



ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA DEL MUNICIPIO DE CHIHUAHUA

Universidad Autónoma de Chihuahua

Facultad de Ciencias Agrotecnológicas

Facultad de Zootecnia y Ecología

INFORME DE FINAL



Chihuahua, Chih., Agosto de 2024



Informe de Actividades

Zonificación Agroecológica del Municipio de Chihuahua



DR. LUIS ALFONSO RIVERA CAMPOS

RECTOR DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUADR.

RICARDO AARÓN GONZÁLEZ ALDANA

DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLOGICAS

D.Ph. ALFREDO PINEDO ALVAREZ

DIRECTOR DE LA FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA

DR. RAMÓN SAÚL LUJÁN AGUIRRE

SECRETARIO ACADÉMICO

DRA. GRISELDA VÁZQUEZ QUINTERO

RESPONSABLE TÉCNICO DEL PROYECTO

COLABORADORES FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLOGICAS

DRA. MARIA CECILIA VALLES ARAGON

DRA. MYRNA CONCEPCION NEVAREZ ROGRIGUEZ

DR. CESAR GUILLERMO GARCIA GONZALEZ

COLABORADORES FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA

DR. MARTIN MARTINEZ SALVADOR

DR. ALFREDO PINEDO ALVAREZ

DR. JESUS ALEJANDRO PRIETO AMPARAN

DESTINATARIO: DIRECCIÓN DE DESARROLLO RURAL DEL MUNICIPIO DE CHIHUAHUA.



CONTENIDO

Introducción.....	6
Metodología	8
Adquisición de la base de datos	8
Análisis Topográfico	9
Análisis e Identificación de Factores Agroecológicos	10
Generación de uso de suelo	12
Obtención de la información	12
Procesamiento de los Datos	12
Clasificación de Uso de Suelo	13
Validación del Uso del suelo	14
Índice de Disturbio	15
Análisis de Fragmentación.....	17
Procedimientos para generar los modelos geoespaciales de potencial productivo y zonificación forestal	18
Variables ecológicas relacionadas con potencial productivo para el sistema agroecológico del municipio de Chihuahua.....	19
Generación de cartografía de potencial productivo.....	20
Indicadores para la clasificación del potencial productivo.	21
Indicadores para evaluar la potencialidad productiva del clima	24
Indicadores para evaluar la potencialidad productiva de los suelos.....	25
Modelos teóricos de máxima productividad agroecológica	26
Descripción de los potenciales en función del relieve	27
Descripción de los potenciales en función de suelo.....	28
Descripción de los potenciales en función de clima	28
Zonificación Agroecológica	29
Resultados	31
Composición en Falso Color.....	31
Uso del Suelo Municipio Chihuahua.....	33
Análisis del uso de Suelo en el Municipio de Chihuahua	33
Generación del Índice de Disturbio	38
Zonificación Agroecológica	43
Censo de Maquinaria Agrícola	53
Literatura Citada	57



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área del proyecto	7
Figura 2. Flujo de indicadores para generar el modelo de potencial productivo agroecológico del municipio de Chihuahua	21
Figura 3. Marco conceptual para la integración de la zonificación agroecológica en el municipio de Chihuahua	29
Figura 4. Composición en falso color del satélite Landsat 9 del municipio de Chihuahua	32
Figura 5. Clasificación espacial de los diferentes usos del suelo del Municipio de Chihuahua	37
Figura 6. Distribución del índice de disturbio en el Municipio de Chihuahua en el periodo 2024	39
Figura 8. Mapa de Potencial Productivo del Municipio de Chihuahua	47
Figura 8. Mapa de Zonificación Agroecológica del municipio de Chihuahua	48

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características del sensor Landsat 9	12
Cuadro 2. Parámetros para la transformación Tasseled Cap a imágenes satelitales Landsat	15
Cuadro 3. Ángulo de la pendiente	22
Cuadro 4. Disección vertical (expresada en m/km ²)	23
Cuadro 5. Exposición del terreno	24
Cuadro 6. Atributos del clima	24
Cuadro 7. Tipos de suelo existentes en la región de estudio y sus propiedades físicas	25
Cuadro 8. Modelo teórico de máximo potencial natural	26
Cuadro 9. Superficies de Uso de Suelo del Municipio de Chihuahua	35
Cuadro 10. Niveles de disturbio para el municipio de Chihuahua en el periodo 2024	38
Cuadro 11. Métricas del paisaje generadas para el municipio de Chihuahua	42
Cuadro 12. Tipos de uso del suelo	43
Cuadro 13. Usos del suelo por tipo de productividad	45
Cuadro 14. Acciones a realizar en la zonificación agroecológica del municipio de Chihuahua	52
Cuadro 15. Propuestas de estrategias de diversificación productiva del municipio de Chihuahua	53
Cuadro 16. Resultados del Censo de Maquinaria Agrícola	57



ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1. Distribución de los diversos usos de suelo que se distribuye en el municipio.....	36
Gráfica 2. Proporción del disturbio en el Municipio de Chihuahua en 2024.....	38
Gráfica 3. Tamaño medio del parche (MPS) en las métricas del municipio de Chihuahua.....	40
Gráfica 4. Desviación estándar del parche (PSSD) en las métricas del municipio de Chihuahua	41
Gráfica 5. Coeficiente de variación del tamaño del parche (PSCov) en las métricas del municipio de Chihuahua.....	41
Grafica 6. De usos del suelo por tipo de potencial	46



Introducción

Utilizar el espacio de forma natural y las demandas del ser humano evoluciona de manera exponencial, lo que genera conflictos ante la disponibilidad de recursos y espacios (Pinedo, 2006)

La zonificación productiva tiene un papel fundamental en la optimización de recursos y en el desarrollo económico sostenible. Es una herramienta clave para identificar, organizar y potenciar las actividades económicas de un municipio.

La Ley general de asentamientos humanos, ordenamiento territorial y desarrollo urbano, aborda la necesidad de establecer instrumentos de planeación que regulen la ocupación del territorio y del uso de suelo.

La zonificación es una estrategia de planificación territorial para orientar el crecimiento de una región de manera equitativa y sostenible. Al delimitar las áreas específicas para las actividades agrícolas, industriales, comerciales o de conservación se busca fomentar la especialización productiva de cada zona (González, et al., 2016).

