pmatrix} B_1 & \dots & B_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{p1} & \dots & B_{pk} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_1 & \dots & B_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{p1} & \dots & B_{pk} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} E_1^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & E_p^2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Tal que:

$$\text{Var}(x_1) = B_{11}^2 + B_{12}^2 + \dots + B_{1k}^2 + \text{var}(E_1^2) = 1 \quad (5)$$

Donde:

**Cuadro 2.1.** Comunalidad y unicidad

|  |                    |   |
|--|--------------------|---|
| $B_{11}^2 + B_{12}^2 + \dots + B_{1k}^2$ | <b>Comunalidad</b> | Explica a los factores comunes y representa parte de la varianza de $x_i$ .         |
| $\text{Var}(E_1^2)$                      | <b>Unicidad</b>    | Explica a los factores específicos y representa una parte de la varianza de $x_i$ . |

**FUENTE:** Tomado de Guerrero (2024).

El ajuste del AF es mediante la comunalidad ( $C^2$ ), tal que  $0 \leq C^2 \leq 1$ :

$$C^2 = 1 - \text{var}(e_1^2), \text{ tal que } \lim_{e_1 \rightarrow 0} [\text{var}(e_1^2)] \quad (6)$$

**Cuadro 2.2.** Grado de ajuste del AF

|                  |                          |                   |                           |
|------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|
| <b>Excelente</b> | $0.76 \leq C^2 \leq 1$   | <b>Deficiente</b> | $0.25 \leq C^2 \leq 0.49$ |
| <b>Bueno</b>     | $0.50 \leq C^2 \leq 0.7$ | <b>Malo</b>       | $0 \leq C^2 \leq 0.24$    |

**FUENTE:** Tomado de Guerrero (2024).

Las propiedades de los factores son:

**Cuadro 2.3.** Propiedades de los factores

|                  |  |
|------------------|--|
| $E[FF^{-1}] = I$ | La matriz identidad es la matriz de varianza y covarianza de los factores comunes.   |
| $E[F] = 0$       | El valor esperado (esperanza matemática) de los factores comunes tiende a cero.      |
| $E[EE^{-1}] = 0$ | La correlación entre los factores comunes se aproxima a cero.                        |
| $E[FE^{-1}] = 0$ | Los factores tanto únicos como comunes tienen una covarianza que se aproxima a cero. |

**FUENTE:** Tomado de Guerrero (2024).

Un proceso fundamental en el AF es la rotación, pues es necesaria para la interpretación de los factores. La rotación se da a partir del cambio del eje original, alcanzando una distribución óptima de la varianza a fin de lograr un patrón de factores más simple e interpretables a nivel teórico el fenómeno de estudio (Chávez, 2017).

Existen dos tipologías de rotaciones (Elner, 2016):

- Oblicuas: Eliminan la propiedad de interdependencia de los factores.
- Ortogonales: Estas mantienen la propiedad de interdependencia, lo que las convierte en las más utilizadas.

Dentro de las ortogonales tenemos:

**Cuadro 2.4.** Tipos de rotación ortogonales

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>Varimax</b>   | Algoritmo que minimiza el número de variables que tienen altas saturaciones en cada factor.   |
| <b>Quartimax</b> | Minimiza el número de factores necesarios para explicar el conjunto de variables.   |
| <b>Equamax</b>   | Combinación entre varimax y quartimax que minimiza tanto el número de variables con alta saturación en un factor, así como el número de factores necesarios para explicar una variable. |

**FUENTE:** Elaboración propia con base en Chávez (2017) y Elner (2016).

Los supuestos que debe cumplir el AF son:

**Cuadro 2.5.** Supuestos del AF

|   |  |  |
|---|--|--|
| 1 | El total de factores “n” son necesarios para predecir el modelo. |  |
| 2 | $F_i = N (\mu, \sigma^2)$  | Las puntuaciones factoriales se acercan a una distribución normal. |
| 3 | $E(F_i) = 0$   | El valor esperado de cada factor debe aproximarse a cero.          |
| 4 | $Var (F_i) = 1$  | La varianza de cada factor debe aproximarse a uno.                 |
| 5 | $Cor (F_i, F_j) = 0$ , tal que $i \neq j$                        | Nula correlación entre los factores.                               |
| 6 | $Cov (F_i, F_j) = 0$ , tal que $i \neq j$                        | La covarianza entre los factores debe aproximarse a cero.          |

**FUENTE:** Elaboración propia con base en Guerrero (2024).

La construcción del AF sigue las siguientes etapas (Chávez, 2017; Elner, 2016):

**1) Formulación del problema.** En esta etapa se plantean objetivos, preguntas e hipótesis del fenómeno de estudio a partir del sustento teórico.

**2) Desarrollo del modelo.** A partir de las siguientes fases:

**1ª fase:** Se construye la matriz de correlación y se describe la relación lineal entre las variables originales. Esto permite identificar si es viable realizar un AF a partir de correlaciones mayores a 0.30.

De igual forma, para identificar la viabilidad de la construcción del modelo se deben aplicar las pruebas:

- **Test de Esfericidad de Bartlett:** Prueba de homogeneidad de varianzas que permite visualizar si la matriz de correlación es significativamente diferente a una matriz identidad (Elner, 2016). Esto se comprueba a partir de la prueba de hipótesis donde:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 \quad \text{vs} \quad H_i: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \dots \neq \sigma_k^2$$

En esta prueba la regla de decisión es:

$$H_0: p < 0.05 \quad \text{vs} \quad H_i: p > 0.05$$

Esta prueba se calcula mediante la siguiente expresión:

$$X^2 = - \left[ n - 1 - \frac{1}{6} * (2 * v + 5) \right] * \ln|R| \quad (7)$$

Donde:

n = Tamaño muestral.

v = número de variables.

ln = logaritmo natural.

R = matriz de correlación.

Donde sí  $p < 0.05$  se rechaza la hipótesis nula y se considera que los datos son adecuados para el Análisis Factorial.

- **Test de Keiser Meyer Olkin (KMO):** Este índice compara los coeficientes de correlación de Pearson obtenidos en la matriz correlación con los coeficientes de correlación parcial entre variables. Los valores que este índice toma van desde el 0 – 1.

Se calcula a partir de la siguiente expresión (Elner, 2016):

$$KMO = \frac{\sum \sum_{i \neq j}^n r_{ij}^2}{\sum \sum_{i \neq j}^n r_{ij}^2 + \sum \sum_{i \neq j}^n a_{ij}^2}$$

Donde: (8)

- $r_{ij}^2$  = Coeficiente de correlación de Pearson entre i y j.
- $a_{ij}^2$  = Coeficiente de correlación parcial entre i y j.

Para interpretar esta medida se parte de los siguientes criterios:

**Cuadro 2.6.** Interpretación del KMO

|                  |                           |                    |                           |
|------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| <b>Muy bueno</b> | $0.90 \leq KMO \leq 1.00$ | <b>Mediocre</b>    | $0.60 \leq KMO \leq 0.69$ |
| <b>Meritorio</b> | $0.80 \leq KMO \leq 0.89$ | <b>Bajo</b>        | $0.50 \leq KMO \leq 0.59$ |
| <b>Mediano</b>   | $0.70 \leq KMO \leq 0.79$ | <b>Inaceptable</b> | $0.00 \leq KMO \leq 0.49$ |

FUENTE: Elaboración propia con base en Chávez (2017) y Elner (2016).

**2ª fase:** Se estiman los parámetros a partir del método de máxima verosimilitud para cada factor.

**3ª fase:** Se selecciona el número de factores y se determina la cantidad de estos para predecir el fenómeno mediante tres criterios (Elner, 2016):

- **Criterio de Kaiser:** Sugiere que se deben de retener los factores con un eigenvalue<sup>7</sup> ( $\lambda_i \geq 1$ ).
- **Criterio Screeplot:** Se basa en el análisis de un gráfico de  $\lambda_i$  frente a la traza, donde se busca identificar el punto de inflexión en la curva. Se seleccionan los factores que se encuentren antes de que la curva se transforme en una línea plana.
- **Criterio porcentaje de la varianza:** Consiste en seleccionar el número de factores con un porcentaje de varianza explicada satisfactorio. En el caso de ciencias sociales el porcentaje de la varianza debe ser mayor al 60%, no obstante, en ciencias experimentales se recomienda un valor mayor al 80% (Elner, 2016).

**3) Validación del modelo:** Consiste en realizar la validación a partir del cumplimiento de supuestos de estadística inferencial.

**4) Predicción del modelo:** Se analiza si el modelo requiere de la rotación de factores a fin de mejorar la interpretación del fenómeno de estudio.

## 2.3 ¿QUÉ ES EL ANÁLISIS CLÚSTER?

Es un procedimiento estadístico que parte de un conjunto de variables de un conjunto de entidades e intenta reorganizarlas en grupos homogéneos también llamados conglomerados o clústeres.

### 2.3.1 Método de Ward

Es un procedimiento de análisis clúster que pertenece a los de tipos jerárquicos, y al contrario de los métodos de liga completa y de centroide se parte de los elementos directamente en

---

<sup>7</sup> Es la cantidad de la varianza para el total de variables que puede ser explicada por cada uno de los nuevos factores (Méndez y Rondón, 2012).



vez de la matriz de distancia, lo que permite definir una medida global de heterogeneidad de una agrupación de observaciones en grupos. Esta medida es  $W$ , y es la suma de las distancias euclídeas al cuadrado entre cada elemento y la media de su grupo (Peña, 2002):

$$W = \sum_g \sum_{i \in g} (x_{ig} - \bar{x}_g)' (x_{ig} - \bar{x}_g) \quad (9)$$

Donde  $\bar{x}_g$  es la media del grupo  $g$ . El criterio comienza suponiendo que cada dato forma un grupo,  $g = n$ , y por tanto  $W$  es cero. Posteriormente se unen los elementos que produzcan el menor incremento de  $W$ . Esto por tanto, implica tomar los más próximos en la distancia euclídea. Posteriormente, tenemos  $n - 1$  grupos,  $n - 2$  de un elemento y uno de dos elementos y así sucesivamente hasta obtener un único grupo. Los valores de  $W$  indican el crecimiento del criterio al formar grupos y pueden indicar el número de grupos naturales de los datos (Peña, 2002).

Puede demostrarse que en cada etapa los grupos deben unirse para minimizar  $W$  son aquellos tales que (Peña, 2002):

$$\min \frac{n_a n_b}{n_a + n_b} (\bar{x}_a - \bar{x}_b)' (\bar{x}_a - \bar{x}_b) \quad (10)$$

### 2.3.2 El Dendograma

Es la representación del proceso de agrupamiento en forma de árbol. Los criterios que permiten definir las distancias tienen la propiedad de que si se consideran tres grupos  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , se verifica que (Peña, 2002):

$$d(A, C) \leq \max\{d(A, B), d(B, C)\} \quad (11)$$

$Y$  es una medida de distancia que tiene una propiedad denominada ultramétrica, Esta propiedad es más fuerte que la propiedad triangular, ya que una ultramétrica es siempre una distancia.

En efecto si  $d^2(A, C)$  es menor o igual que el máximo de  $d^2(A, B)$ ,  $d^2(B, C)$  forzosamente será menor o igual que la suma  $d^2(A, B) + d^2(B, C)$ . El dendrograma es la representación de una ultramétrica, y su construcción parte de los siguientes pasos (Peña, 2002):

- En la parte inferior del gráfico se disponen los  $n$  elementos iniciales.
- Las uniones entre los elementos se representan por tres líneas rectas. Dos con dirección a los elementos que se unen y que son perpendiculares al eje de los elementos y una paralela a este eje que se sitúa al nivel en que se unen.
- El proceso se repite hasta que todos los elementos se conecten por líneas rectas.

Si se corta el dendrograma a un nivel de distancia dado, se obtienen una clasificación del número de grupos que existen en ese nivel y los elementos que lo forma. Cabe destacar que el dendrograma es útil cuando los puntos tienen claramente una estructura jerárquica, pero puede ser engañoso cuando se aplica ciegamente, pues dos puntos pueden parecer próximos cuando no lo están y alejados cuando están próximos (Peña, 2002).

## **2.4 CONCLUSIONES**

En este capítulo se hizo referencia a las técnicas de reducción de dimensiones, las cuales permiten reducir un conjunto de variables observables en un número menor de variables latentes que permiten explicar un fenómeno. En específico se abordó el Análisis Factorial, señalando su proceso de aplicación así como los supuestos necesarios para su aplicabilidad y validación.

Cabe destacar que el uso de esta técnica permite la construcción de índices compuestos que logran explicar un fenómeno complejo, por ejemplo la marginación o el rezago social. Estos fenómenos, que se caracterizan por ser probabilísticos, es decir, hay un alto grado de incertidumbre por estar conformado por múltiples variables (algunas desconocidas y difíciles de medir). No obstante, el uso de este tipo de técnicas permite predecir el comportamiento de determinado fenómeno, por ello su importancia.

Por otra parte, se mencionaron las técnicas de análisis clúster, las cuales permiten agrupar entidades u objetos con base en características (variables). En específico se señaló el método de Ward, uno de los más utilizados. De igual manera se hizo énfasis en el dendrograma como elemento gráfico para presentar la agrupación dada por este y otros métodos. Este tipo de técnicas permite crear grupos homogéneos que permiten la regionalización territorial de las

entidades federativas para focalizar acciones específicas con base en un problema público, en este caso, la degradación del suelo.

# CAPÍTULO III.

## CONSTRUCCIÓN DEL ÍNDICE DE DEGRADACIÓN DEL SUELO

### 3.1 INTRODUCCIÓN

Partiendo de las técnicas analizadas en el capítulo anterior, en este capítulo se procede a la construcción del Índice de Degradación del Suelo tomando como referencia las variables que inciden en el fenómeno.

De igual forma se hace una agrupación a partir de los índices generados mediante técnicas de análisis clúster, en específico el método de Ward.

### 3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN

Tomando como referencia el sustento teórico, se procedió a hacer una búsqueda y comparación de las fuentes de información disponible de las variables que conforman al fenómeno de estudio.

En este sentido, se retomaron tres fuentes principales:

❖ **Censo Agropecuario 2022:** Es un proyecto de generación y fuente de datos estadísticos que proporciona información acerca de las unidades productivas con actividades agrícolas, pecuarias y de aprovechamiento forestal. La información que presenta este censo es (INEGI, 2022):

- i. Unidades de producción, terrenos y mano de obra.
- ii. Superficies y características generales.
- iii. Agricultura, modalidad hídrica y sistemas de riego.
- iv. Cría y explotación de animales.
- v. Mano de obra.
- vi. Tractores, maquinaria y vehículos.
- vii. Crédito y seguro.
- viii. Problemática.
- ix. Características sociodemográficas del (de la) productor(a).

- x. Medio ambiente.
- xi. Acceso a recursos productivos y prácticas sustentables.
- xii. Sanidad vegetal y animal.

- ❖ **Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales:** Es un conjunto de bases de datos estadísticos, cartográficos y documentales de diferentes instituciones públicas que proporcionan información sobre los recursos naturales (SEMARNAT, 2023).
- ❖ **Conjunto de datos de Temperatura Media por Entidad Federativa y Nacional (2022).** Proporcionado por el Servicio Meteorológico Nacional [SMN] y la Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2022b).
- ❖ **Conjunto de datos de Precipitación (mm) por Entidad Federativa y Nacional 2022.** Proporcionado por el SMN y CONAGUA (2022a).

### 3.3 VARIABLES CONSIDERADAS

A partir de las fuentes anteriores se retomaron las siguientes variables:

**Cuadro 3.1.** Variables y sus fuentes

| <b>Dimensión</b>     | <b>Variable</b>  | <b>Fuente</b>          |
|----------------------|--|------------------------|
| <b>Clima</b>         | Precipitación media anual por entidad federativa                 | SMN y CONAGUA (2022a). |
|                      | Temperatura media anual por entidad federativa                   | SMN y CONAGUA (2022b). |
|                      | Disponibilidad natural media de agua per cápita.                 | SEMARNAT (2023).       |
| <b>Contaminación</b> | Unidades de producción agropecuaria que hacen uso de herbicidas. | INEGI (2023).          |
|                      | Unidades de producción agropecuaria que hacen uso de fungicidas. | INEGI (2023).          |

| Dimensión               | Variable   | Fuente           |
|-------------------------|--|------------------|
|                         | Unidades de producción agropecuaria que hacen uso de insecticidas.         | INEGI (2023).    |
| <b>Sobreexplotación</b> | Superficie declarada como agricultura de riego.                            | INEGI (2023).    |
|                         | Unidades de producción agropecuaria que hacen uso excesivo de la labranza. | INEGI (2023).    |
|                         | Coefficiente de agostadero.  | SEMARNAT (2023). |
|                         | Presión sobre los Recursos hídricos.                                       | SEMARNAT (2023). |

FUENTE: Elaboración propia a partir del desarrollo metodológico.

### 3.4 CONSTRUCCIÓN DE NUEVAS VARIABLES

Con base en las variables anteriores, se procedió a la construcción de nuevas variables:

**Tasa de herbicidas:** Hace referencia a la cantidad de UPAs que hacen uso de herbicidas por cada 100 UPAs.

$$TH = \frac{UPAH}{UPA} * 100 \quad (12)$$

Donde:

TH = Tasa de herbicidas.

UPAH = Unidades de producción agropecuaria que hacen uso de herbicidas.

UPA = Unidades de producción agropecuaria.

**Tasa de fungicidas:** Hace referencia a la cantidad de UPAs que hacen uso de fungicidas por cada 100 UPAs.

$$TF = \frac{UPAF}{UPA} * 100 \quad (13)$$

Donde:

TF = Tasa de fungicidas.

UPAH = Unidades de producción agropecuaria que hacen uso de fungicidas.

UPA = Unidades de producción agropecuaria.

**Tasa de insecticidas:** Hace referencia a la cantidad de UPAs que hacen uso de herbicidas por cada 100 UPAs.

$$TI = \frac{UPAI}{UPA} * 100 \quad (14)$$

Donde:

TI = Tasa de insecticidas.

UPAH = Unidades de producción agropecuaria que hacen uso de insecticidas.

UPA = Unidades de producción agropecuaria.

**Tasa de monocultivos:** Hace referencia a la cantidad de UPAs que no rotan sus cultivos por cada 100 UPAs.

$$TRO = \frac{UPARO}{UPA} * 100 \quad (15)$$

Donde:

TR = Tasa de monocultivos.

UPAH = Unidades de producción agropecuaria que no rotan sus cultivos.

UPA = Unidades de producción agropecuaria.

**Tasa de irrigación:** Hace referencia a la proporción de superficie que práctica la irrigación frente al total de superficie.

$$TR = \frac{SR}{SA} * 100 \quad (16)$$

Donde:

TR = Tasa de irrigación.

SR = Superficie agrícola de riego en ha.

SA = Superficie agrícola total.

**Tasa de labranza excesiva:** Hace referencia a la cantidad de UPAs que labran en exceso la tierra por cada 100 UPAs.

$$TLE = \frac{UPALE}{UPA} \quad (17)$$

Donde:

TLE = Tasa de labranza excesiva.

UPALE = Unidades de producción agropecuaria que hacen uso excesivo de la labranza.

UPA = Unidades de producción agropecuaria.

Las variables que se enuncian a continuación se mantuvieron como originalmente se recopilaron, no obstante, es necesario puntualizar que son resultado de las siguientes expresiones algebraicas:

**Coefficiente de agostadero:** Expresa el número de hectáreas (ha) que se necesitan para mantener una Unidad Animal (UA) el año de referencia.

$$\text{Coeficiente de agostadero} = \frac{\text{Superficie forrajera}}{\text{Capacidad de carga animal}} \quad (18)$$

**Grado de presión hídrica:** Representa el volumen de extracción de agua media anual total para consumo del total de los recursos hídricos renovables.

$$\text{Grado de Presión Hídrica} = \frac{\text{Extracción}}{\text{Disponibilidad natural media}} * 100 \quad (19)$$

**Precipitación media anual:** Es el promedio de las lluvias registradas en los doce meses del año.

$$\bar{P}_a = \frac{\sum_{i=1}^{12} \bar{P}_i}{12} \quad (20)$$

Donde:

$\bar{P}_a$  = Precipitación media anual en mm.