A lo largo del tiempo el ordenamiento del territorio se ha llevado a cabo a través de instrumentos, técnicas y metodologías que han incorporado variables económicas, sociales y ambientales con el fin de zonificar el espacio físico; utilizando herramientas avanzadas como los sistemas de información geográfica y el análisis multicriterio, entre otros (Pinedo, 2006).

El crecimiento demográfico ejerce presión sobre los recursos del territorio, provocando cambios en los usos de suelo a prácticas inadecuadas (Jiménez, 2005). En este sentido, zonificación productiva servirá de base para la planificación y guía de los futuros proyectos de desarrollo del municipio, así como las actividades agropecuarias y urbanas; asegurando el equilibrio de los ecosistemas y la disminución de la vulnerabilidad.



Objetivo

Delimitar la zonificación agroecológica del municipio de Chihuahua, Chih., para ordenar y optimizar el uso del territorio, promoviendo un desarrollo económico equitativo y sostenible.

Localización Geográfica

El proyecto se localiza en el municipio de Chihuahua, Chih., la figura 1 muestra la ubicación del área donde se llevará a cabo el proyecto.

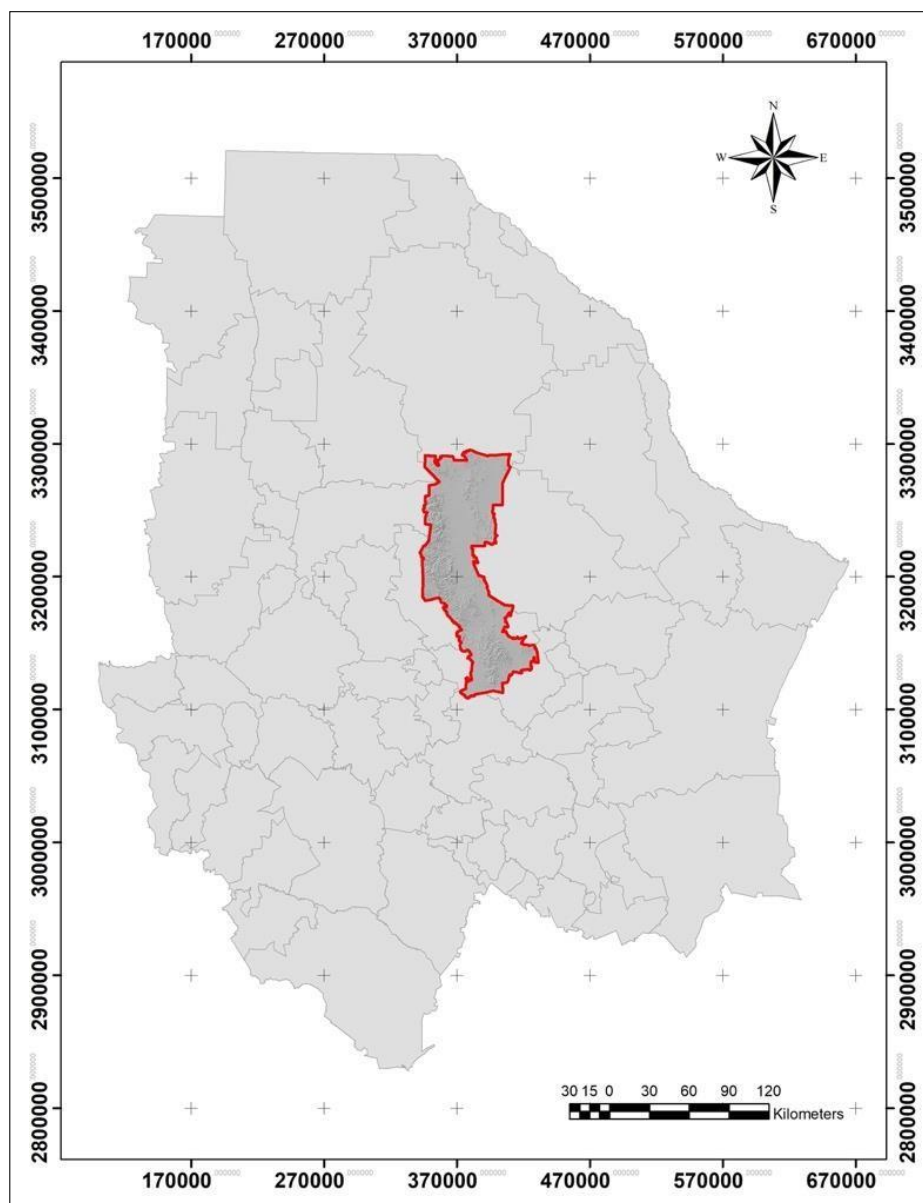


Figura 1. Ubicación del área del proyecto



Metodología

Adquisición de la base de datos

La adquisición de bases de datos es esencial para garantizar la calidad y precisión del análisis. Para este propósito, se descargó información cartográfica en formato vectorial de fuentes oficiales como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Se descargó cartografía de uso de suelo y vegetación Serie VII, a cuál proporciona una descripción detallada de la distribución y el tipo de cobertura del suelo en el área de estudio. Se descargó la cartografía de Edafología, que proporciona información detallada sobre los tipos de suelo en el municipio.

Este conjunto de datos incluye aspectos cruciales como la textura del suelo, su composición y su capacidad de retención de agua, todos ellos factores determinantes para evaluar la aptitud del terreno para diversos usos, como la agricultura, la construcción y la conservación ambiental. La combinación de estos datos edafológicos con la información de uso de suelo y vegetación permite una evaluación integral del territorio, facilitando la toma de decisiones informadas y la implementación de estrategias de desarrollo sostenible.

Asimismo, se descargó información vectorial sobre localidades y centros de población. Estos datos permiten identificar la ubicación geográfica de las áreas habitadas, lo cual es esencial para la zonificación en términos de planificación urbana y rural, así como para la identificación de la infraestructura existente y su relación con el entorno natural. La información sobre localidades incluye no solo la ubicación, sino también características como el tamaño de la población y la conectividad con otras áreas, aspectos que influyen directamente en la zonificación y la gestión del territorio.