$\bar{P}_i$  = Precipitación media del i-ésimo mes.

**Disponibilidad natural media de agua per cápita:** Indica la cantidad de agua renovable promedio anual por personas en m<sup>3</sup>.

$$\text{Disponibilidad media de agua per cápita} = \frac{\text{Disponibilidad natural media}}{\text{Total de habitantes}} * 100 \quad (21)$$

**Temperatura media anual:** Es el promedio de las temperaturas registradas en los doce meses del año.

$$\bar{T}_a = \frac{\sum_{i=1}^{12} \bar{T}_i}{12} \quad (22)$$

Donde:

$\bar{T}_a$  = Temperatura media anual en mm.

$\bar{T}_i$  = Temperatura media del i-ésimo mes.

### 3.5 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES

Con base en lo anterior, se conjetura que la Degradación del Suelo toma la siguiente forma:

$$X_{DS} = f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}) \quad (23)$$

Donde:

$X_{DS}$  = Degradación del suelo.

$X_7$  = Tasa de rotación.

$X_1$  = Precipitación media anual.

$X_8$  = Tasa de riego.

$X_2$  = Temperatura media anual.

$X_9$  = Tasa de labranza excesiva.

$X_3$  = Tasa de herbicidas.

$X_{10}$  = Coeficiente de agostadero.

$X_4$  = Tasa de insecticidas.

$X_{11}$  = Disponibilidad de recursos hídricos per cápita.

$X_5$  = Tasa de fungicidas.

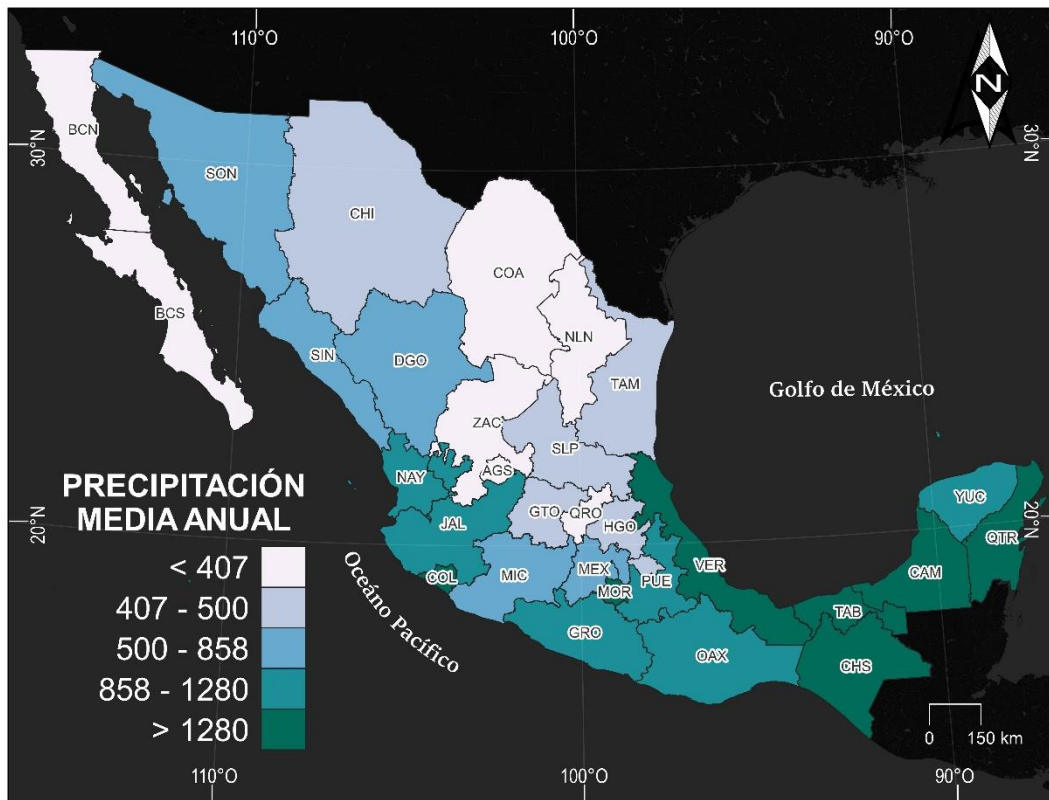
$X_6$  = Grado de presión hídrica.

Donde el efecto esperado de cada variable sobre la degradación del suelo es:

- X<sub>1</sub>: “A mayor precipitación media anual menor degradación del suelo”.
- X<sub>2</sub>: “A mayor temperatura media anual mayor degradación del suelo”.
- X<sub>3</sub>: “A mayor tasa de herbicidas mayor degradación del suelo”.
- X<sub>4</sub>: “A mayor tasa de insecticidas mayor degradación del suelo”.
- X<sub>5</sub>: “A mayor tasa de fungicidas mayor degradación del suelo”.
- X<sub>6</sub>: “A mayor grado de presión hídrica mayor degradación del suelo”.
- X<sub>7</sub>: “A mayor tasa de rotación mayor degradación del suelo”.
- X<sub>8</sub>: “A mayor tasa de riego mayor degradación del suelo”.
- X<sub>9</sub>: “A mayor tasa de labranza mayor degradación del suelo”.
- X<sub>10</sub>: “A mayor coeficiente de agostadero mayor degradación del suelo”.
- X<sub>11</sub>: “A mayor disponibilidad de recursos hídricos per cápita menor degradación del suelo”.

El comportamiento espacial de las variables ha sido el siguiente:

**Mapa 3.1.** Precipitación media anual en México ( $X_1$ ), 2022.



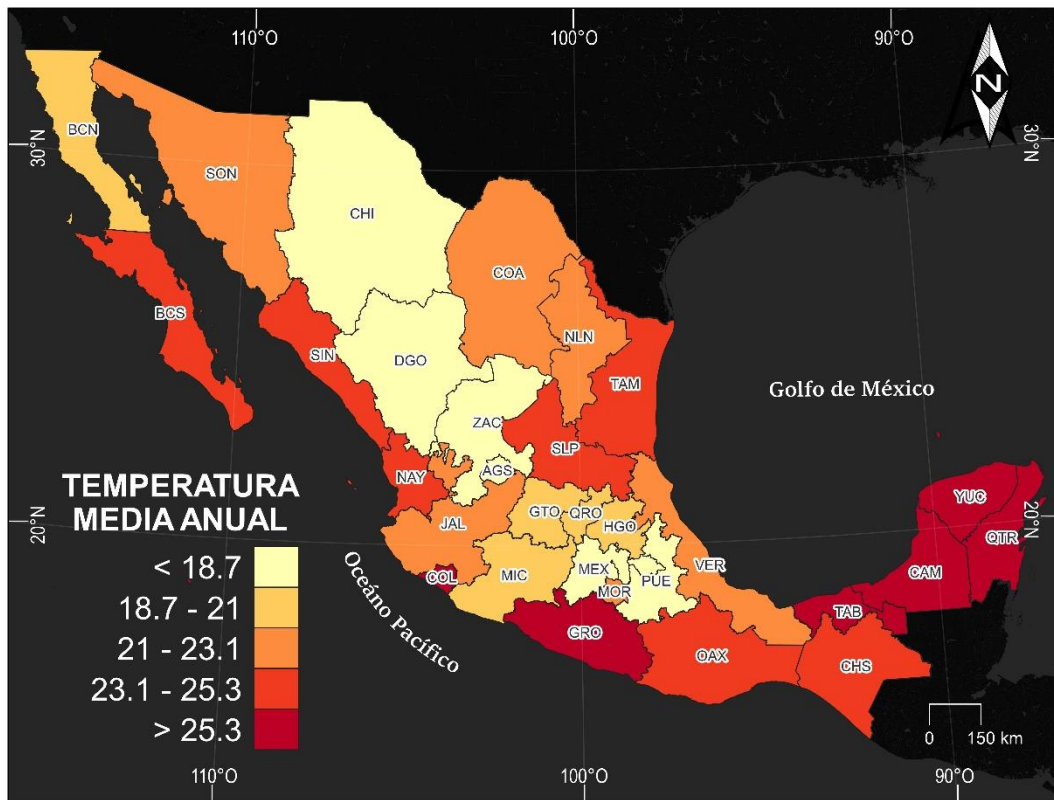
**FUENTE:** Elaboración propia con base en los datos del SMN y CONAGUA (2022a).

**X<sub>1</sub>:** Los mayores niveles de precipitación media anual se presentan en los estados del sur, esto derivado de su propia ubicación geográfica, que permite una mayor cantidad de humedad atmosférica, así como la propia vegetación del sur de México que contribuye directamente a la evaporación, y a la formación de nubes.

De manera paralela, los niveles más bajos de precipitación se presentan en la zona centro y norte del país derivado de características geográficas de estas regiones, pero que se agrava por el efecto del cambio climático de zonas de amortiguamiento, la deforestación, el aumento de la frontera agrícola y la propia urbanización.

Una menor precipitación media se correlaciona con una mayor de superficie agrícola siniestrada (Magaña et al., 2018). El promedio de precipitación en México fue de 851.8 mm. Baja California Norte se presenta como el estado con el menor nivel de precipitación media anual con 123.8 mm, mientras que Tabasco fue el de mayor nivel, con 2451.8 mm.

**Mapa 3.2.** Temperatura media anual en México ( $X_2$ ), 2022.

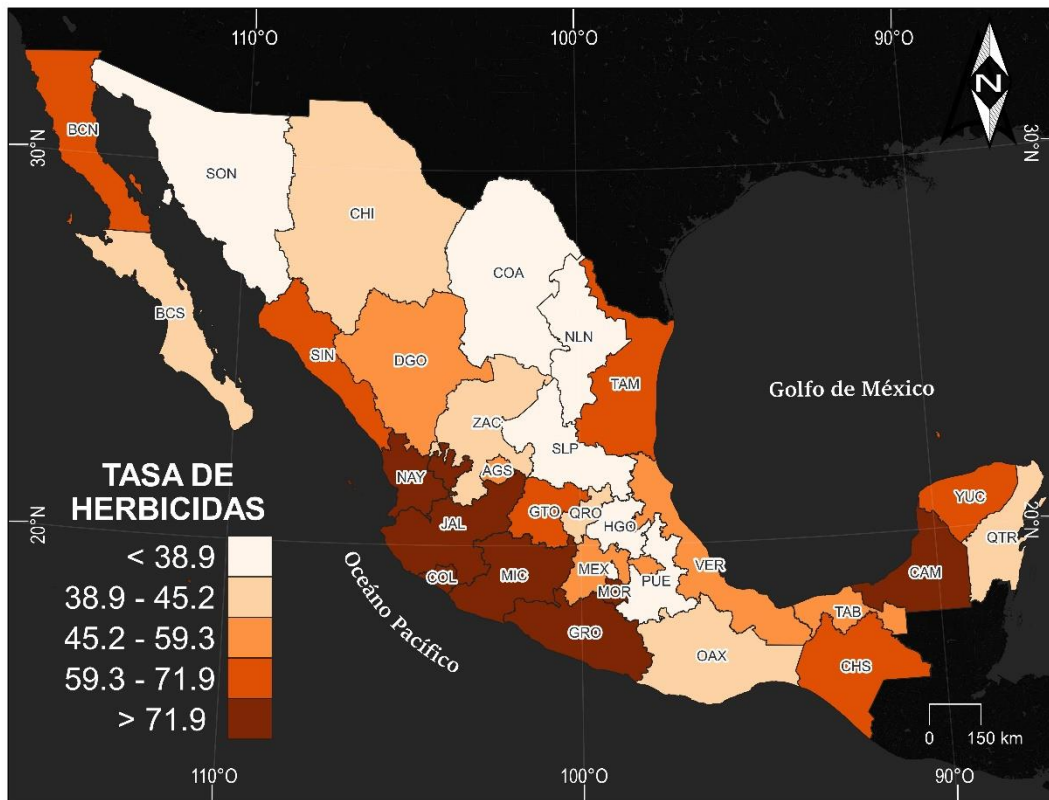


**FUENTE:** Elaboración propia con base en los datos del SMN y CONAGUA (2022b).

**X<sub>2</sub>:** Los mayores niveles de temperatura media anual se concentran en el sureste del país (Tabasco, con la mayor temperatura con 27.5°C), a pesar de ello esta región tiene una alta precipitación.

Caso paralelo a lo que ocurre en Sinaloa, Nayarit y Tamaulipas, que se encuentran en valores altos de temperatura y bajas precipitaciones, lo que los localiza en climas secos y semisecos, elemento que dificulta la producción alimentaria (INEGI, 2020). México y Tlaxcala son los estados con menor nivel de precipitación.

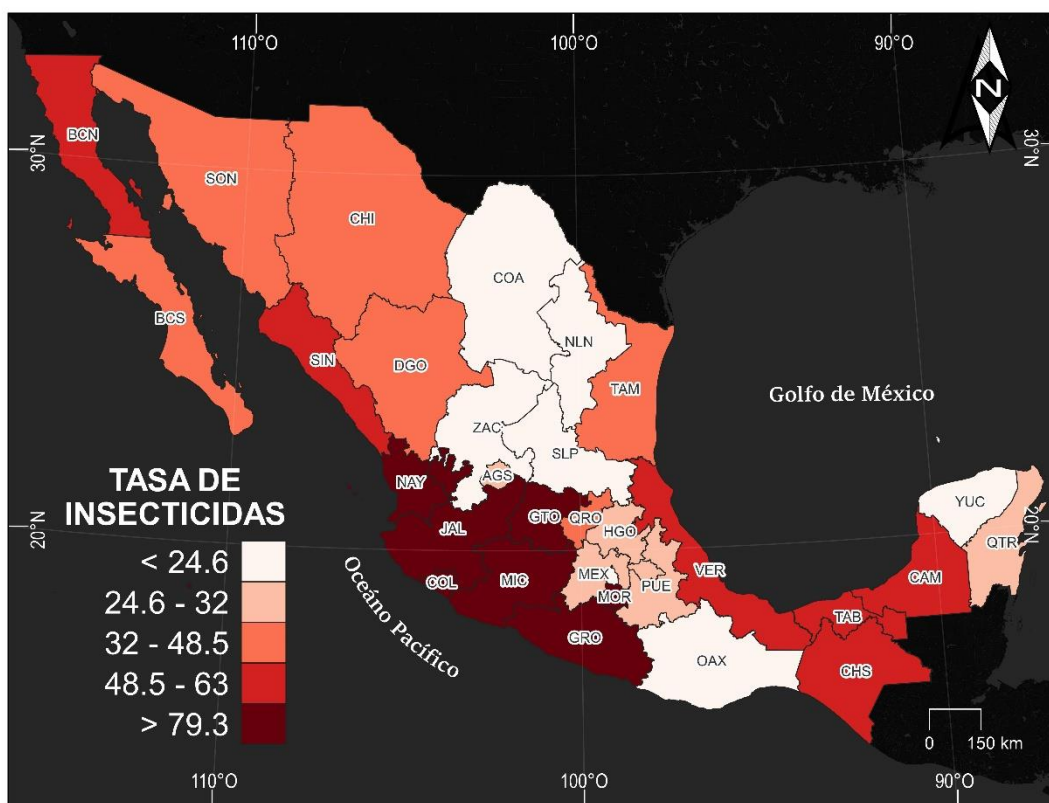
**Mapa 3.3.** Tasa de herbicidas en México (X<sub>3</sub>), 2022.



**FUENTE:** Elaboración propia con base en los datos del Censo Agropecuario (INEGI, 2023).

**X<sub>3</sub>:** En la región occidente se localizan los estados donde la mayor parte de los productores hacían uso de herbicidas, siendo Jalisco el de mayor uso, derivado a que este es uno de los principales productores agrícolas, principalmente de fresa, pastizales y caña de azúcar (De la Mora y Pérez, 2022).

**Mapa 3.4.** Tasa de insecticidas en México (X<sub>4</sub>), 2022.

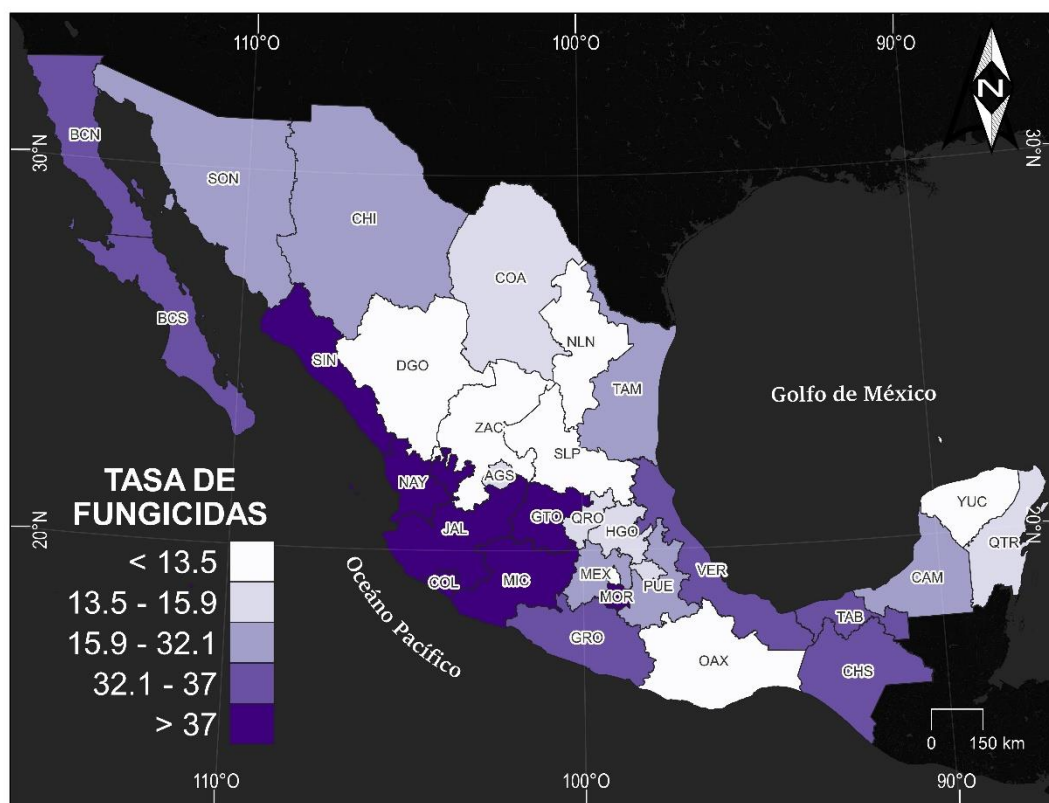


**FUENTE:** Elaboración propia con base en los datos del Censo Agropecuario (INEGI, 2023).

**X<sub>4</sub>:** Al igual que con X<sub>3</sub>, el principal estado que hace uso de insecticidas es Jalisco. No obstante, se puede observar que existe una diferencia en el nivel alto, pues en este mapa se observa a Veracruz en esta categoría, por ser el segundo estado con mayor cantidad producida, principalmente de caña de azúcar y naranja.

Cabe destacar que esta zona se hace uso de insecticidas y plaguicidas restringidos por la Comunidad Económica Europea, pues son tóxicos tanto para el suelo como para la flora y fauna de la zona, como el pato ánade real, la trucha arcoíris y la pulga de agua (Ramírez-Mora et al., 2018).

**Mapa 3.5.** Tasa de fungicidas en México (X<sub>5</sub>), 2022.

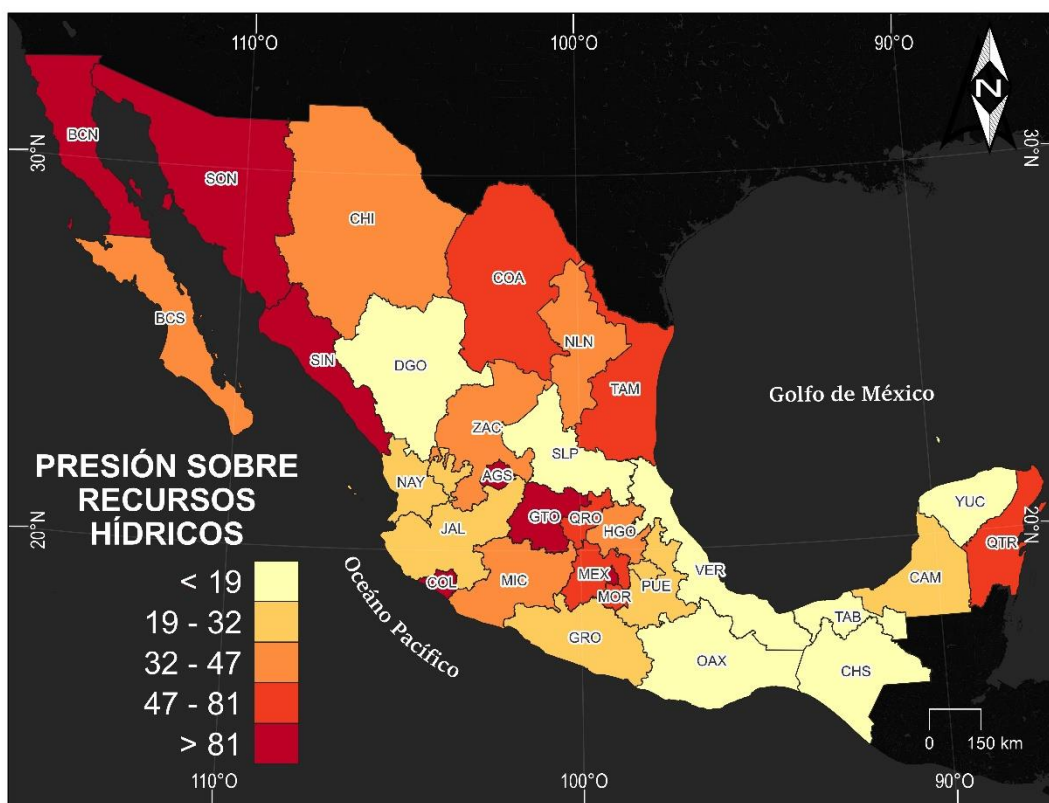


**FUENTE:** Elaboración propia con base en los datos del Censo Agropecuario (INEGI, 2023).

**X<sub>5</sub>:** Pese a que Morelos ocupa el lugar 25 de producción agropecuaria, esta entidad se presenta como la número uno en uso de fungicidas, derivado del mal manejo de la producción de jitomate que ha involucrado un uso desmedido de agroquímicos y con ello riesgo a plagas y hongos (SADER, 2022). Asimismo, se añade en este mapa a Sinaloa, un importante productor de tomate verde, maíz, jitomate y chile verde (Gobierno del Estado de Sinaloa, 2023).



**Mapa 3.6.** Grado de presión sobre los recursos hídricos ( $X_6$ ), 2022.



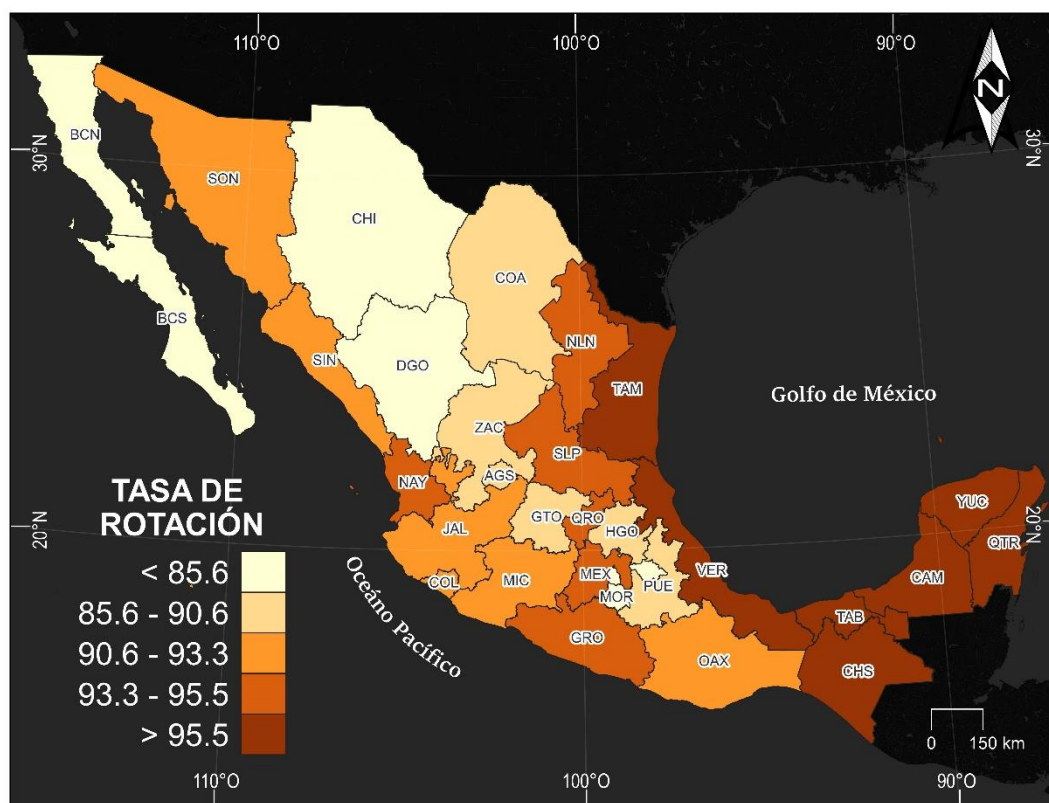
**FUENTE:** Elaboración propia con base en los datos del Censo Agropecuario (INEGI, 2023).

**X<sub>6</sub>:** Con respecto a esta variable, Ciudad de México se presenta como la entidad con mayor grado de presión hídrica con un valor de 174.3 derivado de la gran cantidad de población lo que obliga a extraer más agua de la que se dispone.

Además, se logra observar que, la región noroeste, existe una alta presión hídrica. Los estados que se encuentran en el sureste como Veracruz, Tabasco, Oaxaca, Chiapas y Yucatán, derivado de la alta vegetación y altos niveles de precipitación.



**Mapa 3.7.** Tasa de rotación de cultivos en México (X<sub>7</sub>), 2022.

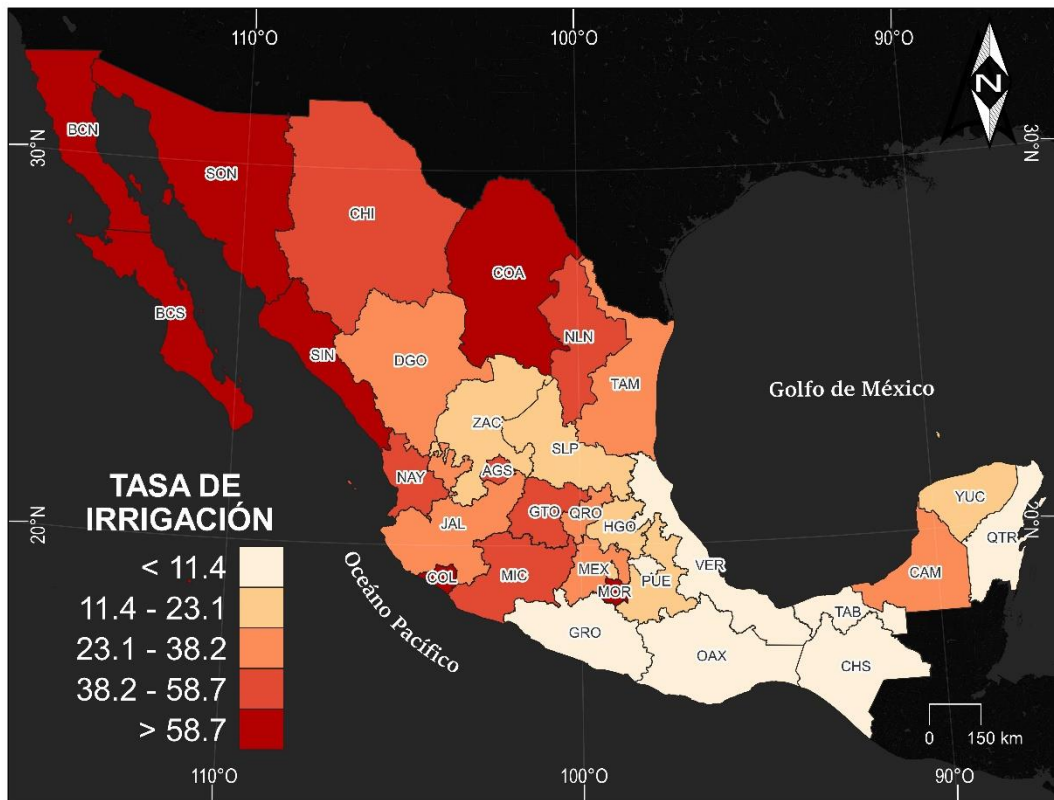


**FUENTE:** Elaboración propia con base en los datos del Censo Agropecuario (INEGI, 2023).

**X<sub>7</sub>:** Obsérvese que en el Mapa 3.7 que la falta de rotación alcanzó el valor máximo en Querétaro, donde el 98,28 % de las unidades productoras no la usan, como en toda la zona del sureste del país, incluyendo a Tamaulipas.

No obstante, los monocultivos es una tendencia en todo el país, pues en promedio el 90.57% de las unidades tienen esta práctica, siendo Tlaxcala el estado con el valor más bajo (74.12%).

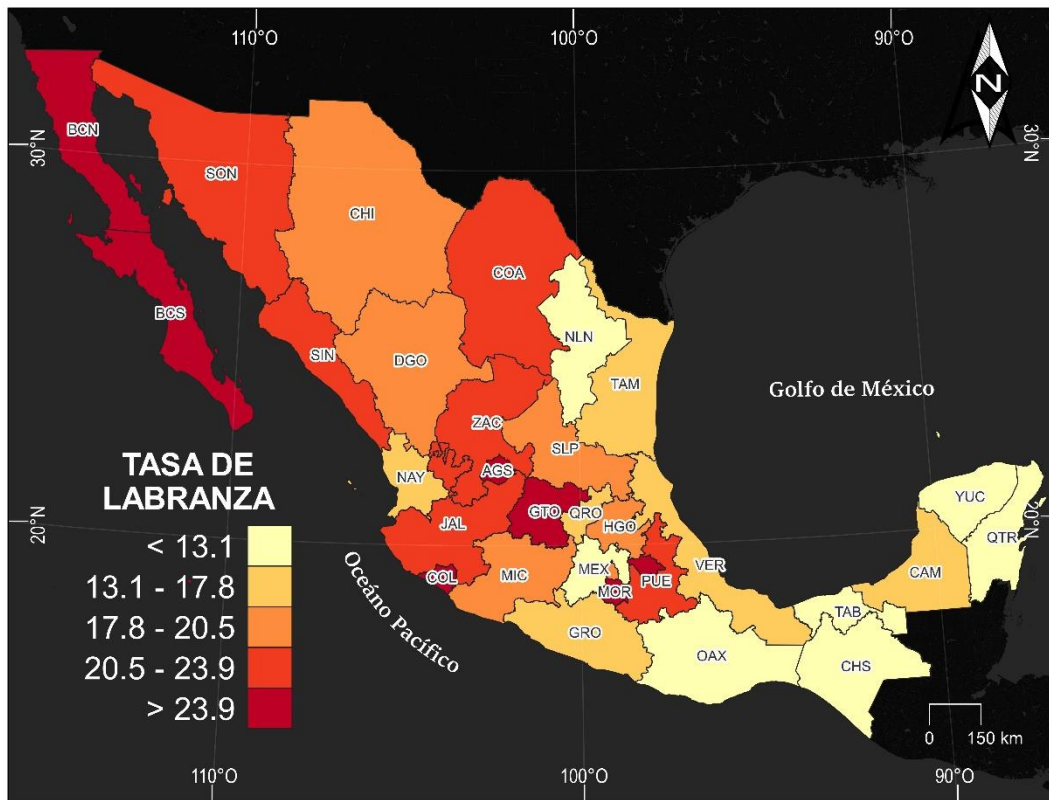
**Mapa 3.8.** Tasa de irrigación en México ( $X_8$ ), 2022.



**FUENTE:** Elaboración propia con base en los datos del Censo Agropecuario (INEGI, 2023).

**$X_8$ :** Se observa que la agricultura de riego se concentra en la región noroeste del país, siendo el principal exponente Baja California Sur con una tasa de riego de 99.7% muy encima del promedio nacional que es de 35%. Esto principalmente por la producción de alfalfa para el alimento de ganado (INEGI, 2023). Le sigue Sonora con donde la principal producción fue de aguacate y trigo, y en tercer lugar Baja California Norte que al igual que BCS, se caracteriza por la producción de alimento para ganado. Paralelamente, el estado con mayor proporción de agricultura de temporal es Tabasco, estado principalmente cañero (INEGI, 2023).

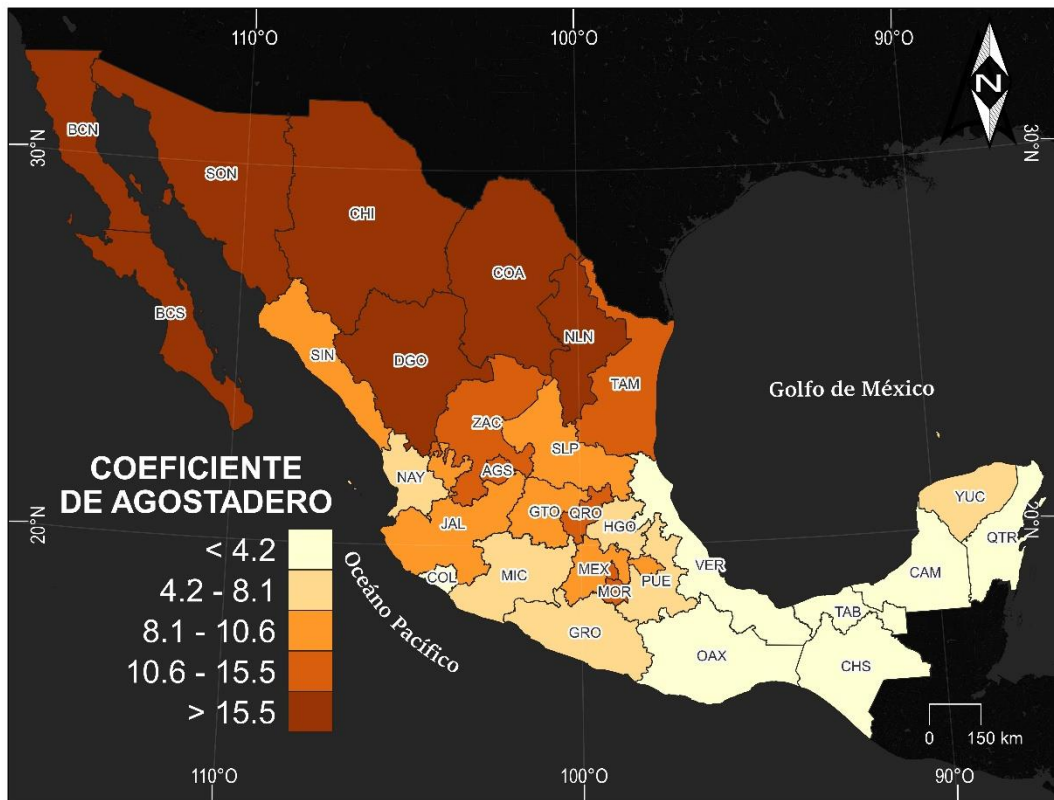
**Mapa 3.9.** Tasa de labranza en México (X<sub>9</sub>), 2022.



**FUENTE:** Elaboración propia con base en los datos del Censo Agropecuario (INEGI, 2023).

**X<sub>9</sub>:** En cuanto a la tasa de labranza, los estados que realizan con exceso esta práctica son los estados de la península noroeste (BCN con 38.26% y BCS con 34.46%). El estado donde se realiza en menor medida esta práctica es Yucatán (6.7%) con el pasto cultivado como principal producto con destino a la producción de ganado y venta.

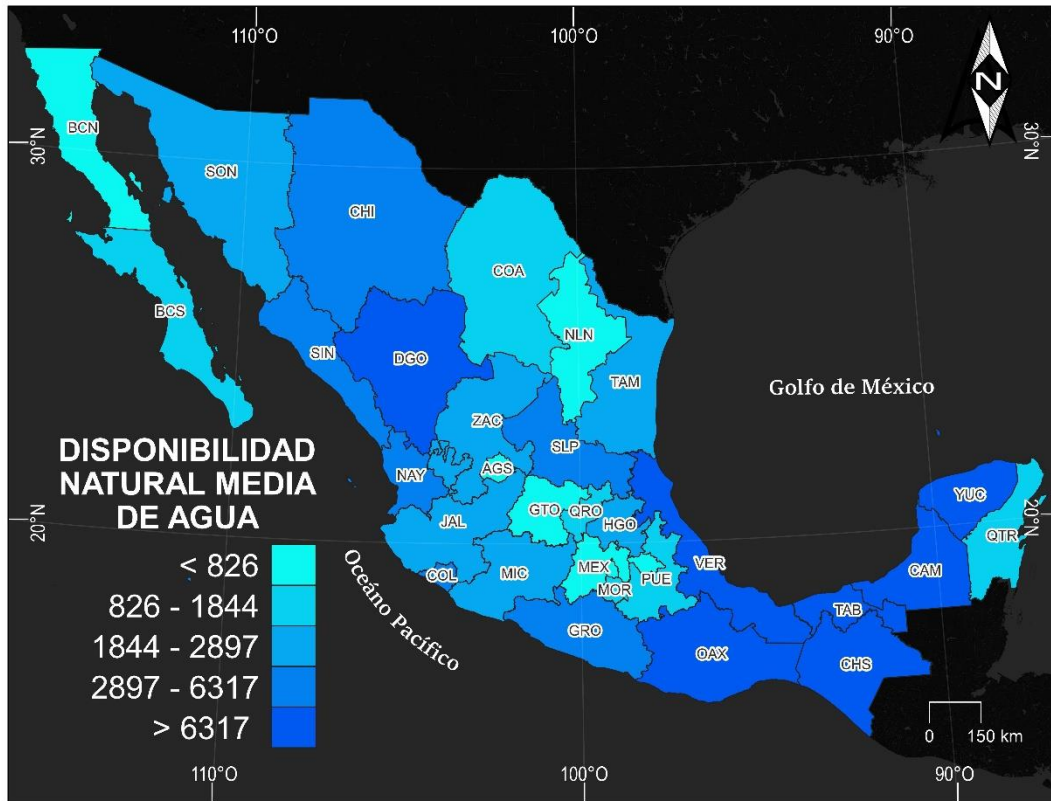
**Mapa 3.10.** Coeficiente de agostadero en México ( $X_{10}$ ), 2016.



**FUENTE:** Elaboración propia con base en los datos del Censo Agropecuario (INEGI, 2023).

**X<sub>10</sub>:** En relación con el coeficiente de agostadero se observan claras regionalizaciones en función de esta variable pues los estados localizados en el norte del país son aquellos que tienen un coeficiente mayor, esto por la importante producción ganadera que tiene esta zona. Los valores más altos se localizaron también en BCN y BCS (principal producto el ganado bovino) con valores de 57.90 y 49.30 respectivamente bastante alejado de la media nacional de 12.69. Chiapas y Veracruz son los de menor coeficiente, con 1.80 y 1.81 con producción principal de aves de corral (SIAP, 2022).