Las bases de datos como la de climas, permiten un análisis detallado de los patrones de lluvia, temperatura y disponibilidad de agua en la región. Esta información es vital para identificar zonas con condiciones favorables para cultivos y planificar la gestión del agua para el riego y otros usos agrícolas. Así como los datos socioeconómicos ayudan a entender las dinámicas de la población rural, la infraestructura agrícola disponible y las prácticas predominantes. Esto permite una zonificación agroecológica que solo considera aspectos biofísicos, sino también las condiciones sociales y económicas de los agricultores.

Para la generación de la cartografía de Uso de suelo y vegetación se obtuvieron las imágenes del satélite Landsat OLI del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Estas imágenes ofrecen una resolución espacial de 30 metros. Las integraciones de datos provenientes de ambos satélites permitirán obtener una representación geoespacial detallada y precisa del área de estudio. Esta base de datos geoespacial será fundamental para realizar un análisis exhaustivo de los diferentes elementos y características presentes en la superficie terrestre, posibilitando la identificación de patrones, cambios y tendencias en el paisaje. Además, la resolución espacial proporcionada por las imágenes, permitirá un nivel de detalle mayor en la identificación de características del terreno. Este conjunto de datos geoespaciales servirá como una herramienta clave para estudios ambientales, planificación territorial, gestión de recursos



naturales y zonificación.

Los Modelos Digitales de Elevación (DEM) proporcionan una representación tridimensional del terreno, capturando con precisión las variaciones en la altitud y la topografía de la superficie terrestre. Estos modelos son indispensables para realizar un análisis detallado de la topografía, ya que permiten identificar pendientes, valles, colinas, y otros rasgos geográficos que influyen directamente en la distribución del agua, el suelo y la vegetación. La combinación de DEMs con datos satelitales permite una evaluación integral del terreno, facilitando la identificación de áreas susceptibles a la erosión, la planificación de rutas para infraestructura, y la delimitación de microcuencas, entre otros usos.

Análisis Topográfico

El análisis topográfico es un componente esencial en la evaluación de la aptitud del suelo para diversas actividades agrícolas y de manejo del territorio. A través del análisis de datos topográficos, es posible obtener una comprensión detallada de las características físicas del terreno, como pendientes, altitudes, orientaciones, y otras variables geográficas clave que influyen directamente en la viabilidad de distintas prácticas agrícolas.

La identificación de pendientes es fundamental para determinar la erosión potencial del suelo, la retención de agua, y la facilidad con la que se pueden implementar sistemas de riego. Terrenos con pendientes pronunciadas pueden ser propensos a la erosión, lo que afecta negativamente la productividad agrícola y requiere la implementación de prácticas de conservación del suelo, como terrazas o barreras vegetativas, para mitigar estos efectos. Por otro lado, las pendientes más suaves suelen ser más adecuadas para el cultivo, ya que permiten un manejo más fácil del agua y el suelo, favoreciendo el desarrollo de una agricultura sostenible.

Las altitudes también desempeñan un papel crucial en el análisis topográfico, ya que influyen en el microclima local. La altitud afecta variables como la temperatura y la humedad, que a su vez influyen en la selección de cultivos. Por ejemplo, ciertas altitudes

pueden ser más adecuadas para cultivos que requieren climas frescos, mientras que pueden ser más favorables para especies que prosperan en climas cálidos. Comprender estas variaciones altitudinales permite a los agricultores seleccionar las especies de cultivos más adecuadas para cada zona, optimizando así el rendimiento agrícola.

La orientación del terreno (aspecto) es otra variable crucial que se deriva del análisis topográfico. La orientación de una ladera puede determinar la cantidad de luz solar que recibe, afectando significativamente el microclima y la evaporación del agua. Las laderas orientadas al sur, por ejemplo, en el hemisferio norte, suelen recibir más luz solar directa, lo que puede ser beneficioso para cultivos que requieren mucha luz, pero también puede aumentar la demanda de agua. En contraste, las laderas orientadas al norte pueden retener más humedad y ser más frescas, lo que es favorable para cultivos que



prefieren condiciones menos cálidas.

Además de estos factores, el análisis topográfico permite identificar otros rasgos geográficos, como la proximidad a cuerpos de agua, la presencia de valles o crestas, y la conectividad con otras áreas del paisaje. Estos elementos son importantes para planificar infraestructuras agrícolas, como sistemas de riego o drenaje, y para diseñar estrategias de conservación que minimicen la degradación del suelo y maximicen la eficiencia en el uso del agua.

Toda esta información es crucial no solo para identificar áreas adecuadas para la agricultura, sino también para planificar estrategias de manejo del suelo y conservación. El conocimiento detallado de la topografía permite a los agricultores y planificadores territoriales desarrollar enfoques específicos para cada tipo de terreno, implementando prácticas que optimicen la producción agrícola y, al mismo tiempo, protejan los recursos naturales. Esto incluye la planificación de cultivos en función de la topografía, la instalación de barreras naturales para prevenir la erosión, y la adopción de prácticas agrícolas que sean sostenibles a largo plazo.

Análisis e Identificación de Factores Agroecológicos

Se llevó a cabo un análisis exhaustivo y la identificación de los factores agroecológicos que influyen en el establecimiento y funcionamiento de los sistemas de producción en el municipio de Chihuahua. Durante esta primera etapa, el enfoque principal se centra en la identificación de las variables y factores ambientales, edafológicos, que determinan las condiciones óptimas para el desarrollo de los sistemas productivos existentes en la región.



El proceso comienza con una minuciosa revisión documental, que incluye el análisis de estudios previos, informes técnicos, y datos históricos relacionados con los sistemas de producción agrícola que han sido implementados en el municipio. Esta revisión documental permitirá obtener una comprensión profunda de los diferentes sistemas de producción que convergen en la zona, identificando sus características particulares y las condiciones ambientales bajo las cuales han prosperado.

Además de la revisión de literatura y documentos existentes, se llevará a cabo un registro detallado de los principales sistemas de producción presentes en el municipio. Esto incluirá la recopilación de datos sobre los tipos de cultivos, prácticas agrícolas, y tecnologías utilizadas, así como la identificación de las áreas geográficas donde se han implementado estos sistemas. La recopilación de estos datos permitirá establecer una relación directa entre los sistemas de producción y las condiciones agroecológicas del municipio.