**Mapa 3.11.** Disponibilidad de agua per cápita en México (X<sub>11</sub>), 2022.

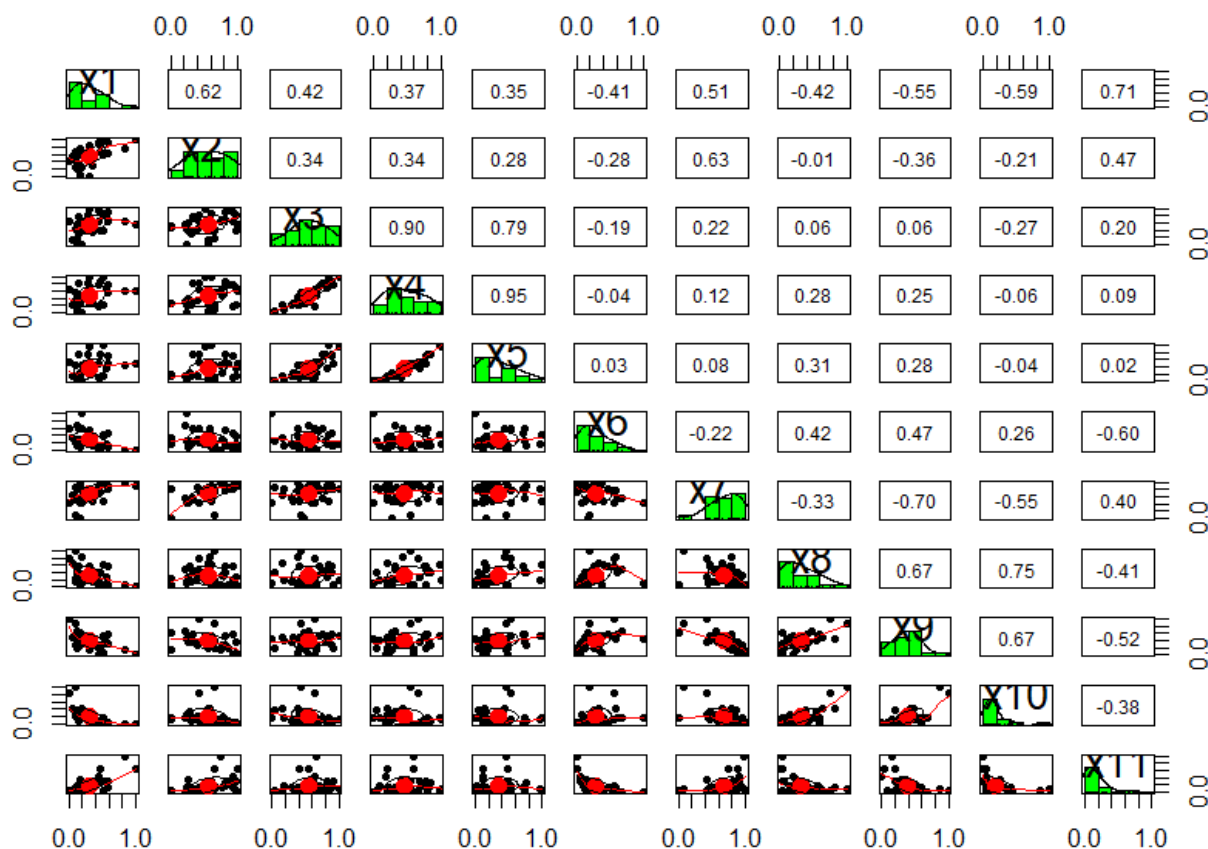


**FUENTE:** Elaboración propia con base en SEMARNAT (2023).

**X11:** En cuanto a la disponibilidad natural media, se observa que los estados del sureste tienen altos valores, Chiapas con 20.996 m<sup>3</sup> de agua por persona al año, Oaxaca con 13,903 m<sup>3</sup> y Tabasco en tercer puesto con 13,563 m<sup>3</sup>.

Diametralmente la CDMX se presenta como la entidad con mayor estrés hídrico en el país (70 m<sup>3</sup> por habitante), seguido del estado de México. Cabe destacar, que los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Tlaxcala, Nuevo León, Baja California Norte, Querétaro, Quintana Roo y Morelos también presentan un grado importante de estrés hídrico, pues todos ellos tienen una disponibilidad media menor a 1000 m<sup>3</sup>/hab.

**Figura 3.1.** Matriz de correlación de Pearson



FUENTE: Elaboración propia mediante las corridas en Rstudio.

Partiendo de la matriz de correlación de Pearson<sup>8</sup> (Figura 3.1), se observa un fuerte grado de asociación entre las variables:

<sup>8</sup> Es un índice que permite medir el grado de asociación entre dos variables cuantitativas, así como la significación estadística de esta relación (Juárez et al., 2002).

Este coeficiente toma valores  $0 \leq Cor_{xy} \leq 1$ , y se calcula mediante la siguiente expresión (Juárez et al., 2002):

$$Cor_{xy} = \frac{Cov(x,y)}{\sigma(x) * \sigma(y)}$$

Tal que:

- $Cor_{xy} > 0$ , la relación es creciente (directamente proporcional).
- $Cor_{xy} = 0$ , son independientes (no hay asociación).
- $Cor_{xy} < 0$ , la relación es inversa (inversamente proporcional).



- $X_1$  (precipitación media anual) y  $X_{11}$  (disponibilidad hídrica) tienen un coeficiente de correlación de 0.70, o sea, si aumenta  $X_1$  también lo hace  $X_{11}$ .
- El coeficiente de correlación de  $X_2$  (temperatura media anual) y  $X_7$  (tasa de rotación) es de 0,63, es decir, en la medida que aumenta  $X_2$  también lo hace  $X_7$ , lo que habla de que en los lugares donde hay mayor temperatura hay menor rotación de cultivos, lo que puede influir en el agotamiento de los nutrientes del suelo y la erosión.
- $X_3$  (tasa de herbicidas) y  $X_4$  (tasa de insecticidas) tienen un coeficiente correlación de 0.90, por tanto, la relación entre estas es directa.
- $X_4$  (tasa de herbicidas) y  $X_5$  (tasa de fungicidas) tiene una relación directa, pues tiene un coeficiente 0.95.
- $X_6$  (grado de presión hídrica) y  $X_{11}$  (disponibilidad hídrica per cápita) tienen un coeficiente de correlación -0.60, es decir, en la medida que se incrementa una, disminuye la otra.
- $X_7$  (tasa de rotación) y  $X_9$  (tasa de labranza) tienen un coeficiente de correlación de 0.70, es decir, a medida que existe falta de rotación disminuye la labranza excesiva, contrario a lo que dice la teoría.
- $X_8$  (tasa de irrigación) y  $X_{10}$  (Coeficiente de agostadero) tienen un coeficiente de correlación de 0.75, por tanto, existe una relación directamente proporcional, es decir, en la medida que incrementa la agricultura de riego se incrementa la producción animal.
- $X_{10}$  (Coeficiente de agostadero) y  $X_1$  (Precipitación media anual) presentan un alto grado de asociación linealmente inversa (-0.59), lo que indica que en los territorios donde existe una menor disponibilidad de agua, hay una importante industria ganadera.

Es notorio que la dinámica de las variables obedece características geográficas indiscutibles, que puede sugerir un riesgo de degradación del suelo mayor en zonas específicas del país. Asimismo, los coeficientes de correlación evidencian asociaciones significativas entre las variables descritas.

### 3.6 APLICACIÓN DEL ANÁLISIS FACTORIAL

El Análisis Factorial es un modelo estadístico formal que permite reducir la dimensionalidad de los datos, es decir, busca el número mínimo de factores latentes capaces de explicar la información contenida en un conjunto de variables cuantitativas (Elner, 2016).

La estructura de la base de datos que intervienen en la degradación del suelo es la siguiente:

**Cuadro 3.2.** Estructura de la base de datos

| ABV  | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub> | X <sub>6</sub> | X <sub>7</sub> | X <sub>8</sub> | X <sub>9</sub> | X <sub>10</sub> | X <sub>11</sub> |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| AGS  | 390.00         | 17.90          | 51.72          | 31.76          | 15.41          | 116.20         | 87.87          | 49.84          | 28.17          | 11.56           | 381.00          |
| BCN  | 123.80         | 20.40          | 60.01          | 55.68          | 36.72          | 99.90          | 84.15          | 76.94          | 38.26          | 49.30           | 824.00          |
| BCS  | 360.20         | 23.40          | 42.49          | 48.27          | 32.71          | 34.40          | 76.23          | 99.78          | 34.47          | 57.90           | 1584.00         |
| CAM  | 1423.20        | 27.30          | 73.58          | 57.81          | 26.19          | 26.40          | 95.59          | 28.26          | 17.77          | 3.60            | 6377.00         |
| CDMX | 552.80         | 18.30          | 9.36           | 9.71           | 6.11           | 174.30         | 84.89          | 14.30          | 20.40          | 11.35           | 70.00           |
| CHI  | 472.80         | 18.70          | 40.74          | 32.40          | 16.13          | 45.10          | 85.31          | 56.62          | 19.48          | 20.07           | 3206.00         |
| .    | .              | .              | .              | .              | .              | .              | .              | .              | .              | .               | .               |
| NAY  | 1233.20        | 25.30          | 79.18          | 68.67          | 50.25          | 20.50          | 95.48          | 41.44          | 16.04          | 6.35            | 5516.00         |
| NLN  | 400.70         | 22.30          | 12.44          | 12.32          | 8.41           | 47.00          | 94.82          | 40.29          | 12.98          | 22.57           | 786.00          |
| OAX  | 1194.40        | 23.40          | 40.91          | 24.51          | 13.19          | 2.40           | 91.95          | 8.95           | 13.01          | 4.12            | 13903.00        |
| PUE  | 939.40         | 18.70          | 35.01          | 28.29          | 20.37          | 22.10          | 85.65          | 19.19          | 21.58          | 7.82            | 1772.00         |
| QRO  | 374.60         | 20.20          | 43.66          | 33.30          | 14.28          | 52.20          | 94.38          | 24.41          | 16.00          | 13.49           | 835.00          |
| QTR  | 1292.30        | 27.20          | 39.62          | 25.99          | 14.98          | 66.20          | 98.29          | 8.60           | 9.12           | 3.72            | 942.00          |
| .    | .              | .              | .              | .              | .              | .              | .              | .              | .              | .               | .               |
| TAB  | 2451.80        | 27.50          | 53.13          | 51.30          | 34.29          | 1.60           | 95.50          | 4.65           | 7.86           | 1.94            | 13563.00        |
| TAM  | 487.30         | 24.70          | 62.30          | 43.97          | 20.36          | 47.60          | 96.92          | 34.97          | 15.96          | 11.35           | 2605.00         |
| TLA  | 498.80         | 15.50          | 47.45          | 29.15          | 15.80          | 31.30          | 74.11          | 8.64           | 26.07          | 10.10           | 657.00          |
| VER  | 1502.90        | 22.80          | 58.27          | 48.63          | 34.13          | 10.90          | 96.23          | 7.96           | 16.17          | 1.81            | 6572.00         |
| YUC  | 1154.70        | 26.80          | 60.29          | 22.80          | 12.53          | 9.70           | 96.17          | 23.01          | 6.71           | 4.37            | 9399.00         |
| ZAC  | 364.40         | 18.30          | 41.20          | 23.81          | 12.49          | 41.70          | 86.90          | 18.52          | 21.50          | 14.49           | 2519.00         |

FUENTE: Elaboración propia.



**Cuadro 3.3.** Varianza de cada variable

| <b>Variable</b>       | <b>Var</b> | <b>% Var</b> |
|-----------------------|------------|--------------|
| <b>X<sub>1</sub></b>  | 297611.05  | 1.33%        |
| <b>X<sub>2</sub></b>  | 12.129637  | 0.00%        |
| <b>X<sub>3</sub></b>  | 410.05021  | 0.00%        |
| <b>X<sub>4</sub></b>  | 382.8311   | 0.00%        |
| <b>X<sub>5</sub></b>  | 267.03103  | 0.00%        |
| <b>X<sub>6</sub></b>  | 1585.0026  | 0.01%        |
| <b>X<sub>7</sub></b>  | 35.061668  | 0.00%        |
| <b>X<sub>8</sub></b>  | 609.20351  | 0.00%        |
| <b>X<sub>9</sub></b>  | 49.709934  | 0.00%        |
| <b>X<sub>10</sub></b> | 157.34115  | 0.00%        |
| <b>X<sub>11</sub></b> | 22113083   | 98.66%       |
| <b>Varianza total</b> | 22414202.8 | 100%         |

**FUENTE:** Elaboración propia a partir de la matriz de varianza-covarianzas,

Como se muestra en el cuadro 3.2 se puede observar que los datos se encuentran en unidades diferenciadas, lo que provoca que X<sub>11</sub>, X<sub>1</sub>, X<sub>6</sub> y X<sub>8</sub> tengan varianzas muy altas en comparación de las demás, además X<sub>11</sub> concentra el 98.66% de la varianza total, lo que provocaría sesgo en el AF. Con el objetivo de eliminar los problemas de correlación y variabilidad que se puedan generar, se procede a la normalización mediante la siguiente expresión algebraica:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \mu(X_i)}{\sigma(X_i)} \quad (24)$$

Aplicando las pruebas para verificar la viabilidad del modelo a partir de la matriz de correlación con variables normalizadas se tiene:

**Cuadro 3.4.** Resultados del KMO

| <b>Call: KMO (r = base1)</b> |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                       |                       |
|------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Overall MSA = 0.7</b>     |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                       |                       |
| <b>MSA for each item =</b>   |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                       |                       |
| <b>X<sub>1</sub></b>         | <b>X<sub>2</sub></b> | <b>X<sub>3</sub></b> | <b>X<sub>4</sub></b> | <b>X<sub>5</sub></b> | <b>X<sub>6</sub></b> | <b>X<sub>7</sub></b> | <b>X<sub>8</sub></b> | <b>X<sub>9</sub></b> | <b>X<sub>10</sub></b> | <b>X<sub>11</sub></b> |
| 0.72                         | 0.67                 | 0.68                 | 0.61                 | 0.63                 | 0.65                 | 0.68                 | 0.76                 | 0.79                 | 0.72                  | 0.76                  |

**FUENTE:** Elaboración propia a partir de las corridas en Rstudio.

**Cuadro 3.5.** Resultados del Test de Barlett

| <b>X<sup>2</sup></b> | <b>P valor</b> | <b>Grados de libertad</b> |
|----------------------|----------------|---------------------------|
| 296.3023             | 8.871275e-35   | 55                        |

**FUENTE:** Elaboración propia a partir de las corridas en Rstudio.

Como se puede observar, el KMO se encuentra en el nivel medio, por tanto, es viable efectuar el AF. Asimismo, en la prueba de Barlett se obtuvo un valor  $p < 0.05$ , por tanto, a un nivel de confianza  $(1-\alpha)$  del 0.95 y un nivel de significancia  $(\alpha)$  de 0.05, la matriz de correlación es significativamente diferente a una matriz identidad.

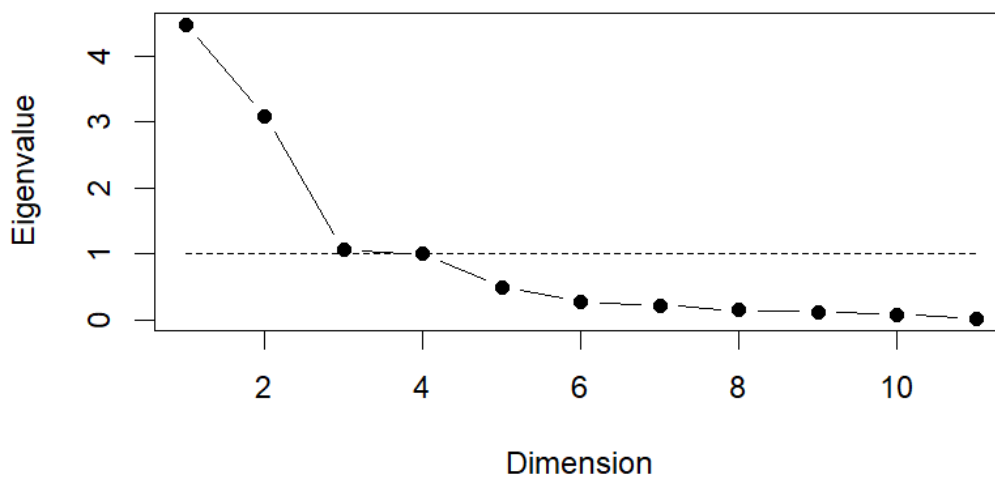
Aplicando el AF a partir de la matriz de correlación se obtiene:

**Cuadro 3.6.** Importancia de los factores

| <b>Factor</b> | $\lambda$ | <b>% var</b> | <b>% acumulado</b> |
|---------------|-----------|--------------|--------------------|
| Factor 1      | 4.48      | 40.76        | 40.76              |
| Factor 2      | 3.09      | 28.13        | 68.90              |
| Factor 3      | 1.06      | 9.63         | 78.52              |
| Factor 4      | 1.00      | 9.10         | 87.62              |
| Factor 5      | 0.50      | 4.53         | 92.15              |
| Factor 6      | 0.27      | 2.47         | 94.62              |
| Factor 7      | 0.22      | 2.02         | 96.64              |
| Factor 8      | 0.14      | 1.32         | 97.96              |
| Factor 9      | 0.12      | 1.10         | 99.06              |
| Factor 10     | 0.08      | 0.73         | 99.80              |
| Factor 11     | 0.02      | 0.20         | 100.00             |

**FUENTE:** Elaboración propia a partir de las corridas en Rstudio.

**Gráfico 3.1.** Screeplot



**FUENTE:** Elaboración propia a partir de las corridas en Rstudio.

Se puede observar que los primeros cuatro factores son suficientes para predecir el fenómeno. A partir del criterio de kaiser, se seleccionan los factores que  $\lambda_i \geq 1$ , donde  $\lambda_1 \geq \lambda_2, \dots, \geq \lambda_p$  son los valores propios o varianzas (Guerrero, 2024).

A partir del Cuadro 3.6 y el Gráfico 3.1, se identifica que los primeros cuatro factoriales tienen un  $\lambda_i \geq 1$ , y explican el 87.6% de la variabilidad de los datos.

Corriendo el modelo en Rstudio se obtiene:

**Cuadro 3.7.** Resultados del AF

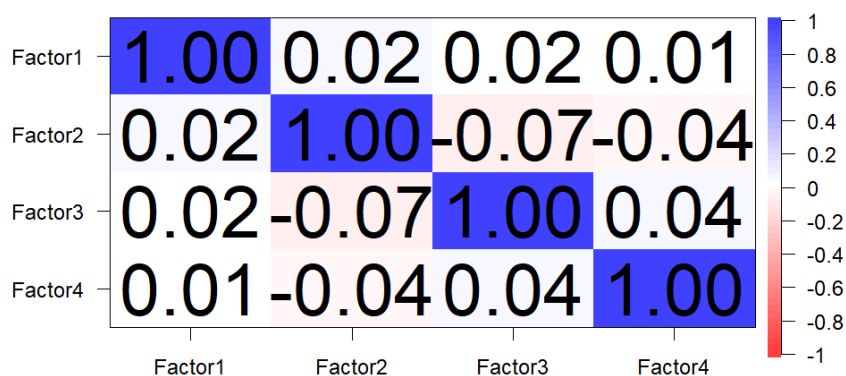
| Call:<br>factanal(x = base1, factors = 4, scores = c("regression"), rotation = "varimax", method = "mle")                                     |                 |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                 |                 |  |
|---|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| Uniquenesses:   |                 |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                 |                 |  |
|   | X <sub>1</sub>  | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub>  | X <sub>6</sub> | X <sub>7</sub> | X <sub>8</sub> | X <sub>9</sub>  | X <sub>10</sub> | X <sub>11</sub> |  |
|   | 0.233           | 0.329          | 0.149          | 0.005          | 0.093           | 0.25           | 0.075          | 0.168          | 0.176           | 0.135           | 0.21            |  |
| Loadings:   |                 |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                 |                 |  |
|   | X <sub>1</sub>  | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub>  | X <sub>6</sub> | X <sub>7</sub> | X <sub>8</sub> | X <sub>9</sub>  | X <sub>10</sub> | X <sub>11</sub> |  |
| FA <sub>1</sub>   | 0.346           | 0.259          | 0.9            | 0.987          | 0.943           |                |                | 0.214          | 0.248           | -0.129          |                 |  |
| FA <sub>2</sub>   | -0.364          |                | -0.113         | 0.108          | 0.123           | 0.209          | -0.356         | 0.825          | 0.592           | 0.871           | -0.187          |  |
| FA <sub>3</sub>   | 0.637           | 0.408          | 0.131          |                |                 | -0.633         | 0.129          | -0.325         | -0.373          | -0.183          | 0.834           |  |
| FA <sub>4</sub>   | 0.33            | 0.657          | 0.102          |                |                 |                | 0.88           |                | -0.523          | -0.237          | 0.24            |  |
| Proportion:   |                 |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                 |                 |  |
|   | FA <sub>1</sub> |                |                |                | FA <sub>2</sub> |                |                |                | FA <sub>3</sub> |                 |                 |  |
| SS loadings   | 2.991           |                |                |                | 2.174           |                |                |                | 1.984           |                 |                 |  |
| Proportion var  | 0.272           |                |                |                | 0.198           |                |                |                | 0.18            |                 |                 |  |
| Cumulative var  | 0.272           |                |                |                | 0.47            |                |                |                | 0.65            |                 |                 |  |
| Test of the hypothesis that 4 factors are sufficient.<br>The chi square statistic is 23.27 on 17 degrees of freedom.<br>The p-value is 0.141. |                 |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                 |                 |  |

FUENTE: Elaboración propia a partir de las corridas en Rstudio.

A partir del ajuste de los factores cuando  $\lim_{e_i \rightarrow 0} [\text{var}(e_i^2)] \sim 0$ , se aprecia que todas las variables son significativas para predecir la dinámica de la degradación del suelo en México. De igual forma se observa que el  $p > 0.05$ , por tanto, el número de factores son estadísticamente significativos para predecir el fenómeno.

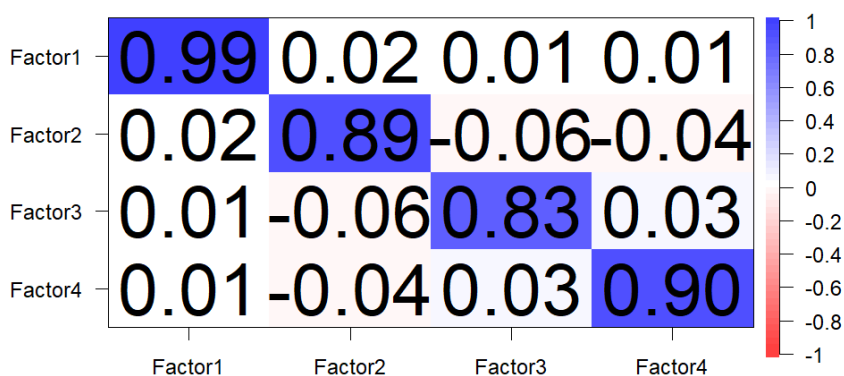
Con base en los resultados del modelo se procede a la validación:

**Figura 3.2.** Matriz de correlación entre factores



FUENTE: Elaboración propia a partir de las corridas en Rstudio.

**Figura 3.3.** Matriz de varianzas y covarianzas entre factores



FUENTE: Elaboración propia a partir de las corridas en Rstudio.

**Cuadro 3.8.** Estadísticos descriptivos de los factores

|                    | FA <sub>1</sub> | FA <sub>2</sub> | FA <sub>3</sub> | FA <sub>4</sub> |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Mínimo</b>      | -1.6498         | -0.9125         | -1.1448         | -3.1488         |
| <b>1er cuartil</b> | -0.7677         | -0.5723         | -0.594          | -0.6363         |
| <b>Mediana</b>     | -0.2555         | -0.2792         | -0.2651         | 0.2536          |
| <b>Media</b>       | 0               | 0               | 0               | 0               |
| <b>3er cuartil</b> | 0.7813          | 0.1539          | 0.4621          | 0.6109          |
| <b>Máximo</b>      | 2.0232          | 3.4049          | 2.6635          | 1.3395          |

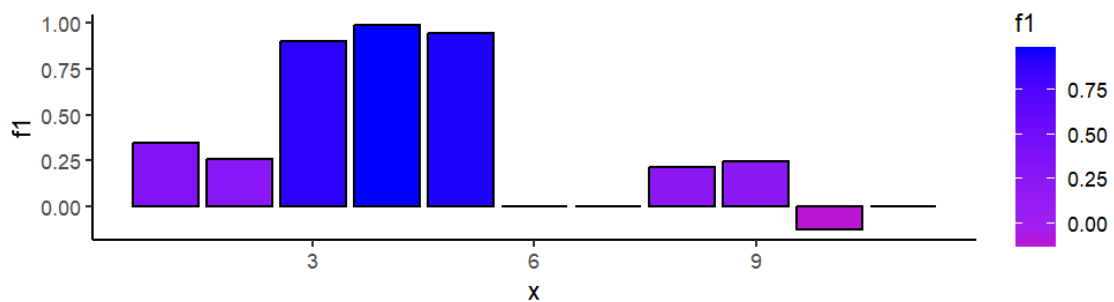
FUENTE: Elaboración propia mediante las corridas en Rstudio.

De acuerdo con la Figura 3.1, Figura 3.2 y el Cuadro 3.8 se puede observar el cumplimiento de los supuestos de no correlación entre ellos, varianza uno, covarianza nula, y valor esperado cero, es decir:

- $Cor(FA_i, FA_j) = 0$
- $Var(FA_i) = 1$
- $Cov(FA_i, FA_j) = 0$
- $E(FA_i) = 0$

Con referencia en el cumplimiento de tales supuestos, la designación de los factores es la siguiente:

**Gráfico 3.2.** Índice de Agroquímicos



**FUENTE:** Elaboración propia mediante las corridas en Rstudio.

El primer factor está asociado con las variables  $X_3$ ,  $X_4$  y  $X_5$

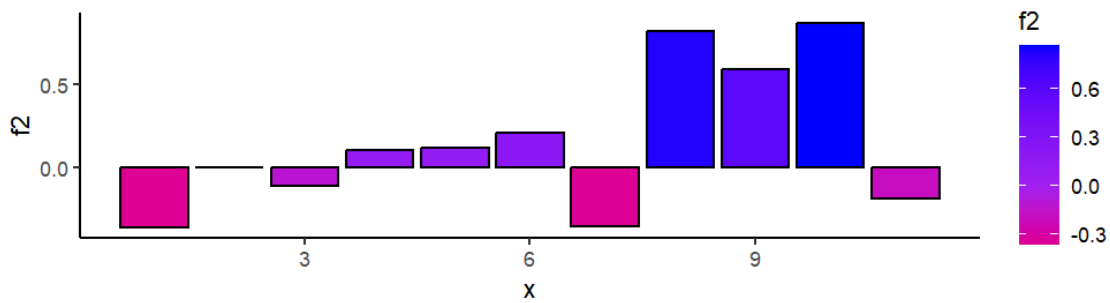
- $X_3$  = Tasa de herbicidas.
- $X_4$  = Tasa de insecticidas.
- $X_5$  = Tasa de fungicidas.

Donde:

$$PVar(\lambda_1) = 0.272 \quad Traza = 0.807 \quad PV_1 = \frac{0.272}{0.807} = 0.337 \quad (25)$$

Este primer factor representa el 27.2% de la varianza total y manifiesta el 33.7% del total de los cuatro factores. Este índice se nombra como “Índice de Agroquímicos (IA)”.

**Gráfico 3.3.** Índice de Presión Agropecuaria



1

**FUENTE:** Elaboración propia mediante las corridas en Rstudio.

El segundo factor está asociado con las variables  $X_8$ ,  $X_9$  y  $X_{10}$ .

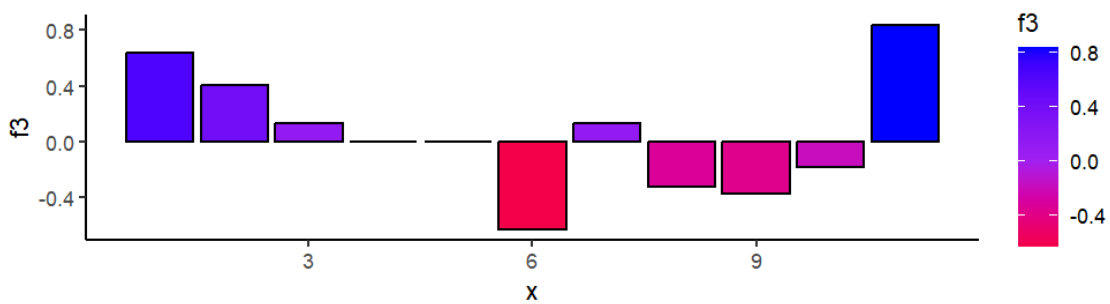
- $X_8$  = Tasa de irrigación.
- $X_9$  = Tasa de labranza excesiva.
- $X_{10}$  = Coeficiente de agostadero.

Donde:

$$PVar(\lambda_2) = 0.198 \quad Traza = 0.807 \quad PV_2 = \frac{0.198}{0.807} = 0.245 \quad (26)$$

Este segundo factor explica el 19.8% de la varianza total y representa el 24.5% del total de los cuatro factores. Este índice se denota como “Índice de Presión Agropecuaria (IPA)”.

**Gráfico 3.4.** Índice de Disponibilidad Hídrica



**FUENTE:** Elaboración propia mediante las corridas en Rstudio.

El tercer factor está asociado con las variables  $X_1$ ,  $X_6$  y  $X_{11}$

- $X_1$  = Precipitación media anual.
- $X_6$  = Grado de presión hídrica.

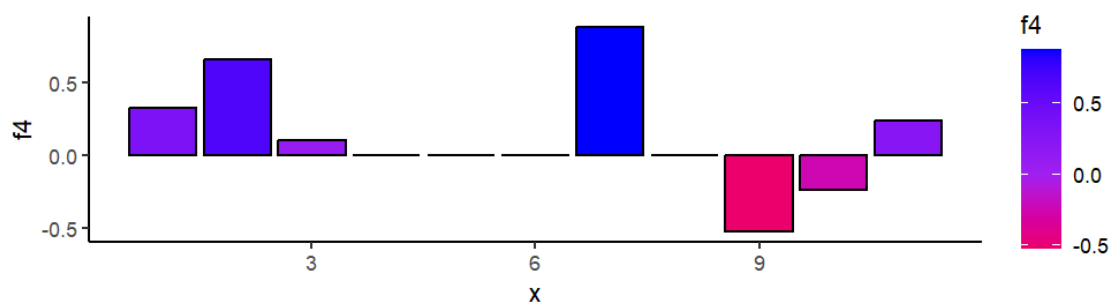
- $X_{11}$  = Disponibilidad de recursos hídricos per cápita.

Donde:

$$PVar(\lambda_3) = 0.18 \quad Traza = 0.807 \quad PV_3 = \frac{0.18}{0.807} = 0.223 \quad (27)$$

Del total de la varianza, el tercer factor explica el 18% de esta, así como el 22.3% de la varianza de los cuatro componentes. Este factor se nombra como “Índice de Disponibilidad Hídrica (IDH)”.

**Gráfico 3.5. Índice de Monocultivos**



**FUENTE:** Elaboración propia mediante las corridas en Rstudio.

El cuarto factor está asociado con las variables  $X_2$  y  $X_7$

- $X_2$  = Temperatura media anual.
- $X_7$  = Tasa de rotación.

Donde:

$$PVar(\lambda_4) = 0.157 \quad Traza = 0.807 \quad PV_4 = \frac{0.157}{0.807} = 0.195 \quad (28)$$

Este último factor explica el 15.7% de la variabilidad total, además representa del 19.5% de la variabilidad de los cuatro factores. En este contexto, este índice se llama “Índice de Monocultivos (IMS)”.



Finalmente, para hallar el valor esperado del Índice de Degradación del Suelo se parte de los IA, IPA, IEH<sup>9</sup> y el IMS.


Esto es:

$$E(IDS) = IA + IPA + IEH + IMS \quad (29)$$

Donde:

- E(IDS) = Es el valor esperado del Índice de Degradación del Suelo.
- IA = Es el Índice de Agroquímicos.
- IPA = Es el Índice de Presión Agropecuaria.
- IEH = Es el Índice de Estrés Hídrico.
- IMS = Es el Índice de Monocultivos.

Donde:

|   | $0 \leq IDS \leq 2.5$   |   |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>0 \leq IDS \leq 2</math></li> <li>▪ <math>2.1 \leq IDS \leq 4</math></li> <li>▪ <math>4.1 \leq IDS \leq 6</math></li> <li>▪ <math>6.1 \leq IDS \leq 8</math></li> <li>▪ <math>8.1 \leq IDS \leq 10</math></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ligera degradación del suelo.</li> <li>Moderada degradación del suelo.</li> <li>Alta degradación del suelo.</li> <li>Severa degradación del suelo.</li> <li>Crítica degradación del suelo</li> </ul> |  |

Estos índices explican en un 80.7% de la variabilidad de las variables de Degradación del Suelo. Los elementos esenciales para determinar estos indicadores son los Scores, los cuales se pueden interpretar como nuevas variables o índices para estimar el valor esperado del IDS.

---

<sup>9</sup> El Índice de Estrés Hídrico (IEH) es el inverso del Índice de Disponibilidad Hídrica (IDH) calculado mediante:

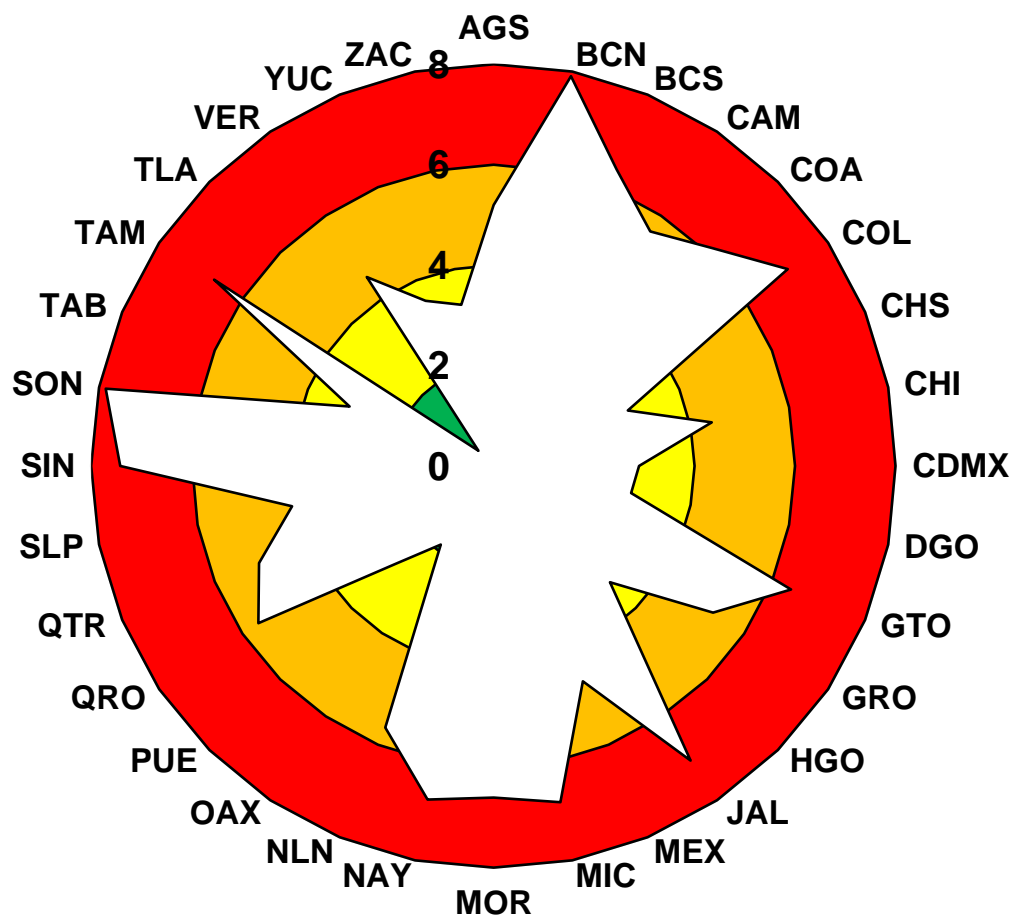
$$IEH = IDH * (-1)$$

Estos mismos indicadores proporcionan información sobre el grado de susceptibilidad que existe a la contaminación por el uso de agroquímicos, el grado de presión derivado de actividades agropecuarias, los monocultivos y el estrés hídrico.

Gráficamente esto es:

**Gráfico 3.6.** Grado de Degradación del Suelo por Entidad Federativa

■ Severa ■ Alta ■ Moderada ■ Baja □ IDS

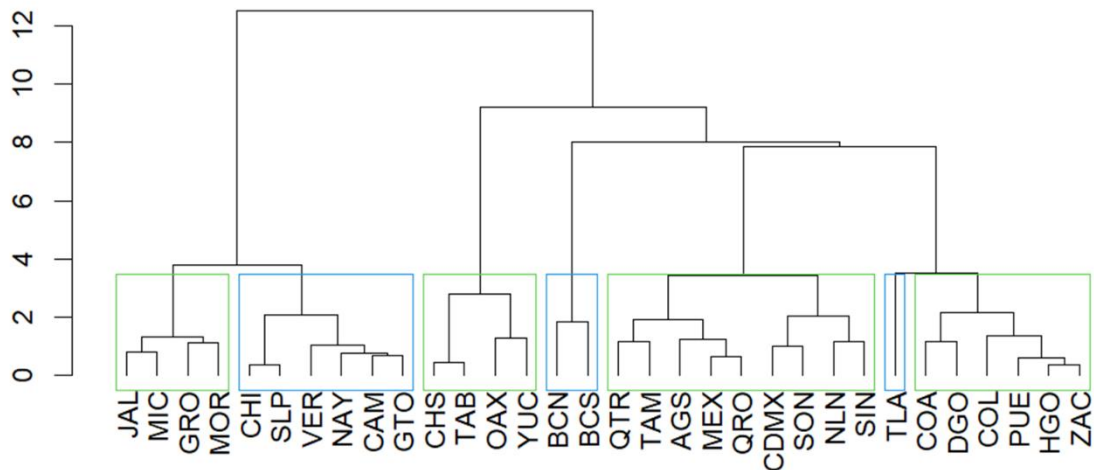


FUENTE: Elaboración propia mediante las corridas en Rstudio.