Durante el proceso de revisión documental, también se identificarán y analizarán los principales elementos ambientales que influyen en la implementación y éxito de los sistemas agroecológicos. Estos elementos pueden incluir factores como el clima, tipo de suelo, disponibilidad de agua, altitud, y la biodiversidad presente en la región. Se prestará especial atención a cómo estos factores interactúan entre sí para crear un entorno favorable o desfavorable para los diferentes sistemas de producción.

El análisis de estas variables permite no solo determinar las condiciones actuales bajo las cuales operan los sistemas de producción en el municipio de Chihuahua, sino también evaluar su potencial de distribución y expansión en otras áreas. Esto será fundamental para identificar posibles zonas de expansión agrícola, así como para desarrollar estrategias de manejo sostenible que maximicen el rendimiento de los sistemas productivos sin comprometer la salud del ecosistema.

Finalmente, esta etapa de la investigación proporcionará una base sólida para futuras fases del estudio, en las cuales se podrá profundizar en la implementación de prácticas agroecológicas que optimicen el uso de los recursos naturales y promuevan una agricultura más sostenible y resiliente en el municipio de Chihuahua.



Generación de uso de suelo Obtención de la información.

Para generar la cartografía de uso de suelo para el municipio de Chihuahua fue empleada una escena de satélite del sensor Landsat 9 con fecha de captura del 13 de abril de 2024. Las características del sensor multiespectral de mediana resolución y de un sistema de barrido de aproximadamente 800 km de ancho y alto. El cuadro 1, presenta las características del sensor empleado en este estudio. La imagen fue adquirida del portal del servicio geológico de Estados Unidos USGS por sus siglas en inglés.

Cuadro 1. Características del sensor Landsat 9.

Banda espectral	Longitud de onda (µm)	Resolución (m)
Operational Land Imager 2 (OLI)		
Band 1 - Ultra blue (coastal/aerosol)	0.435 - 0.451	30
Band 2 - Blue	0.452 - 0.512	30
Band 3 - Green	0.533 - 0.590	30
Band 4 - Red	0.636 - 0.673	30
Band 5 - Near infrared (NIR)	0.851 - 0.879	30
Band 6 - Shortwave infrared (SWIR) 1	1.566 - 1.651	30
Band 7 - Shortwave infrared (SWIR) 2	2.107 - 2.294	30
Band 8 - Panchromatic	0.503 - 0.676	15
Band 9 - Cirrus	1.363 - 1.384	30
Thermal Infrared Sensor 2 (TIRS)		
Band 10 - Thermal infrared (TIR) 1	10.60 - 11.19	100 / 30
Band 11 - Thermal infrared (TIR) 2	11.50 - 12.51	100 / 30

Procesamiento de los Datos

Se aplicó un proceso corrección atmosférica a la imagen para eliminar los ruidos provocados por la saturación de la atmosfera. El método empleado fue el sugerido por Chávez, 1996. La corrección se llevó a cabo a través de la corrección DOS y la conversión de los ND a reflectancia TOA para las imágenes empleadas, se llevó a cabo con el software QGIS 3.0 ® y con ayuda del módulo Semi- Automatic Classification Plugin. Las ecuaciones 1 y 2 muestran los procedimientos y variables empleadas en la corrección.



$$L_{\lambda} = ((L_{max_{\lambda}} - L_{min_{\lambda}}) / (QCAL_{max} - QCAL_{min})) \times (QCAL - QCAL_{min}) + L_{min_{\lambda}} \quad (1)$$

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \times L_{\lambda} \times d^2}{ESUN_{\lambda} \times \cos \theta_s} \quad (2)$$

Donde: L_{λ} denotes the spectral radiance, QCAL is DN, QCALmin and QCALmax re the minimum and maximum quantized calibrated pixel value, respectively, L_{min} denotes the spectral radiance scales to QCALmin while L_{max} represents the spectral radiance scale to QCALmax, ρ_{λ} denotes the reflectance, d is the distance from the earth to the sun, $ESUN_{\lambda}$ is the mean solar exoatmospheric irradiance and θ_s is the solar zenith angle.

Clasificación de Uso de Suelo

La identificación de las diferentes clases de uso de suelo se consiguió a través de la composición de falso color de las imágenes Landsat y fue necesario elaborar dicha clasificación para la generación de los usos de suelo. Las clases de uso de suelo identificadas fueron:

1. Áreas agrícolas
2. Áreas urbanas
3. Bosque pino-encino, encino-pino
4. Matorral desértico micrófilo
5. Cuerpos agua
6. Matorral desértico rosetófilo
7. Mezquital
8. Comunidades de pastizal
9. Sin vegetación
10. Vegetación desiertos arenosos

Las clases anteriormente citadas, fueron validadas con la cartografía de Uso de Suelo y Vegetación Serie VI de INEGI.

Posteriormente para generar la cobertura de usos de suelo se emplearon técnicas de clasificación supervisada, para ello se definieron las áreas de entrenamiento, con el objetivo de determinar un conjunto de datos representativos y completos que describan el patrón de respuesta espectral de cada categoría; el proceso de las áreas de entrenamiento es



fundamental debido a que determina la calidad de la clasificación final (Lillesand et al., 2015). La ecuación 3 presenta el método de clasificación:

$$g_i(x) = \ln p(\omega_i) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_i| - \frac{1}{2} (x - m_i)^T \Sigma_i^{-1} (x - m_i) \quad (3)$$

donde: g_i = clase, x = número de bandas, $p(\omega_i)$ = probabilidad de que la clase ω_i aparece en la imagen y es asumida por todas las clases, $|\Sigma_i|$ = determinante de la matriz de covarianza, Σ_i^{-1} = matriz inversa, m_i = vector.

Validación del Uso del suelo

Se utilizó el índice Kappa para evaluar la precisión de la clasificación del uso del suelo del municipio de Chihuahua. El índice Kappa es una técnica multivariada discreta que se utiliza para validar las clases de uso de suelo a través de una matriz de error (Congalton, 1991). Se utiliza comúnmente para establecer el grado de similitud entre los objetos simulados, valores mapeados y los reales. Un valor del índice Kappa igual a uno indica 100% de similitud entre valores mapeados y reales. Por el contrario, un valor de cero sugiere un 0% de similitud. El índice KAPPA está representado por la ecuación 4.

$$K_{APPA} = \frac{N \sum^k X_{ii} \sum^k (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - \sum^k (X_{i+} * X_{+i})} \quad (4)$$

donde: KAPPA es el índice KAPPA, k es el número total de filas en la matriz, X_{ii} es el número de observaciones en la fila i y la columna i (a lo largo de la diagonal), X_{i+} y X_{+i} son el total marginal para la fila i y la columna i , respectivamente, y N es el número total de observaciones.