### 3.7 DIVISIÓN TERRITORIAL

A partir de los indicadores generados en la sección anterior y con el fin de definir grupos regionales que permitan conocer las características principales de estos y con ello focalizar acciones específicas por cada entidad federativa, se realiza un análisis clúster:

**Figura 3.4.** Dendograma de la República Mexicana



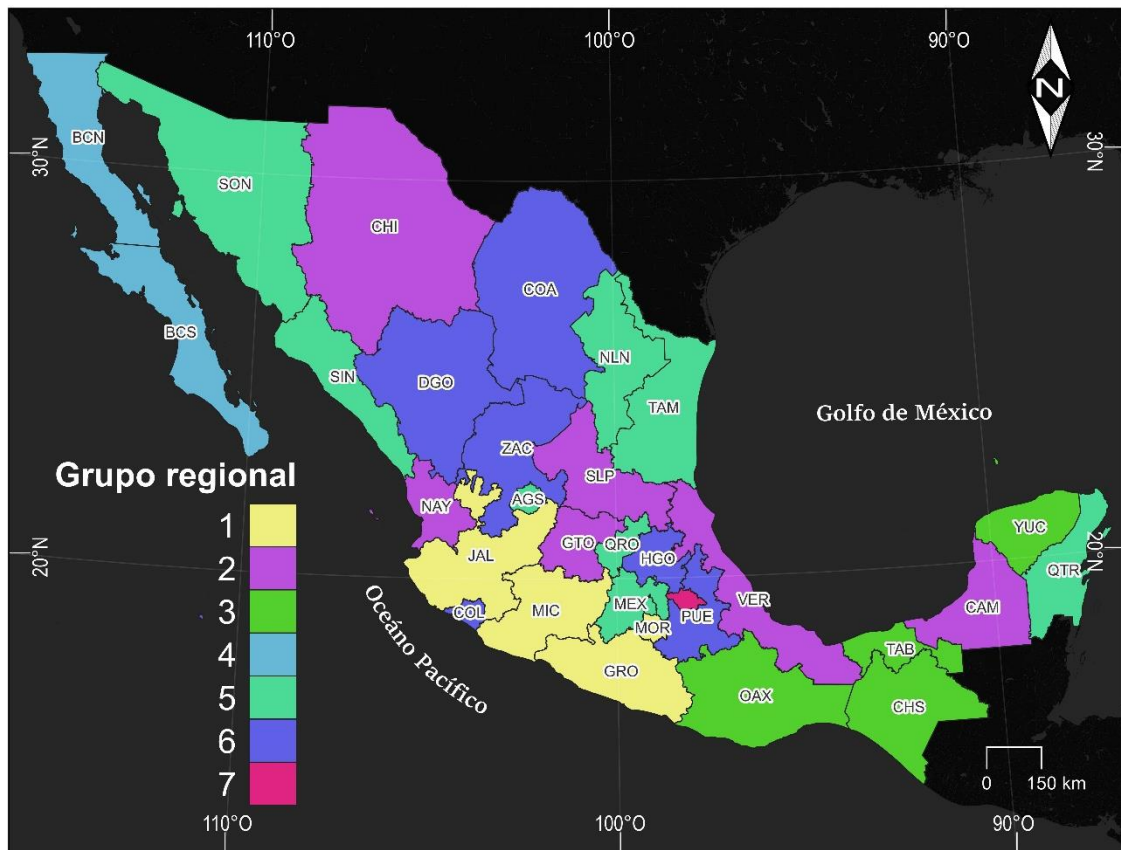
**FUENTE:** Elaboración propia mediante los indicadores que componen el IDS.

La liga para generar el agrupamiento fue la de Ward, pues esta permite maximizar la homogeneidad dentro de los grupos. Para ello (Peña, 2002):

- Se calcula la media de todas las variables en cada conglomerado.
- Se calcula la distancia entre cada caso y la media del conglomerado, sumando la distancia entre todos los casos.
- Se agrupan los conglomerados que generan menor aumento en la suma de distancias dentro de cada conglomerado.

Con base en lo anterior podemos observar la existencia de siete grupos regionales, los que espacialmente se ven de la siguiente manera:

**Mapa 3.12.** Grupos regionales con base en el IDS, México, 2022.



**FUENTE:** Elaboración propia mediante el análisis clúster.

### 3.7.1 Grupo regional 1

Está compuesto por los estados de Guerrero, Jalisco, Michoacán y Morelos.

**Cuadro 3.9.** Valores por Índice del Grupo 1

| EDO | GRO  | JAL  | MIC  | MOR  |
|-----|------|------|------|------|
| IA  | 5.35 | 6.02 | 5.30 | 5.92 |
| IPA | 3.74 | 3.44 | 3.72 | 4.21 |
| IEH | 5.02 | 4.61 | 4.58 | 4.19 |
| IMS | 3.30 | 3.98 | 4.22 | 3.27 |
| IDS | 6.41 | 7.05 | 6.82 | 6.60 |

**FUENTE:** Elaboración propia mediante el análisis y los resultados por índice.

Las características principales que se observan en el cuadro 3.9 son:

- Los estados se encuentran en un grado severo de degradación, siendo Jalisco el de mayor grado, esto pese a que esta entidad es la única que no se especializa en el sector primario, sino en el secundario. Por tanto el grado de priorización es alto.
- Una característica importante que se destaca en las tres entidades es el uso de agroquímicos, pues estas entidades se destacan por la producción agrícola, principalmente jícama en los estados de Morelos y Guerrero, en Jalisco el plátano y la sandía, esta última fruta también con gran importancia para Guerrero (considerada también una región cafetalera).
- En términos de la presión agropecuaria se observan valores moderados, por lo que se consideran elementos de mediana priorización.
- Para el caso del IEH, se pueden observar valores que tienden a la categoría de alto, con excepción de Morelos.

### 3.7.2 Grupo regional 2

Compuesto por Campeche, Chihuahua, Guanajuato, Nayarit, San Luis Potosí y Veracruz.

**Cuadro 3.10.** Valores por Índice del Grupo 2

| EDO | CAM  | CHI  | GTO  | NAY  | SLP  | VER  |
|-----|------|------|------|------|------|------|
| IA  | 4.72 | 5.09 | 5.13 | 5.32 | 4.96 | 4.37 |
| IPA | 3.73 | 4.13 | 3.36 | 3.89 | 4.36 | 3.16 |
| IEH | 3.46 | 4.27 | 3.48 | 3.81 | 4.51 | 3.56 |
| IMS | 4.70 | 4.55 | 4.29 | 4.74 | 4.61 | 4.45 |
| IDS | 5.61 | 7.04 | 5.25 | 6.76 | 7.43 | 4.53 |

**FUENTE:** Elaboración propia mediante el análisis y los resultados por índice.

- El IDS en las entidades de este grupo se presenta en valores que oscilan de lo más alto a moderado.
- El indicador prioritario que se debe de atender es el Índice de Agroquímicos pues derivado de la propia dinámica de la producción de estos estados, principalmente la caña de azúcar en Campeche, Nayarit, Veracruz, San Luis Potosí que necesita altas cantidades de agroquímicos nitrogenados, fosfatados y potásicos.
- Para el caso de Chihuahua, la degradación se encuentra relacionada con la producción de maíz blanco, Guanajuato con la producción de sorgo

- El segundo indicador prioritario es el de monocultivos y altas temperaturas, por lo que se hace necesaria la rotación de cultivos, elemento que permitirá mantener nutrientes suficientes en el suelo.
- En estos estados no resulta de suma urgencia la atención del IPA y el IEH.

### 3.7.3 Grupo regional 3

Chiapas, Oaxaca, Tabasco y Yucatán forman parte de este grupo regional.

**Cuadro 3.11.** Valores por Índice del Grupo 3

| EDO | CHS  | OAX  | TAB  | YUC  |
|-----|------|------|------|------|
| IA  | 4.24 | 3.04 | 4.33 | 2.94 |
| IPA | 3.70 | 3.58 | 3.51 | 3.61 |
| IEH | 1.34 | 2.32 | 1.73 | 3.01 |
| IMS | 4.62 | 3.94 | 4.53 | 5.00 |
| IDS | 2.89 | 1.88 | 3.11 | 3.55 |

**FUENTE:** Elaboración propia mediante el análisis y los resultados por índice.

Los elementos que caracterizan a este grupo regional son:

- En este grupo regional se puede observar una alta incidencia del índice de monocultivos.
- De igual forma se presenta una incidencia moderada en el índice de presión agropecuaria (IPA), lo que habla de una baja presencia de la actividad ganadera, pero si una presencia moderada de actividades que promueven procesos erosivos en términos agrícolas, tal como el exceso de labranza.
- Asimismo, existe una incidencia moderada en el índice de monocultivos, teniendo el valor más alto Yucatán.
- De manera general este grupo tiene una susceptibilidad baja-moderada dada por el valor del IDS.

### 3.7.4 Grupo regional 4

Se integra por los estados de Baja California Norte y Baja California Sur.

**Cuadro 3.12.** Valores por Índice del Grupo 4

| EDO | BCN  | BCS  |
|-----|------|------|
| IA  | 4.51 | 3.99 |
| IPA | 6.40 | 7.40 |
| IEH | 4.51 | 3.24 |
| ISM | 3.49 | 2.76 |
| IDS | 7.91 | 6.39 |

**FUENTE:** Elaboración propia mediante el análisis y los resultados por índice.

Con respecto a los valores de los indicadores de este grupo regional se puede decir que:

- El indicador IPA se encuentra dentro de los valores más altos, resultado de la actividad agropecuaria intensiva en cultivos perennes, principalmente la alfalfa, producto que se utiliza principalmente como forraje para ganado.
- De igual manera se presenta una incidencia importante en el uso de agroquímicos, por lo que es fundamental atender estos elementos.
- De manera particular existe un estrés hídrico latente en estas entidades, siendo esta región la que mayor problema en la disponibilidad de este líquido solo detrás del Valle de México, derivado de la disminución del abastecimiento por parte del estado de California, Estados Unidos.
- El índice de monocultivos se presenta como el de menor prioridad para este grupo regional.
- De acuerdo con el IDS, este grupo tiene una susceptibilidad severa.

### 3.7.5 Grupo regional 5

Conformado por los estados de Aguascalientes, Ciudad de México, Estado de México, Nuevo León, Quintana Roo, Querétaro, Sinaloa, Sonora y Tampico.

**Cuadro 3.13.** Valores por Índice del Grupo 5

| EDO | AGS  | CDMX | MEX  | NLN  | QRO  | QTR  | SIN  | SON  | TAM  |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| IA  | 3.59 | 2.95 | 3.43 | 2.35 | 3.56 | 3.18 | 2.67 | 3.70 | 4.04 |
| IPA | 3.93 | 5.19 | 3.14 | 4.53 | 3.65 | 3.18 | 3.82 | 5.39 | 3.92 |
| IEH | 5.14 | 4.54 | 4.85 | 4.59 | 4.85 | 4.35 | 4.17 | 4.68 | 4.60 |
| IMS | 3.54 | 4.46 | 4.21 | 5.16 | 4.56 | 5.34 | 4.43 | 5.11 | 5.13 |
| IDS | 5.20 | 6.14 | 4.64 | 5.63 | 5.63 | 5.05 | 4.08 | 7.87 | 6.69 |

**FUENTE:** Elaboración propia mediante el análisis y los resultados por índice.

- Este grupo regional se caracteriza por tener un importante estrés hídrico, principalmente en Aguascalientes, Estado de México y Querétaro.
- De manera particular existe un grado moderado a alto en el índice de cultivos y sequías en todo el grupo, excluyendo a Aguascalientes.
- El IPA tiene una incidencia moderada en la mayor parte de las entidades a excepción de Ciudad de México, Sonora y Nuevo León con un grado alto.
- El Índice de Agroquímicos tiene los valores más bajos por tanto, es de baja prioridad.
- Finalmente, el IDS se encuentra en valores moderados a altos, a excepción de Sonora que se presenta con una susceptibilidad severa.

### 3.7.6 Grupo regional 6

Se constituye por los estados de Coahuila, Colima, Durango, Hidalgo, Puebla y Zacatecas.

**Cuadro 3.14.** Valores por Índice del Grupo 6

| EDO | COA  | COL  | DGO  | HGO  | PUE  | ZAC  |
|-----|------|------|------|------|------|------|
| IA  | 3.47 | 2.52 | 3.79 | 3.25 | 3.44 | 3.18 |
| IPA | 4.55 | 3.38 | 3.94 | 3.32 | 3.39 | 3.64 |
| IEH | 4.01 | 4.90 | 3.27 | 4.31 | 4.00 | 4.26 |
| ISM | 3.39 | 3.10 | 2.79 | 3.39 | 2.92 | 3.19 |
| IDS | 4.42 | 2.90 | 2.79 | 3.27 | 2.76 | 3.27 |

FUENTE: Elaboración propia mediante el análisis y los resultados por índice.

- En este grupo, ninguno de los factores incide de manera significativa, no obstante en el IDS en este grupo se cataloga en el grado moderado, a excepción de Coahuila, con un grado moderado.
- El elemento que debe de ser atendido de manera particular es el estrés hídrico.
- El índice de presión agropecuaria se encuentra en un grado moderado en los diferentes estados de este grupo regional, no obstante, para el caso de Coahuila es alto, principalmente por la producción de cultivos forrajeros incentivado por una densa población ganadera.



### 3.7.7 Grupo regional 7

Dada su poca importancia en términos agrícolas, Tlaxcala se considera fuera de cualquier grupo regional y por ello tiene una prioridad muy baja. No obstante, para Tlaxcala se recomienda trabajar en el estrés hídrico.

**Cuadro 3.15.** Valores por Índice del Grupo 7

| EDO | TLA  |
|-----|------|
| IA  | 3.66 |
| IPA | 3.09 |
| IEH | 3.83 |
| ISM | 0.85 |
| IDS | 0.43 |

**FUENTE:** Elaboración propia mediante el análisis y los resultados por índice.

## 3.8 CONCLUSIONES

Partiendo del análisis factorial se logró la construcción de un índice que permite predecir el grado de susceptibilidad a degradación del suelo derivado de elementos de la actividad agrícola y factores climáticos. Este índice permite obtener una fotografía del fenómeno de estudio.

Posteriormente, con los indicadores generados mediante este modelaje (Índice de Agroquímicos, Índice de Presión Agropecuaria, Índice de Estrés Hídrico e índice de Monocultivos) se generaron grupos regionales (esto a partir del método de clusterización de Ward) lo que permitió conocer las semejanzas y particularidades entre cada grupo, base para la focalización de acciones.

# CAPÍTULO IV.

## RECOMENDACIONES PARA LA POLÍTICA PÚBLICA

### 4.1 INTRODUCCIÓN

Retomando el Índice de Degradación del Suelo y los índices que lo componen, en este apartado se construyen los ejes estratégicos de los cuales se desprenden una serie de líneas de acción.

Igualmente, se establece el grado de priorización de atención de los grupos regionales contruidos en el capítulo anterior y los ejes de incidencia en cada uno.

### 4.2 EJES ESTRATÉGICOS

Con base en el modelaje presentado en el capítulo anterior se determinó que los factores de mayor incidencia sobre la susceptibilidad a la degradación del suelo son:

**Cuadro 4.1.** Factores que inciden en la degradación del suelo

|                               |                                       |                                 |                               |
|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 33.7%                         | <b>Índice de Presión Agropecuaria</b> | 22.3%                           | <b>Índice de Monocultivos</b> |
| <b>Índice de Agroquímicos</b> | 24.5%                                 | <b>Índice de Estrés Hídrico</b> | 19.5%                         |

FUENTE: Elaboración propia con base en el modelo.

Tomando como referencia estos factores se construyeron 4 ejes estratégicos con líneas de acción generales que se desprenden de los mismos:

**Cuadro 4.2.** Ejes propuestos

| EJE ESTRATÉGICO  | LINEAS DE ACCIÓN GENERALES   |
|--|--|
| <b>1. Promoción de la Agricultura Ecológica y Regenerativa</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Educación y Capacitación: a partir de programas sobre prácticas de agricultura ecológica y regenerativa.</li> </ul> |

| <b>EJE ESTRATÉGICO</b>   | <b>LINEAS DE ACCIÓN GENERALES</b>   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigación y Desarrollo: en métodos de agrícolas sostenibles y biotecnologías que permitan la sustitución de pesticidas.</li> <li>• Incentivos y subsidios económicos: mediante créditos y otros incentivos financieros que fomenten el uso de otras alternativas así como la promoción de programas de certificación agrícola.</li> <li>• Normatividad y regulación: Establecer normas que prohíban el uso de agroquímicos dañinos al medio ambiente y la salud.</li> <li>• Tecnología: Facilitar el acceso a insumos orgánicos frente a los programas de fertilizantes y pesticidas químicos, así como la promoción de maquinaria eficiente.</li> <li>• Redes y coordinación: Apoyar la formación de cooperativas y redes de agricultores que permitan compartir los diversos conocimientos entre productores, investigadores y consumidores.</li> <li>• Concientización y sensibilización: Promover campañas a la población sobre los beneficios de la agricultura ecológica.</li> </ul> |
| <p style="text-align: center;"><b>2. Integración de sistemas agropecuarios diversificados y sostenibles.</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asesoramiento técnico: promover el asesoramiento técnico, continuo y personalizado que permita la rotación de cultivos y la transición a un sistema de pastoreo regenerativos.</li> <li>• Incentivos y subsidios económicos: ofrecer subsidios y créditos blandos para inversiones en infraestructura que facilite la integración de actividades agrícolas y pecuarias, como sistemas de riego eficientes, cercas para rotación de pastizales y construcción de corrales.</li> <li>• Tecnología: promover el acceso a semillas de variedades diversas y</li> </ul>   |

| <b>EJE ESTRATÉGICO</b>  | <b>LINEAS DE ACCIÓN GENERALES</b>   |
|---|---|
|   | <p>resistentes, así como a razas de ganado adaptadas a las condiciones locales.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo integrado del paisaje: promover la agrofostería y la incorporación de distintas especies de árboles en los sistemas agrícolas y pecuarios que permitan mejorar la salud ecosistémica y proporcionar beneficios como protección ante agentes erosivos.</li> </ul>  |
| <p><b>3. Gestión Eficiente y Sostenible del Agua en la Agricultura.</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversión en infraestructura: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementación de tecnologías de riego por goteo y aspersión que optimicen el uso del agua y reduzcan el riesgo de erosión hídrica.</li> <li>- Inversión en la mejora de infraestructura de almacenamiento, distribución de agua como presas, embalses y canales, así como en aquella que se pueda proporcionar para la recolección de agua de lluvia.</li> <li>- Rehabilitación y mantenimiento de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales.</li> </ul> </li> <li>• Capacitación en Prácticas Agrícolas Sostenibles: promoción de prácticas que mejoren la retención de agua del suelo, tal como la agricultura de conservación, el mantenimiento de coberturas vegetales endémicas.</li> <li>• Incentivos económicos: Pagos y bonos por servicios ambientales a productores que adopten prácticas que mejoren la gestión del agua y la plena conservación del recurso hídrico.</li> <li>• Regulación: Crear programas de monitoreo y control del uso del agua, así como sistemas de incentivos y sanciones para fomentar el cumplimiento de las normativas.</li> </ul> |

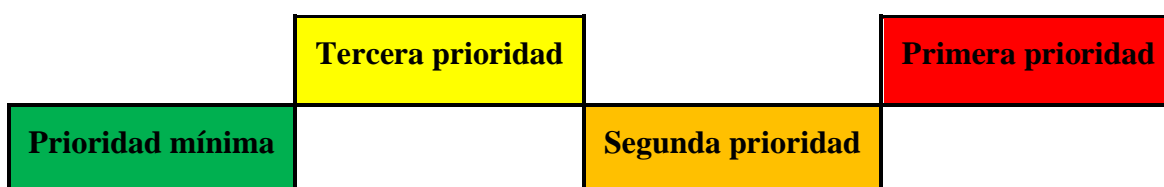
| <b>EJE ESTRATÉGICO</b>   | <b>LINEAS DE ACCIÓN GENERALES</b>   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión integrada de cuencas hidrográficas: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementar un enfoque de gestión integrada de cuencas hidrográficas, que considere las necesidades de todos los usuarios del agua y promueva la colaboración entre ellos.</li> <li>- Fomentar la restauración de ecosistemas acuáticos y zonas riparias para mejorar la recarga de acuíferos y la calidad del agua.</li> </ul> </li> </ul>   |
| <p style="text-align: center;"><b>4. Diversificación de cultivos y Adaptación al Cambio Climático.</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversificación de cultivos: fomentar los policultivos bajo el sistema milpa que permita reducir el riesgo de pérdidas debido a condiciones climáticas extremas.</li> <li>• Biotecnología e innovación tecnológica: fomentar la investigación y desarrollo de cultivos y variedades resistentes a condiciones climáticas adversas.</li> <li>• Regulación: establecer candados en la normatividad que incentiven la reducción de la dependencia de los monocultivos y se promuevan prácticas agrícolas sostenibles.</li> <li>• Monitoreo y evaluación: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementación de sistemas de monitoreo para la evaluación de impactos de las altas temperaturas y otros fenómenos sobre la producción agrícola.</li> <li>- Desarrollar herramientas de evaluación y modelos predictivos que permitan a los productores y entidades responsables a tomar decisiones informadas sobre la gestión de los cultivos.</li> </ul> </li> </ul> |

**FUENTE:** Elaboración propia mediante el análisis y los resultados por índice.

### 4.3 PRIORIZACIÓN POR GRUPO REGIONAL

En este apartado se ordenaron los grupos regionales de acuerdo con su grado de jerarquía de atención del IDS, donde el grado de prioridad por grupo regional va del I al VII. De igual forma se presenta la urgencia de atención por eje con base en la siguiente semaforización:

**Cuadro 4.3.** Semáforo de atención



FUENTE: Elaboración propia.