Índice de Disturbio

De acuerdo con Healey *et al.* (2005) el objetivo del índice de disturbio (ID) es destacar las respuestas espectrales de coberturas sin vegetación las cuales están relacionadas con alteraciones por sustitución o remoción de la vegetación y además distinguirla de las respuestas espectrales de la misma vegetación. El índice se basa en la combinación lineal de los índices generados a través de la transformación Tasseled Cap (Kauth y Thomas, 1976). Dicha transformación reduce las bandas espectrales de las imágenes Landsat en tres índices, nombrados como brillo, verdor y humedad. Así mismo señalan que la vegetación perturbada presenta valores altos en brillo y valores bajos en verdor y humedad en comparación a coberturas vegetales no perturbadas. Los parámetros que se utilizaron para la transformación del sensor Landsat 9, se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Parámetros para la transformación Tasseled Cap a imágenes satelitales Landsat.

Índices	2 (Blue)	3 (Green)	Bandas 4 (Red)	5 (NIR)	6 (SWIR 1)	7 (SWIR 2)
Brighness	0.3029	0.2786	0.4733	0.5599	0.5080	0.1872
Greeness	-0.2941	-0.2430	-0.5424	0.7276	0.0713	-0.1608
Wetness	0.1511	0.1973	0.3283	0.3407	-0.7117	-0.4559

Para utilizar los índices de brillo, verdor y humedad como una combinación algebraica para el ID, se realizó primero un re-escalado de dichos índices, usando los valores de la media y desviación estándar de la clase forestal, de esta manera se normalizaron los índices obtenidos por la transformación Tasseled Cap (ecuaciones 5, 6, 7).



$$B_r = (B - B_\mu) / B_s \quad (5)$$

$$G_r = (G - G_\mu) / G_s \quad (6)$$

$$W_r = (W - W_\mu) / W_s \quad (7)$$

donde:

B_r , G_r y W_r = Los valores re-escalados

B_μ , G_μ y W_μ = Valores medios de la clase forestal para brillo, verdor y humedad.

B_s , G_s y W_s = Valores de desviaciones estándar de la clase forestal para brillo, verdor y humedad.

Una vez llevada a cabo las correcciones a través del proceso de re-escalado, usado los procedimientos sugeridos por Healey *et al.*, 2005. Finalmente se empleó la ecuación 8, para obtener el Índice de Disturbio del municipio de Chihuahua.

$$ID = B_r - (G_r - W_r) \quad (8)$$



Análisis de Fragmentación

Para medir la fragmentación del municipio de Chihuahua, se emplearon métricas del paisaje, las cuales pueden ser indicadores de calidad paisajística de un ecosistema. Dichas evaluaciones son llevadas a cabo a través de fuentes de datos generadas a partir de la clasificación de uso de suelo obtenida a través de del procesamiento de sensores remotos, como en el caso de este estudio. La ecuación 9, 10, 11 y 12 muestra las métricas evaluadas en este proyecto.

$$CA = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{10,000} \quad (9)$$

donde:

CA = Área de clase

a_{ij} = Área en m² para el parche j en la clase i

$$NP = n_i \quad (10)$$

donde:

NP = Número de parches

n_i = Número de parches en el paisaje del tipo de parche (clase) i

$$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \left(\frac{1}{10,000} \right) \quad (11)$$

donde:

MPS = Tamaño medio del parche

a_{ij} = Área en m² para el parche j en la clase i



n_i = Número de parches en el paisaje del tipo de parche (clase) i

$$PSSD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n [a_{ij} - (\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i})]^2}{n_i}} \left(\frac{1}{10,000} \right) \quad (12)$$

donde:

$PSSD$ = Tamaño del parche Desviación estándar

a_{ij} = Área en m² para el parche j en la clase i

n_i = Número de parches en el paisaje del tipo de parche (clase) i

$$PSCV = \frac{PSSD}{MPS} (100) \quad (13)$$

donde:

$PSCV$ = Tamaño de parche Coeficiente de variación

MPS = Tamaño medio de parche.

Procedimientos para generar los modelos geospaciales de potencial productivo y zonificación agroecológica.

La clasificación de territorios de acuerdo a su aptitud productiva es un insumo de gran valor para la planeación de las actividades en un determinado espacio, ya que al contar con información cartográfica al respecto es posible optimizar el uso del territorio y al mismo tiempo minimizar los impactos en los ecosistemas, así como ser más objetivos en las inversiones para la producción y por tanto se pueden generar más utilidades, haciendo los sistemas más productivos.



Una de las etapas para generar el mapa de zonificación agroecológica del municipio de Chihuahua, fue la generación de los mapas de potencial productivo del territorio. Este procedimiento incluye una clasificación específica de la influencia de variables de relieve, clima y suelos.

El desarrollo de los mapas de potencial productivo se realizó con base en la influencia de cada variable específica sobre el desempeño productivo del sistema terrestre. En este caso el procedimiento para desarrollar el potencial productivo fue desarrollado considerando los siguientes objetivos:

Conocer la variación espacial del potencial productivo para el desarrollo de actividades agropecuarias.

Conocer la variación espacial del potencial productivo para el desarrollo de actividades de uso manejo y conservación de ecosistemas naturales.

Con base en estos objetivos se definieron las variables espaciales con las que se desarrolló la cartografía de potencial productivo, estas variables corresponden a los factores climático, de relieve y de suelos:

Clima: Precipitación, temperatura media

Relieve: Pendiente, exposición del terreno, disección vertical

Suelos: Textura, y tipo de suelo, vinculado con la profundidad del suelo y sus fases químicas y físicas.

Para cada una de estas variables, se generaron modelos geoespaciales en formato raster, los cuales fueron reclasificados de acuerdo con su influencia sobre la capacidad productiva del territorio. Estos valores de clasificación para el potencial productivo del municipio de Chihuahua se presentan más adelante.