Con base en lo anterior, se determina que es necesario atender:

**Cuadro 4.4.** Grupo con prioridad I

| ESTADO | EJE 1    | EJE 2 | EJE 3    | EJE 4 | PRIORIDAD DE ATENCIÓN |
|--------|----------|-------|----------|-------|-----------------------|
| BCN    | Amarillo | Rojo  | Amarillo | Verde | Rojo                  |
| BCS    | Verde    | Rojo  | Verde    | Verde | Rojo                  |

FUENTE: Elaboración propia mediante el análisis y los resultados por índice.

- Debe atenderse a este grupo regional de manera urgente, retomando acciones relacionadas con el Eje 2. Integración de sistemas agropecuarios diversificados y sostenibles.
- En segundo lugar, atenderse los ejes 1 y 3, “Promoción de la Agricultura Ecológica y Regenerativa” y “Gestión Eficiente y Sostenible del Agua en la Agricultura”.
- Por último, emprender acciones en torno al eje 4. Diversificación de cultivos y Adaptación al Cambio Climático

**Cuadro 4.5.** Grupo con prioridad II

| ESTADO | EJE 1  | EJE 2  | EJE 3  | EJE 4  | PRIORIDAD DE ATENCIÓN |
|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------------|
| GRO    | Orange | Yellow | Yellow | Orange | Orange                |
| JAL    | Red    | Yellow | Orange | Yellow | Red                   |
| MIC    | Orange | Yellow | Orange | Orange | Red                   |
| MOR    | Orange | Orange | Orange | Yellow | Red                   |

FUENTE: Elaboración propia mediante el análisis y los resultados por índice.

- Este grupo debe de atenderse con una prioridad II, principalmente en el Eje 1. Promoción de la Agricultura Ecológica y Regenerativa.
- En segundo lugar deben de emprenderse acciones en torno al Eje 3. Gestión Eficiente y Sostenible del Agua en la Agricultura.
- Después de haber atendido estos ejes, se recomienda fomentar la Diversificación de cultivos y Adaptación al Cambio Climático, esfera de atención del Eje 4, esto partiendo de las líneas de acción propuestas.
- Por último, no urgente pero importante es atender el Eje 2. Integración de sistemas agropecuarios diversificados y sostenibles.

**Cuadro 4.6.** Grupo con prioridad III

| ESTADO | EJE 1  | EJE 2  | EJE 3  | EJE 4  | PRIORIDAD DE ATENCIÓN |
|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------------|
| AGS    | Yellow | Yellow | Orange | Yellow | Orange                |
| CDMX   | Yellow | Yellow | Orange | Yellow | Yellow                |
| MEX    | Yellow | Yellow | Orange | Orange | Orange                |
| NLN    | Yellow | Orange | Orange | Orange | Orange                |
| QRO    | Yellow | Yellow | Orange | Orange | Orange                |
| QTR    | Yellow | Yellow | Orange | Orange | Orange                |
| SIN    | Orange | Orange | Orange | Orange | Red                   |
| SON    | Yellow | Orange | Orange | Orange | Red                   |

| ESTADO | EJE 1 | EJE 2 | EJE 3 | EJE 4 | PRIORIDAD DE ATENCIÓN |
|--------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|
| TAM    |       |       |       |       |                       |

FUENTE: Elaboración propia mediante el análisis y los resultados por índice.

- Tomando como referencia el Cuadro 4.7 se determinó que este grupo regional se encuentra en una prioridad III de atención, emprendiendo acciones que ataquen el estrés hídrico a partir de las líneas de acción propuestas en el Eje 3. Gestión Eficiente y Sostenible del Agua en la Agricultura.
- De igual manera resulta importante atender el Eje 4. Gestión Eficiente y Sostenible del Agua en la Agricultura.
- De moderada prioridad se encuentra el Eje 2. Integración de sistemas agropecuarios diversificados y sostenibles.
- Por último, debe de atenderse el Eje 1. Promoción de la Agricultura Ecológica y Regenerativa, principalmente en Sonora y Tampico.

**Cuadro 4.7.** Grupo con prioridad IV

| ESTADO | EJE 1 | EJE 2 | EJE 3 | EJE 4 | PRIORIDAD DE ATENCIÓN |
|--------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|
| CAM    |       |       |       |       |                       |
| CHI    |       |       |       |       |                       |
| GTO    |       |       |       |       |                       |
| NAY    |       |       |       |       |                       |
| SLP    |       |       |       |       |                       |
| VER    |       |       |       |       |                       |

FUENTE: Elaboración propia mediante el análisis y los resultados por índice.

- Se determinó que este grupo tiene una prioridad IV, siendo Guanajuato y Nayarit los estados de primera prioridad.
- Con base en el Cuadro 4.7 se observa que los ejes de atención prioritaria tienen que ver con el Eje 1 y 4, “Promoción de la Agricultura Ecológica y Regenerativa” y “Diversificación de cultivos y Adaptación al Cambio Climático”, en este sentido deben de ser armonizadas las acciones que se emprendan en términos de la solución de los problemas que se encuentren en estas dimensiones.



- El Eje 4. Diversificación de cultivos y Adaptación al Cambio Climático, se debe de atender posterior a la atención de los ejes mencionados con anterioridad, principalmente en Chihuahua, Guanajuato y San Luis Potosí.
- Finalmente, el Eje 2. Integración de sistemas agropecuarios diversificados y sostenibles, será atendido con hasta el final.

**Cuadro 4.8.** Grupo con prioridad V

| ESTADO | EJE 1 | EJE 2 | EJE 3 | EJE 4 | PRIORIDAD DE ATENCIÓN |
|--------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|
| COA    |       |       |       |       |                       |
| COL    |       |       |       |       |                       |
| DGO    |       |       |       |       |                       |
| HGO    |       |       |       |       |                       |
| PUE    |       |       |       |       |                       |
| ZAC    |       |       |       |       |                       |

FUENTE: Elaboración propia mediante el análisis y los resultados por índice.

- Este grupo tiene una prioridad de atención V, pues solo dos estados se presentan en primera prioridad.
- El Eje 3. Gestión Eficiente y Sostenible del Agua en la Agricultura, es el que mayor atención debe de prestarse por parte de la administración pública, haciendo especial énfasis en Coahuila, Colima, Hidalgo y Zacatecas.
- Tanto el Eje 2 y el Eje 4, “Integración de sistemas agropecuarios diversificados y sostenibles” y “Diversificación de cultivos y Adaptación al Cambio Climático” se atenderán de manera simultánea priorizando a Colima y Coahuila.
- El Eje 1. Promoción de la Agricultura Ecológica y Regenerativa, se atenderá a la postre que se atiendan los demás ejes, principalmente en Coahuila.

**Cuadro 4.9.** Grupo con prioridad VI

| ESTADO | EJE 1 | EJE 2 | EJE 3 | EJE 4 | PRIORIDAD DE ATENCIÓN |
|--------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|
| CHS    |       |       |       |       |                       |
| OAX    |       |       |       |       |                       |
| TAB    |       |       |       |       |                       |
| YUC    |       |       |       |       |                       |

FUENTE: Elaboración propia mediante el análisis y los resultados por índice.

- En cuanto a este grupo, se concluyó que tiene una prioridad VI, principalmente en atención al Eje 4. Diversificación de cultivos y Adaptación al Cambio Climático, fomentando acciones en este sentido.
- Posteriormente, se deberá atender Eje 1. Promoción de la Agricultura Ecológica y Regenerativa, de manera particular en Chiapas y Tabasco.
- Seguido de ello, el Eje 2. Integración de sistemas agropecuarios diversificados y sostenibles en todos los estados, en una tercera prioridad.
- Finalmente, con respecto al estrés hídrico, elemento del que se encarga el Eje 3. Gestión Eficiente y Sostenible del Agua en la Agricultura es el de menor prioridad de atención, no obstante, es necesario emprender acciones que aseguren un abasto sostenido en Oaxaca y Yucatán.

**Cuadro 4.10.** Grupo con prioridad VII

| ESTADO | EJE 1 | EJE 2 | EJE 3 | EJE 4 | PRIORIDAD DE ATENCIÓN |
|--------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|
| TLA    |       |       |       |       |                       |

FUENTE: Elaboración propia mediante el análisis y los resultados por índice.

- Este estado se concibe con una mínima prioridad de atención en términos de degradación del suelo, no obstante, se recomienda emprender acciones menores que permitan la prevención de la degradación del suelo tomando como referencia el Eje 1, 2 y 3.

#### **4.4 CONCLUSIONES**

Con base en los Índices se construyeron cuatro ejes estratégicos:

- 1. Promoción de la Agricultura Ecológica y Regenerativa
- 2. Integración de sistemas agropecuarios diversificados y sostenibles.
- 3. Gestión Eficiente y Sostenible del Agua en la Agricultura.
- 4. Diversificación de cultivos y Adaptación al Cambio Climático.

De los cuales se desprenden estrategias que van enfocadas a la transición de sistemas productivos tradicionales, a sistemas de agroecológicos basados en gestión sostenible del suelo y el agua. Todo ello mediante la colaboración, la innovación tecnológica, el cooperativismo, la regulación y los subsidios gubernamentales.

Bajo este epígrafe, estados como Baja California Norte y Sur, deben de ser atendidos de manera urgente y en menor medida Tlaxcala, siendo el principal elemento de atención la transición a la agricultura ecológica.

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación se llegó a tres conclusiones esenciales:

- La degradación del suelo es un fenómeno complejo que resulta de la interacción entre la gestión del suelo y parámetros climáticos que se han visto alterados por el cambio climático. Esta degradación puede incidir de manera significativa en la capacidad del suelo para proveer alimentos y diversos servicios ecosistémicos, por lo que es un problema público presente en la agenda internacional y con ello, en la agenda de México, no obstante, los esfuerzos han sido insuficientes.
- La utilidad de las técnicas estadísticas para modelar el fenómeno y predecir el grado de susceptibilidad a la degradación del suelo con base en variables obtenidas de fuentes oficiales.
- Los resultados obtenidos mediante los modelos utilizados permitieron jerarquizar y focalizar líneas de acción que permitan reducir la susceptibilidad a la degradación de las entidades federativas.

En el primer capítulo se ha realizado un análisis profundo sobre el fenómeno de la degradación del suelo, destacando su evolución y las particularidades que presenta en el contexto mexicano. El capítulo aborda la complejidad del fenómeno, enfatizando que la degradación del suelo resulta de múltiples interacciones derivadas de actividades humanas como la agricultura, la urbanización y la industria extractiva.

En respuesta al impacto global de este problema, se han desarrollado varias iniciativas internacionales y nacionales para abordar la degradación del suelo. A nivel global, se destacan la Agenda 2030, la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y la reciente Declaración de los Emiratos Árabes Unidos sobre Agricultura Sostenible, Sistemas Alimentarios Resilientes y Acción Climática. Estas iniciativas subrayan la importancia de una gestión sostenible de los recursos naturales para mitigar los efectos de la degradación del suelo.

En el ámbito nacional, México cuenta con diversos instrumentos jurídicos y de planificación que buscan mitigar este fenómeno. Entre ellos, la Constitución y leyes como la Ley de Planeación, la Ley de Protección del Ambiente y, en particular, la Ley de Desarrollo Rural Sustentable. Esta última establece el Sistema Nacional de Planeación para el Desarrollo

Rural, identificando los principales actores e instrumentos de planificación necesarios para enfrentar el problema. De este marco legislativo surge la Estrategia Nacional de Suelos para la Agricultura (ENASAS), que promueve una gestión integral del suelo, aunque carece de una focalización regional adecuada, lo que resalta la importancia de investigaciones específicas como la presente.

Además, el capítulo aborda los fundamentos teóricos que sustentan el estudio del fenómeno, comenzando con la Teoría General de Sistemas (TGS). La TGS postula que un fenómeno es un sistema compuesto por elementos interconectados que interactúan para producir un resultado, lo cual es esencial para el modelamiento matemático del problema. Este enfoque se complementa con la Economía Ecológica, que enfatiza que los problemas ambientales son el resultado de la interacción entre sistemas sociales y ambientales.

En la conceptualización del problema de la degradación del suelo, se reconoce que esta es consecuencia tanto de la actividad agrícola como de la interacción con factores climáticos y físicos. Estos conceptos teóricos conducen a la formulación de la hipótesis central de la investigación: *"A medida que se intensifica la actividad agropecuaria y se presentan eventos climáticos, mayor será la degradación del suelo"*. Esta hipótesis resume la principal conclusión del capítulo y establece la base para el análisis y las propuestas de intervención presentadas en el trabajo.

En el capítulo 2 se subraya la importancia de las técnicas multivariantes en la investigación social y ambiental. Las técnicas de reducción de dimensiones, como el Análisis Factorial, permiten simplificar y explicar fenómenos complejos mediante la construcción de índices compuestos, facilitando la toma de decisiones informadas en contextos de alta incertidumbre. Por su parte, las técnicas de análisis clúster, como el método de Ward, son esenciales para la agrupación homogénea de entidades federativas, lo que permite una regionalización efectiva y la implementación de políticas específicas. Ambas técnicas, al combinarse, proporcionan herramientas poderosas para el análisis y solución de problemas complejos, demostrando su relevancia en la planificación y ejecución de estrategias para la gestión de la degradación del suelo y otros fenómenos similares.

Partiendo del objetivo general de la investigación, donde se buscaba predecir el grado de degradación del suelo a partir de variables de la actividad agropecuaria y las condiciones climáticas, en el capítulo 3 se desarrolló un modelo factorial que permitiera lograr esto. Para

ello, se retomó un conjunto de 11 variables para predecir, en este caso un índice de degradación del suelo (IDS).

Al aplicar el modelo factorial, este obtuvo un grado satisfactorio de ajuste. Con este modelo se crearon cuatro indicadores:

- Índice de Agroquímicos (IA), el cual incide en un 27.2% de la variabilidad de los datos.
- Índice de Presión Agropecuaria (IPA), el cual representa el 19.8% de la varianza total de los datos.
- Índice de Estrés Hídrico (IEH), el cual incide en un 18% de la varianza total de los datos.
- Índice de Monocultivos (IMS), el cual incide en el 15.7% de la varianza total de los datos.

Teniendo como resultado:

$$E(\text{IDS}) = \text{IA} + \text{IPA} + \text{IEH} + \text{IMS}; \quad \text{Var}(F_i) = 0.807$$

Con el cumplimiento de los supuestos:

- $\text{Cor}(FA_i, FA_j) = 0$
- $\text{Var}(FA_i) = 1$
- $\text{Cov}(FA_i, FA_j) = 0$
- $E(FA_i) = 0$

A un nivel de confianza del 0.95 y una significancia de 0.05, el modelo mantiene el 80.7% de la varianza total de los datos.

Partiendo de estos indicadores, se procedió a un análisis clúster a partir del método de Ward donde se vislumbró la creación de 7 grupos regionales con características diferenciadas. De manera particular, se identificó que Tlaxcala no pertenece a ningún grupo regional, pues se mantiene en un grado bajo de degradación, no obstante, esto no significa que no exista, ya que puede ser que la degradación de este estado no esté en función de las variables analizadas, sino que puede estar provocada por variables no consideradas en el modelo.

Por último, en el capítulo 4 se presentaron cuatro ejes estratégicos de atención que se desprendieron de estos mismos indicadores, así como de la regionalización propuesta. En este sentido, los ejes son:

- 1. Promoción de la Agricultura Ecológica y Regenerativa
- 2. Integración de sistemas agropecuarios diversificados y sostenibles.
- 3. Gestión Eficiente y Sostenible del Agua en la Agricultura.
- 4. Diversificación de cultivos y Adaptación al Cambio Climático.

Cada uno de ellos con líneas de acción específicas, que buscan atender la problemática. Asimismo, en este capítulo final se hace especial énfasis en la prioridad de atención por grupo regional, bajo este contexto, el orden queda de la siguiente manera:

- I. Baja California Norte y Baja California Sur.
- II. Guerrero, Jalisco, Michoacán y Morelos.
- III. Aguascalientes, Edo. de México, Nuevo León, Querétaro, Quintana Roo, Sinaloa, Sonora, Tampico.
- IV. Campeche, Chihuahua, Guanajuato, Nayarit, San Luis Potosí y Veracruz.
- V. Coahuila, Colima, Durango, Hidalgo, Puebla y Zacatecas.
- VI. Chiapas, Oaxaca, Tabasco y Yucatán.
- VII. Tlaxcala.

La necesidad del trabajo presentado se fundamenta en la creciente preocupación por la degradación del suelo y el estrés hídrico, fenómenos que amenazan la sostenibilidad agrícola y la seguridad alimentaria a nivel mundial. En el contexto mexicano, donde la degradación del suelo es particularmente severa, este trabajo adquiere una relevancia crítica. La investigación y con análisis detallado a partir de técnicas multivariantes proporciona los elementos esenciales para comprender y mitigar esta problemática.

## BIBLIOGRAFÍA

- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2012). *Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación*. [https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-02/UNCCD\\_Convention\\_text\\_SPA.pdf](https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-02/UNCCD_Convention_text_SPA.pdf)
- Cabriales, J. J. P., Cabrera, O. A. G., & Núñez, J. A. V. (2002). Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: Uso de las técnicas isotópicas (15n). *Terra Latinoamericana*, 20(1), 51-56.
- Camacho-Valdez, V., & Ruiz-Luna, A. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Revista Bio-ciencias*, 1(4), 3-15.
- Cardona, C. A. (2017). *Teoría General de Sistemas*. Fundación Universitaria del Área Andina. <https://digitk.areandina.edu.co/bitstream/handle/areandina/1287/Teor%C3%ADa%20General%20de%20sistemas.pdf>
- Carmenza, R. (2007). La economía ecológica: Una disciplina en busca de autor. *Gestión y Ambiente*, 10(3), 7-21.
- Chávez, M. (2017, febrero 13). *Introducción al Análisis Factorial, Componentes Principales y Clúster*. R pubs. [https://rpubs.com/marcelo-chavez/multivariado\\_1](https://rpubs.com/marcelo-chavez/multivariado_1)
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2017, febrero 17). *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)* [Text]. Agenda 2030 en América Latina y el Caribe; CEPAL. <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/objetivos-desarrollo-sostenible-ods>
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (24 de enero de 2024). <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- De la Mora, M., & Pérez, A. (2022). *Programa de Desarrollo Tecnológico para la Sustentabilidad Ambiental Energética y Alimentaria I* [Proyecto de aplicación profesional, ITESO]. [https://rei.iteso.mx/bitstream/handle/11117/8199/RPAP\\_%20Monserrat%20y%20Aime%CC%81.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://rei.iteso.mx/bitstream/handle/11117/8199/RPAP_%20Monserrat%20y%20Aime%CC%81.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ducci, M. E. (2012). *Conceptos básicos de urbanismo*. Trillas.
- Elner, E. (2016). *Análisis multivariante: Aplicaciones con SPSS*. UFG Editores.
- Encinas, M. D. (2011). *Medio Ambiente y Contaminación. Principios básicos* (1.<sup>a</sup> ed.). Universidad del País Vasco. <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio%20Ambiente%20y%20Contaminaci%C3%B3n.%20Principios%20b%C3%A1sicos.pdf?sequence=6>
- Foladori, G. (2007). La Economía Ecológica. En *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el Desarrollo Sustentable* (pp. 189-217). Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Gobierno de México. (2019). *Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024*. [https://siteal.iiep.unesco.org/sites/default/files/sit\\_accion\\_files/10042\\_0.pdf](https://siteal.iiep.unesco.org/sites/default/files/sit_accion_files/10042_0.pdf)
- Gobierno del Estado de Sinaloa. (2023). *Centro de Información Estadística y Geográfica de Sinaloa*. Estadísticas estatales. [https://estadisticas.sinaloa.gob.mx/EE\\_Sinaloav2.aspx#:~:text=Sinaloa%2C%20es](https://estadisticas.sinaloa.gob.mx/EE_Sinaloav2.aspx#:~:text=Sinaloa%2C%20es)



%20el%20estado%20agr%C3%ADcola,de%2032%2C900%20millones%20de%20 pesos.

- Gómez, M. (1980). *Breve historia de las doctrinas económicas* (9.<sup>a</sup> ed.). Esfinge.
- Guerrero, J. B. (2024). *Modelado matemático y estadístico del Cambio Climático y la Actividad Humana* [Tesis de doctorado, Universidad Anáhuac]. [https://anahuac.primo.exlibrisgroup.com/discovery/delivery/52ANAHUAC\\_INST:UAMX/12162477710005016](https://anahuac.primo.exlibrisgroup.com/discovery/delivery/52ANAHUAC_INST:UAMX/12162477710005016)
- Hussain, M. I., Abideen, Z., & Qureshi, A. S. (2021). Soil degradation, resilience, restoration and sustainable use. En *Sustainable Agriculture Reviews 52* (Vol. 52, pp. 335-369). Springer, Cham.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2022). *Censo Agropecuario 2022*. <https://censoagropecuario2022.mx/Censo.html>
- \_\_\_\_\_. (2023). *Censo Agropecuario (CA) 2022* [Tabulados]. <https://www.inegi.org.mx/programas/ca/2022/#tabulados>
- Juárez, F., Villatoro, J. A., & López, E. K. (2002). *Apuntes de estadística inferencial* (1.<sup>a</sup> ed.). Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente,.
- Ley de Desarrollo Rural Sustentable (3 de junio de 2021). [https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/235\\_030621.pdf](https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/235_030621.pdf)
- Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (24 de enero de 2024). <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- Ley de Planeación (8 de marzo de 2023). <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPlan.pdf>
- López, R. (2002). *Degradación del suelo. Causas, procesos, evaluación e investigación*. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Universidad de los Andes. <http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/degradacion/pfd/librocompleto.pdf>
- Magaña, V. O., Méndez, B., Neri, C., & Vázquez, G. (2018). El riesgo ante la sequía meteorológica en México. *REALIDAD, DATOS Y ESPACIO REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA*, 9(1), 35-48.
- Méndez, C., & Rondón, M. A. (2012). Introducción al análisis factorial exploratorio. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 41(1), 197-207.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-Being, Synthesis*. Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Montico, S., Di Leo, N., Bonel, B. A., & Berardi, J. (2021). Servicios ecosistémicos provistos por los suelos en una cuenca de Santa Fe, Argentina. *Cuadernos del CURIHAM*, 27, 1-8.
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (s. f.-a). *Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, Johannesburgo 2002*. Conferencias, Medio ambiente y desarrollo sostenible; United Nations. Recuperado 8 de febrero de 2024, de <https://www.un.org/es/conferences/environment/johannesburg2002>

- \_\_\_\_\_. (s. f.-b). *UNCCD (Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación)*. Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación. Recuperado 9 de febrero de 2024, de <https://agenda2030lac.org/es/organizaciones/unccd>
- \_\_\_\_\_. (2018). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. ONU. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2023, septiembre 5). *2000-2015, Objetivos del Desarrollo del Milenio* [Biblioteca]. Documentación de la ONU : Desarrollo. <https://research.un.org/es/docs/dev/2000-2015>
- Parr, J. F., Papendick, R. I., Hornick, S. B., & Meyer, R. E. (1992). Soil quality: Attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7(1-2), 5-11. <https://doi.org/10.1017/S0889189300004367>
- Peña, D. (2002). *Análisis de datos multivariantes*. Universidad Carlos III.
- Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas [IPBES]. (2018). *The IPBES assessment report on land degradation and restoration*. IPBES. [https://www.ipbes.net/sites/default/files/2020-02/ipbes\\_global\\_assessment\\_report\\_summary\\_for\\_policymakers\\_es.pdf](https://www.ipbes.net/sites/default/files/2020-02/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers_es.pdf)
- Ramírez-Mora, E., Pérez-Vázquez, A., Landeros-Sánchez, C., Martínez-Dávila, J. P., Villanueva-Jiménez, J. A., & Lagunes-Espinoza, L. del C. (2018). Uso histórico de plaguicidas en caña de azúcar del DR035 La Antigua, Veracruz. *Acta Universitaria*, 28(4), 42-49.
- Rodríguez, A. (2021, octubre 18). *Ciclos biogeoquímicos*. ArcGIS StoryMaps. <https://storymaps.arcgis.com/stories/06ff9aa1037447e0a9badb278eb78630>
- Rodríguez, C. (2002). *RESIDUOS GANADEROS*. Cursos de Introducción a la Producción Animal.
- Romero, F. B. (1970). Acumulación de pesticida en el suelo. *Hojas divulgadoras del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*, 2. [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1970\\_02.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1970_02.pdf)
- Ronco Campaña, A. (2018). Fitotóxicos como alternativa a herbicidas contaminantes. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, 30, 71-74.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2020). *Plan Sectorial Agricultura y Desarrollo Rural 2020-2024*. [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5595549&fecha=25/06/2020#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5595549&fecha=25/06/2020#gsc.tab=0)
- \_\_\_\_\_. (2022, abril 27). *¿Qué se produce en Morelos?* gob.mx. <http://www.gob.mx/agricultura/articulos/que-se-produce-en-morelos>
- \_\_\_\_\_. (2023). *Estrategia Nacional de Suelo para la Agricultura Sostenible*, ENASAS. SADER. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/754319/Estrategia\\_Nacional\\_de\\_Suelo\\_para\\_la\\_Agricultura\\_Sostenible.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/754319/Estrategia_Nacional_de_Suelo_para_la_Agricultura_Sostenible.pdf)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, & Colegio de Posgraduados [SEMARNAT-CP]. (2003). *Memoria Nacional 2001-2002. Evaluación de*

*Degradación del Suelo causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250,000*. SEMARNAT-CP. [https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Ortiz-24/publication/307967321\\_SEMARNAT-CP\\_2003\\_Memoria\\_Nacional\\_2001-2002\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_Degradacion\\_del\\_Suelo\\_causada\\_por\\_el\\_Hombre\\_en\\_la\\_Republica\\_Mexicana\\_escala\\_1250000\\_Memoria\\_Nacional/links/57d4315908ae0c0081e6f7e8/SEMARNAT-CP-2003-Memoria-Nacional-2001-2002-Evaluacion-de-la-Degradacion-del-Suelo-causada-por-el-Hombre-en-la-Republica-Mexicana-escala-1250-000-Memoria-Nacional.pdf?origin=publication\\_detail](https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Ortiz-24/publication/307967321_SEMARNAT-CP_2003_Memoria_Nacional_2001-2002_Evaluacion_de_la_Degradacion_del_Suelo_causada_por_el_Hombre_en_la_Republica_Mexicana_escala_1250000_Memoria_Nacional/links/57d4315908ae0c0081e6f7e8/SEMARNAT-CP-2003-Memoria-Nacional-2001-2002-Evaluacion-de-la-Degradacion-del-Suelo-causada-por-el-Hombre-en-la-Republica-Mexicana-escala-1250-000-Memoria-Nacional.pdf?origin=publication_detail)

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2002). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2002* [Suelos]. SEMARNAT. [https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas\\_2000/informe\\_2000/img/cap3.pdf](https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/img/cap3.pdf)

\_\_\_\_\_. (2023, febrero 14). *Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales*. gov.mx. <http://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-ambiental-y-de-recursos-naturales>

Servicio Meteorológico Nacional [SMN] & Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2022a). *Precipitación (mm) por Entidad Federativa y Nacional 2022* [Base de datos].

<https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Pron%C3%B3stico%20clim%C3%A1tico/Temperatura%20y%20Lluvia/PREC/2022.pdf>

\_\_\_\_\_. (2022b). *Temperatura Media por Entidad Federativa y Nacional 2022* [Base de datos].

<https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Pron%C3%B3stico%20clim%C3%A1tico/Temperatura%20y%20Lluvia/TMED/2022.pdf>

SIAP. (2022). *Anuario Estadístico de la Producción Ganadera* [Base de datos]. [https://nube.siap.gob.mx/cierre\\_pecuario/](https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/)

Soto, J. (2020, julio 13). *¿Cómo afecta el consumismo al medio ambiente?* Greenpeace México. <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/8704/como-afecta-el-consumismo-al-medio-ambiente/>

Van Gigch, J. (1987). *Teoría General de Sistemas* (2.<sup>a</sup> ed.). Trillas.

# ANEXOS

## Base de datos construida

|      | X1      | X2    | X3    | X4    | X5    | X6     | X7    | X8    | X9    | X10   | X11   |
|------|---------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| AGS  | 390.00  | 17.90 | 51.72 | 31.76 | 15.41 | 116.20 | 87.87 | 49.84 | 28.17 | 11.56 | 381   |
| BCN  | 123.80  | 20.40 | 60.01 | 55.68 | 36.72 | 99.90  | 84.15 | 76.94 | 38.26 | 49.30 | 824   |
| BCS  | 360.20  | 23.40 | 42.49 | 48.27 | 32.71 | 34.40  | 76.23 | 99.78 | 34.47 | 57.90 | 1584  |
| CAM  | 1423.20 | 27.30 | 73.58 | 57.81 | 26.19 | 26.40  | 95.59 | 28.26 | 17.77 | 3.60  | 6377  |
| CDMX | 552.80  | 18.30 | 9.36  | 9.71  | 6.11  | 174.30 | 84.89 | 14.30 | 20.40 | 11.35 | 70    |
| CHI  | 472.80  | 18.70 | 40.74 | 32.40 | 16.13 | 45.10  | 85.31 | 56.62 | 19.48 | 20.07 | 3206  |
| CHS  | 2054.00 | 24.50 | 61.02 | 50.37 | 32.75 | 1.80   | 97.56 | 8.31  | 11.30 | 1.80  | 20996 |
| COA  | 261.40  | 22.10 | 20.67 | 24.47 | 14.62 | 59.00  | 89.78 | 65.00 | 22.12 | 26.02 | 1112  |
| COL  | 1477.30 | 26.70 | 79.88 | 63.24 | 48.03 | 83.20  | 93.19 | 60.02 | 25.36 | 3.77  | 3016  |
| DGO  | 502.30  | 18.50 | 55.78 | 37.68 | 13.29 | 12.70  | 84.15 | 28.87 | 17.93 | 15.70 | 7052  |
| GRO  | 1170.70 | 25.80 | 82.24 | 64.32 | 34.74 | 21.20  | 94.05 | 10.72 | 13.21 | 6.15  | 6078  |
| GTO  | 480.10  | 19.30 | 68.49 | 65.62 | 49.75 | 105.70 | 87.11 | 43.25 | 25.10 | 10.20 | 638   |
| HGO  | 447.60  | 19.10 | 32.63 | 24.97 | 15.38 | 31.90  | 87.99 | 19.74 | 17.96 | 6.41  | 2474  |
| JAL  | 859.30  | 21.60 | 88.19 | 79.26 | 63.31 | 31.40  | 93.26 | 23.15 | 23.18 | 8.50  | 1953  |
| MEX  | 849.10  | 15.30 | 49.44 | 28.51 | 16.22 | 57.80  | 93.34 | 26.90 | 11.60 | 9.33  | 287   |
| MIC  | 760.80  | 20.60 | 72.75 | 66.49 | 49.23 | 43.60  | 92.70 | 46.34 | 18.04 | 7.00  | 2718  |
| MOR  | 1333.80 | 22.60 | 76.24 | 78.17 | 64.49 | 70.90  | 85.55 | 60.63 | 24.01 | 10.85 | 952   |
| NAY  | 1233.20 | 25.30 | 79.18 | 68.67 | 50.25 | 20.50  | 95.48 | 41.44 | 16.04 | 6.35  | 5516  |
| NLN  | 400.70  | 22.30 | 12.44 | 12.32 | 8.41  | 47.00  | 94.82 | 40.29 | 12.98 | 22.57 | 786   |
| OAX  | 1194.40 | 23.40 | 40.91 | 24.51 | 13.19 | 2.40   | 91.95 | 8.95  | 13.01 | 4.12  | 13903 |
| PUE  | 939.40  | 18.70 | 35.01 | 28.29 | 20.37 | 22.10  | 85.65 | 19.19 | 21.58 | 7.82  | 1772  |
| QRO  | 374.60  | 20.20 | 43.66 | 33.30 | 14.28 | 52.20  | 94.38 | 24.41 | 16.00 | 13.49 | 835   |
| QTR  | 1292.30 | 27.20 | 39.62 | 25.99 | 14.98 | 66.20  | 98.29 | 8.60  | 9.12  | 3.72  | 942   |
| SIN  | 855.80  | 25.30 | 64.16 | 62.09 | 37.02 | 96.50  | 92.94 | 59.22 | 23.22 | 9.07  | 3290  |
| SLP  | 430.40  | 23.30 | 24.05 | 16.40 | 8.01  | 18.60  | 93.29 | 19.87 | 19.77 | 9.80  | 3938  |

|     | X1      | X2    | X3    | X4    | X5    | X6     | X7    | X8    | X9    | X10   | X11   |
|-----|---------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SON | 558.10  | 22.40 | 38.71 | 39.79 | 31.09 | 101.90 | 93.16 | 82.17 | 20.57 | 25.45 | 2467  |
| TAB | 2451.80 | 27.50 | 53.13 | 51.30 | 34.29 | 1.60   | 95.50 | 4.65  | 7.86  | 1.94  | 13563 |
| TAM | 487.30  | 24.70 | 62.30 | 43.97 | 20.36 | 47.60  | 96.92 | 34.97 | 15.96 | 11.35 | 2605  |
| TLA | 498.80  | 15.50 | 47.45 | 29.15 | 15.80 | 31.30  | 74.11 | 8.64  | 26.07 | 10.10 | 657   |
| VER | 1502.90 | 22.80 | 58.27 | 48.63 | 34.13 | 10.90  | 96.23 | 7.96  | 16.17 | 1.81  | 6572  |
| YUC | 1154.70 | 26.80 | 60.29 | 22.80 | 12.53 | 9.70   | 96.17 | 23.01 | 6.71  | 4.37  | 9399  |
| ZAC | 364.40  | 18.30 | 41.20 | 23.81 | 12.49 | 41.70  | 86.90 | 18.52 | 21.50 | 14.49 | 2519  |

### Código en lenguaje de programación R

```

library(psy)##Desarrollo AF###
library(psych)##Desarrollo AF###
library(ggplot2)##Graficos
library(dplyr)#manejo de base de daros
library(corrplot)##correlación
library(FactoMiner)
library(factoextra)

###Convirtiendo EL XLSX en vectores###
ABV=isd_base_original$ABV
X1=isd_base_original$X1
X2=isd_base_original$X2
X3=isd_base_original$X3
X4=isd_base_original$X4
X5=isd_base_original$X5
X6=isd_base_original$X6
X7=isd_base_original$X7
X8=isd_base_original$X8
X9=isd_base_original$X9
X10=isd_base_original$X10
X11=isd_base_original$X11

##construyendo la base sin escalar##
base=cbind(X1,X2,X3,X4,X5,X6,X7,X8,X9,X10,X11)
rownames(base)=c(ABV)
print(base)

```

### **##Matriz de correlación##**

```
pairs.panels(base,  
              method = "pearson", # correlation method  
              hist.col = "green",  
              density = TRUE, # show density plots  
              ellipses = TRUE # show correlation ellipses  
            )
```

### **##Calculando la varianza###**

```
var(base)
```

### **###Reescalamiento de variables###**

```
scale_values <- function(x){(x-mean(x))/sqrt(var(x))}  
x1=scale_values(x1)  
x2=scale_values(x2)  
x3=scale_values(x3)  
x4=scale_values(x4)  
x5=scale_values(x5)  
x6=scale_values(x6)  
x7=scale_values(x7)  
x8=scale_values(x8)  
x9=scale_values(x9)  
x10=scale_values(x10)  
x11=scale_values(x11)
```

### **##Base normalizada##**

```
base1=cbind(x1,x2,x3,x4,x5,x6,x7,x8,x9,x10,x11)  
rownames(base1)=c(ABV)  
print(base1)
```

### **##Matriz de correlación##**

```
pairs.panels(base1,  
              method = "pearson", # correlation method  
              hist.col = "blue",  
              density = TRUE, # show density plots  
              ellipses = TRUE) # show correlation ellipses
```

### **###Pruebas para la viabilidad de construcción del modelo#**

```
KMO(base1) ###Prueba de Keiser-Meyer-Olkin  
cortest.bartlett(base1) ###Test de Bartlett
```

### ### Desarrollo del modelo###

```
matriz<-cor(base1) ##Matriz de correlación
autovalores<-eigen(matriz) ##Estimación de los autovalores
varianzatotal<-autovalores$values/sum(autovalores$values)*100
autovalores
varianzatotal ##Varianza explicada por factor#
scree.plot(base1) #####Gráfico de sedimentación##
sum(varianzatotal[1:4])###Varianza explicada por los 4 factores#
```

```
#-----Construcción del Modelo-----#
modelo<-factanal(base1,4,scores = c("regression"),method = "mle",
                 rotation = "varimax")
```

### ###Graficos por factor##

```
cargas_factora=data.frame(modelo$loadings[,1:4])
```

```
f1=cargas_factora$Factor1
f2=cargas_factora$Factor2
f3=cargas_factora$Factor3
f4=cargas_factora$Factor4
x = 1:11
```

```
pesos<-data.frame(x,f1,f2,f3,f4)
ggplot(data = pesos, aes(x = x, y = f1)) +
  geom_bar(stat = 'identity', aes(fill = f1),colour='black') +
  scale_fill_gradient2(low='red', mid='white', high='blue')+
  theme(panel.grid.major = element_blank(), panel.grid.minor =
  element_blank(),
        panel.background = element_blank(),
        axis.line = element_line(colour = "black"))
ggplot(data = pesos, aes(x = x, y = f2)) +
  geom_bar(stat = 'identity', aes(fill = f2),colour='black') +
  scale_fill_gradient2(low='red', mid='white', high='blue')+
  theme(panel.grid.major = element_blank(), panel.grid.minor =
  element_blank(),
        panel.background = element_blank(),
        axis.line = element_line(colour = "black"))
```

```
ggplot(data = pesos, aes(x = x, y = f3)) +
  geom_bar(stat = 'identity', aes(fill = f3), colour='black') +
  scale_fill_gradient2(low='red', mid='white', high='blue')+
  theme(panel.grid.major = element_blank(), panel.grid.minor =
element_blank(),
        panel.background = element_blank(),
        axis.line = element_line(colour = "black"))
```

```
ggplot(data = pesos, aes(x = x, y = f4)) +
  geom_bar(stat = 'identity', aes(fill = f4), colour='black') +
  scale_fill_gradient2(low='red', mid='white', high='blue')+
  theme(panel.grid.major = element_blank(), panel.grid.minor =
element_blank(),
        panel.background = element_blank(),
        axis.line = element_line(colour = "black"))
```

### ##Validacion del modelo###

```
summary(modelo$scores) #E(Fi)=0
cormatrix<-cor(modelo$scores) ##### cor (fi,fj)=0
corPlot(cormatrix, main = "Correlación entre factores")
cov_matrix<-cov(modelo$scores) ### var(fj)=1 y cov(fj)=0
corPlot(cov_matrix, main = "Varianzas y covarianzas" )
```

### ##Prediccion del modelo###

```
scores1=data.frame(modelo$scores[,1:4])
colnames(scores1)<-c('IA', 'IPA', 'IDH', 'IMS')
IEH=(scores1$IDH)*-1
FINAL=data.frame(scores1$IA,scores1$IPA,IEH,scores1$IMS)
colnames(FINAL)<-c('IA', 'IPA', 'IEH', 'IMS')
row.names(FINAL)=c(ABV)
IDS= FINAL$IA+FINAL$IPA+FINAL$IEH+FINAL$IMS+5
```

### ###Análisis cluster##

```
d <- dist(FINAL)
hc <- hclust(d, method = "ward.D")
plot(as.dendrogram(hc))
rect.hclust(hc, k = 7,
            border = 3:4)
```