Variables ecológicas relacionadas con potencial productivo para el sistema agroecológico del municipio de Chihuahua.

El conocimiento de la relación del sistema agroecológico incluyendo cultivos y vigor de los ecosistemas con factores de clima, suelo y relieve es fundamental para la generación de los modelos geoespaciales de productividad, los cuales a su vez son herramientas potenciales para la planeación territorial.

En algunos trabajos realizados en México se describen las relaciones entre la altitud y la distribución de especies de pino (Eguiluz, 1977 y Eguiluz, 1982), además desde hace una



veintena de años se han desarrollado modelos bioclimáticos para reconocer patrones de distribución potencial de en zonas agrícolas y terrenos forestales, realizando análisis en los que se identifican las características climáticas donde las especies prosperan con mayor potencial (Téllez et al., 2004).

Actualmente, existe un marcado interés para conocer la influencia que algunos factores como el relieve, suelo y clima tienen sobre el crecimiento de las especies y la productividad de los territorios. El conocimiento de esta información es importante para generar cartografía de productividad de diferentes territorios mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Martínez et al., 2006).

Generación de cartografía de potencial productivo

Para el desarrollo de los potenciales productivos agroecológicos del estado de Chihuahua se desarrollaron los siguientes pasos:

1. Colecta de las bases de datos de Suelo, Clima y Relieve
2. Generación de los criterios de clasificación del potencial productivo para cada variable
3. Generación de los modelos espaciales de las variables que integran el potencial productivo
4. Reclasificación de los valores espaciales de las variables con base en los criterios de potencial (1. Bajo, 2. Medio, 3. Alto)
5. Procedimientos de álgebra de mapas (Distancia euclidiana, uniones) para integrar los modelos espaciales de potencial productivo por factor (Suelo, Clima, Relieve)
6. Procedimientos de álgebra de mapas (Distancia euclidiana, uniones) para integrar el modelo espacial de potencial productivo general, el cual incluye los tres factores
7. Reclasificación del modelo final de potencial productivo considerando tres niveles de potencialidad (1. Potencial Bajo, 2. Potencial Medio, 3. Potencial alto).

La figura 2, muestra el diagrama que se siguió para desarrollar el modelo geoespacial de potencial productivo, el cual es un insumo necesario para integrar el mapa de zonificación agroecológica, ya que cada tipo de uso del suelo deberá cruzarse con el modelo de potencial productivo para identificar el tipo de potencial en el que se desarrollan las actividades agropecuarias y forestales dentro del territorio municipal.



Figura 2. Flujo de indicadores para generar el modelo de potencial productivo agroecológico del municipio de Chihuahua.

Indicadores para la clasificación del potencial productivo.

Para cada factor se incluyeron los indicadores que se presentan de manera esquemática en la figura anterior, cada uno de estos indicadores fue clasificado en función de su influencia sobre la productividad agroecológica dentro del territorio del municipio de Chihuahua.

En el proceso de evaluación del potencial productivo para la actividad agroecológica del municipio de Chihuahua, se han identificado los diferentes indicadores de los principales factores que determinan el desarrollo de la vegetación ya sea en los ecosistemas naturales o en las áreas de cultivo del municipio. En seguida se presentan en forma de cuadros las variables o indicadores utilizados para la generación del potencial natural.



Cuadro 3. Ángulo de la pendiente

Potencial	Inclinación	Descripción
Alto	0.5°-3°	Inundaciones ocasionales. Favorable cuando ocupan zonas elevadas o mesetas. Estas pendientes son ideales para el desarrollo de actividades agrícolas, ya que permiten la mecanización.
Alto	3°-10°	Comienzan a manifestarse los procesos erosivos de las pendientes. Alto potencial para actividades pecuarias o para el establecimiento de cultivos agroforestales. Problemas erosivos con baja cobertura y se presentan dificultades menores para mecanización en el proceso de manejo.
Medio	10°-25°	Fuertes problemas erosivos en ausencia de cobertura vegetal. Dificultad menor de mecanización. No se sugiere practicar agricultura, es posible realizar plantaciones forestales comerciales, reforestación con fines de protección.
Medio	25°-30°	Dificultades severas para mecanización, no apto para realizar actividades agrícolas, ni plantaciones forestales. En ausencia de cobertura vegetal se presentan altos niveles de erosión
Bajo	>30°-45°	Fuertes problemas de erosión, dificultades severas para la mecanización en el aprovechamiento forestal. No es recomendable realizar actividades ajenas a la protección y restauración del ecosistema.
Bajo	>45°	Recomendable para zonas de conservación y protección. No es apto para el aprovechamiento de recursos forestales o alguna otra actividad agropecuaria.

Fuente: Martínez *et al.*, (2006)



Cuadro 4. Disección vertical (expresada en m/km²).

Potencial	Disección	Descripción
Alto	< 2.5	Sin inundación en zonas elevadas o mesetas. Inundaciones en terrenos ondulados bajos. En el municipio de Chihuahua, se pueden presentar eventos de encharcamiento en terrenos de valles, lo cual genera salinidad en suelos sobre todo de origen calizo. Esta disección indica que la pendiente es suave, por tanto, en suelos con buen drenaje es la mejor etapa geomorfológica para el establecimiento de agricultura.
Alto	2.5-20	Área óptima para la productividad agroecológica, sin problemas erosivos fuertes en presencia de cobertura vegetal, no inundables. Sin problemas para la mecanización en el proceso de manejo.
Alto	20-40	Potencial natural agroecológico alto, se empiezan a manifestar problemas erosivos en ausencia de cobertura, en sistemas bajo manejo puede requerir técnicas anti erosivas. Limitaciones de bajas a moderadas para la mecanización.
Medio	40-60	Incremento en los procesos erosivos en ausencia de cobertura. Dificultades moderadas para la mecanización.
Medio	60-100	Fuertes procesos erosivos en ausencia de cobertura. Dificultades desde moderadas a severas para la mecanización en el proceso de manejo, potencial de mediano a bajo en cultivos agroforestales
Medio	100-200	Fuertes procesos erosivos con baja cobertura. Dificultades severas para la mecanización, máximo rango para el aprovechamiento forestal maderable.
Bajo	>200	Problemas severos de erosión en ausencia de cobertura.

Fuente: Martínez *et al.*, (2006)



Cuadro 5. Exposición del terreno (exposición de las geoformas a la incidencia del sol).

Potencial	Exposición	Descripción
Alto	Norte Franco y Zenital (315°-45°)	Áreas con menor incidencia de radiación solar, evaporación moderada, mayor posibilidad de desarrollo de cubierta vegetal, más aptas para el establecimiento de cultivos.
Bajo	Sur (135°-225°)	Áreas con mayor exposición a la radiación solar, los niveles de evaporación son mayores, existe menor retención de humedad, y se torna más difícil el desarrollo de las plantas.
Medio	Este (45°-135°)	Áreas con radiación solar media, superficies con evaporación de media a alta, en las laderas con este tipo de exposición, la retención de humedad es menor que en las exposiciones norte, pero mayor que en las exposiciones sur.
Medio	Oeste (225°-315°)	Áreas con radiación solar moderada, la evaporación es más baja que en las exposiciones sur y este, por lo que el contenido de humedad tiende a ser mayor, los ecosistemas naturales prosperan con mayor eficiencia productiva.

Fuente: Martínez *et al.*, (2006)

Indicadores para evaluar la potencialidad productiva del clima

A continuación, se describen las variables y sus valores de influencia sobre los agroecosistemas del municipio de Chihuahua.

Cuadro 6. Atributos del clima (precipitación, temperatura máxima, mínima y media).

Potencial	Precipitación	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima
Alto	>420 mm	Promedio anual menor a 18°C	Promedio anual mayor a 8°C
Medio	300-420 mm	Entre 18 y 22°C	Promedio anual menor a 6-8°C



Bajo	Menor a 300mm	Promedio anual superior a 22°C	La temperatura promedio anual de las mínimas es menor a 6°C
------	---------------	--------------------------------	---

Fuente: Martínez *et al.*, (2006)

Indicadores para evaluar la potencialidad productiva de los suelos

Con base en los tipos de suelo, se evaluó la potencialidad agroecológica de cada tipo de suelo y su relación con el desarrollo de los agroecosistemas del municipio de Chihuahua. Posteriormente, se realizó una clasificación del territorio en función de las características propias de cada tipo de suelo (Cuadro 6).

Cuadro 7. Tipos de suelo existentes en la región de estudio y sus propiedades físicas.

Tipo de suelo (TS)	Potencial de TS	Textura (Tx)	Potencial de Tx	Fase física (FF)	Potencial de FF
Planosol eútrico	Medio	Media	Alto	pedregosa	bajo
Planosol eútrico	Medio	Gruesa	Bajo	pedregosa	bajo
Acrisol húmico	Alto	Media	Alto	lítica profunda	alto
Acrisol órtico	Medio	Fina	medio	lítica profunda	alto
Cambisol crómico	alto	Media	alto	lítica	bajo
Cambisol crómico	alto	Media	alto	pedregosa	bajo
Cambisol crómico	alto	Media	alto	lítica profunda	alto
Cambisol eútrico	medio	Media	alto	lítica	bajo
Cambisol eútrico	medio	Media	alto	pedregosa	bajo
Feozem háplico	alto	Gruesa	bajo	pedregosa	bajo
Feozem háplico	alto	Gruesa	bajo	lítica	bajo
Feozem háplico	alto	Media	alto	lítica	bajo



Feozem háplico	alto	Media	alto	pedregosa	bajo
Feozem háplico	alto	Media	alto	gravosa	medio
Feozem háplico	alto	Media	alto	lítica profunda	alto
Feozem lúvico	alto	Fina	medio	lítica profunda	alto
Litosol eútrico	bajo	Gruesa	bajo	gravosa	medio
Litosol eútrico	bajo	Media	alto	gravosa	medio
Regosol eútrico	bajo	Media	alto	lítica	bajo
Regosol eútrico	bajo	Media	alto	pedregosa	bajo
Regosol eútrico	bajo	Gruesa	bajo	lítica	bajo
Regosol eútrico	bajo	Gruesa	bajo	pedregosa	bajo
Regosol eútrico	bajo	Gruesa	bajo	lítica profunda	alto

Fuente: Martínez *et al.*, (2006), INEGI, 2003.

Modelos teóricos de máxima productividad agroecológica.

Los modelos teóricos integran las características óptimas para clasificar a una unidad territorial como apta para la productividad de un sistema agroecológico para el municipio de Chihuahua son los siguientes: (Cuadro 8).

Cuadro 8. Modelo teórico de máximo potencial natural.

Factor	Indicador Uno	Indicador Dos	Indicador Tres
Relieve	Ángulo de lapendiente menor a 3°	Disección vertical: desde valles hasta llanuras onduladas ligeramente disecionadas (0–250 m/km ²)	Exposiciones Norte (315°–45°) y zenital.



Suelo	Vertisol, planosol, Cambisol, Acrisol, Feozem.	Textura de media a fina.	Sin fase física aparente, con profundidades mayores a 50 cm.
Clima	Precipitación superior a 420 mm	Temperaturas medias de 18 a 22 °C	Temperatura mínima Mayor a 8 °C

Fuente: Martínez *et al.*, (2006)

Las áreas que presentan estas características son las mejores para el desarrollo de actividades de manejo y aprovechamiento agropecuario y desarrollo de ecosistemas forestales.

Descripción de los potenciales en función del relieve.

a) Potencial natural alto.

Superficies con pendientes de plana a ligeramente inclinadas (0° - 3°), corresponden a geoformas que van desde valles hasta valles ondulados, con valores de disección vertical de 0-40 m/km². exposiciones norte. En estas áreas, la complejidad del relieve es suave, lo cual hace que se puedan realizar actividades de mecanización y riego en los agroecosistemas.

b) Potencial natural medio.

Pendientes de medianamente inclinadas con rangos de 3° a 11° de inclinación. Generalmente de montañas medianamente diseccionadas con valores de disección vertical entre 40 y 100 m/km². dispuestas en geoformas que se localizan en exposiciones Este y Oeste. La complejidad del relieve en estas superficies es moderada.

c) Potencial natural bajo.

Pendientes inclinadas ($>11^{\circ}$), que ocupan montañas lomeríos y montañas diseccionadas con valores de disección vertical superior a 100 m/km² con exposición Sur. La complejidad del relieve en estas superficies va de mediana a fuerte, de tal manera que no es factible desarrollar actividades agrícolas de riego, muy poca de temporal. En estas áreas se sugiere actividades pecuarias, y en las porciones altas de las cuencas actividades forestales.



Descripción de los potenciales en función de suelo.

a) Potencial natural alto.

En los bosques templados los potenciales se encuentran principalmente sobre suelos del tipo Vertisol, Planosol, Cambisol, Feozem, Acrisol. Generalmente de origen ígneo y/o aluvial. La textura en las regiones de alta productividad generalmente es de media a fina y estas unidades de suelo generalmente no presentan fase física aparente y ocasionalmente se encuentran unidades medianamente gravosas o pedregosas, generalmente con profundidades superiores a los 50 cm.

b) Potencial natural medio.

Suelos generalmente del tipo Regosol, con textura media. Profundidades que van desde los 30 a 50 cm de profundidad y con fases físicas gravosas o con roca madre superficial. Bajos contenidos de materia orgánica, generalmente son suelos dispuestos en laderas.

c) Potencial natural bajo.

Superficies formadas principalmente de suelos litosoles y xerosol del subtipo eútrico y háplico, con profundidades menores a 10 cm. Tipo de textura generalmente gruesa, y con fase física generalmente gravosa, pedregosa y lítica. Este tipo de suelos someros generalmente no retienen humedad y son altamente frágiles, donde las especies forestales alcanzan los más bajos potenciales de producción.

Descripción de los potenciales en función de clima.

a) Potencial natural alto.

Clima templado húmedo y subhúmedo, donde la temperatura media anual es mayor a los 18 a 22°C, temperaturas mínimas medias superiores a 8°C, con precipitaciones mayores a 420 mm.

b) Potencial natural medio.

Climas con temperatura media mayor a los 22°C, temperatura media mínima de 6 a 8 °C. precipitaciones de 300 a 420 mm. En estos terrenos es posible que se presenten heladas tempranas o tardías.

c) Potencial natural bajo.

Climas cálidos con temperatura media anual mayor a los 22°C, la temperatura media invernal menor a 3°C. con precipitaciones menores a 300 mm. En estos terrenos incrementa la frecuencia de heladas tempranas y tardías.



Zonificación Agroecológica.

La zonificación agroecológica se genera a través de los métodos comparativos geoespaciales, simplemente sobreponiendo el mapa de uso actual del suelo sobre el mapa de potencial productivo, lo cual permite clasificar a cada una de las clases de uso del suelo de acuerdo con la aptitud del territorio, de tal manera que tendremos entonces zonas con alto, medio y bajo potencial productivo para cada actividad o ecosistema que se distribuye dentro del territorio municipal.

La zonificación agroecológica fue desarrollada mediante el uso de tres insumos básicas:

1. Cartografía de Potencial Productivo, el cual fue desarrollado en la etapa uno del proyecto utilizando los procedimientos antes descritos.
2. Cartografía de Uso del Suelo desarrollada mediante una clasificación semi supervisada de imágenes de satélite.



Figura 3. Marco conceptual para la integración de la zonificación agroecológica en el municipio de Chihuahua.



Como resultado de la zonificación forestal se integraron las siguientes clases de orden mayor que se describen a continuación. Cabe mencionar que

Zonas de protección. Incluye las que se generaron con el análisis de uso del suelo relacionadas con la fragmentación del hábitat, y las regiones de interés prioritario por niveles de deterioro. Adicionalmente, se incluyen las áreas y parques decretados como zonas protegidas en el municipio.

Zonas de restauración. La información correspondiente a zonas de restauración incluye los terrenos con cobertura vegetal menor al 20% y que se encuentran en regiones de “relieve complejo”.

Zonas de producción. Se han delimitado los terrenos agrícolas, zonas pecuarias y territorios forestales del municipio en función de su potencial natural y productivo.

Zonas de otros usos. Usos diferentes al forestal o terrenos no forestales.



Resultados

Composición en Falso Color

Para generar la zonificación agroecológica del municipio de Chihuahua, uno de los insumos más importantes es el uso actual del suelo, ya que permite identificar y categorizarlas áreas según su aptitud para diferentes usos agrícolas, forestales o de conservación. Esta información se obtiene mediante un análisis detallado de imágenes de satélite, que proporcionan datos actualizados y de alta resolución sobre las características de la superficie terrestre.

En este caso, se utilizan imágenes del sensor Landsat 9, las cuales ofrecen una excelente herramienta para el monitoreo ambiental y la gestión territorial. La generación de una composición en falso color, como se muestra en la Figura 1, se realiza empleando las bandas espectrales 6 (Infrarrojo de onda corta), 5 (Infrarrojo cercano), y 4 (Rojo). Esta combinación específica de bandas permite resaltar diferentes características del suelo y la vegetación:

- Bandas 6, 5 y 4 de Landsat 9: Esta combinación es ideal para diferenciar tipos de vegetación, cuerpos de agua y áreas urbanas. La banda 6 (infrarrojo de onda corta) es especialmente útil para identificar la humedad del suelo y las características de la vegetación, mientras que la banda 5 (infrarrojo cercano) es muy sensible a la presencia de clorofila en las plantas, lo que permite distinguir entre vegetación sana y estresada. La banda 4 (rojo) es crucial para captar detalles de la cobertura vegetal y del suelo.
- Composición en falso color: Esta técnica de visualización permite asignar colores que no corresponden a los que veríamos en una fotografía común. Por ejemplo, en la composición mencionada, la vegetación puede aparecer en tonos rojizos, los cuerpos de agua en azules oscuros o negros, y las superficies urbanas o áridas en tonos claros o grises. Esta visualización mejora la interpretación de las diferentes coberturas y usos del suelo, ayudando a los especialistas a identificar rápidamente áreas de interés agroecológico.



El análisis de estas imágenes es fundamental para elaborar mapas de uso del suelo que reflejen la realidad actual y sirvan como base para la toma de decisiones en cuanto a la planificación territorial, la gestión de recursos naturales y el desarrollo agrícola sostenible en el municipio de Chihuahua. Además, este tipo de análisis permite evaluar cambios en la cobertura del suelo a lo largo del tiempo, facilitando la identificación de tendencias y la implementación de estrategias de conservación o rehabilitación ambiental.

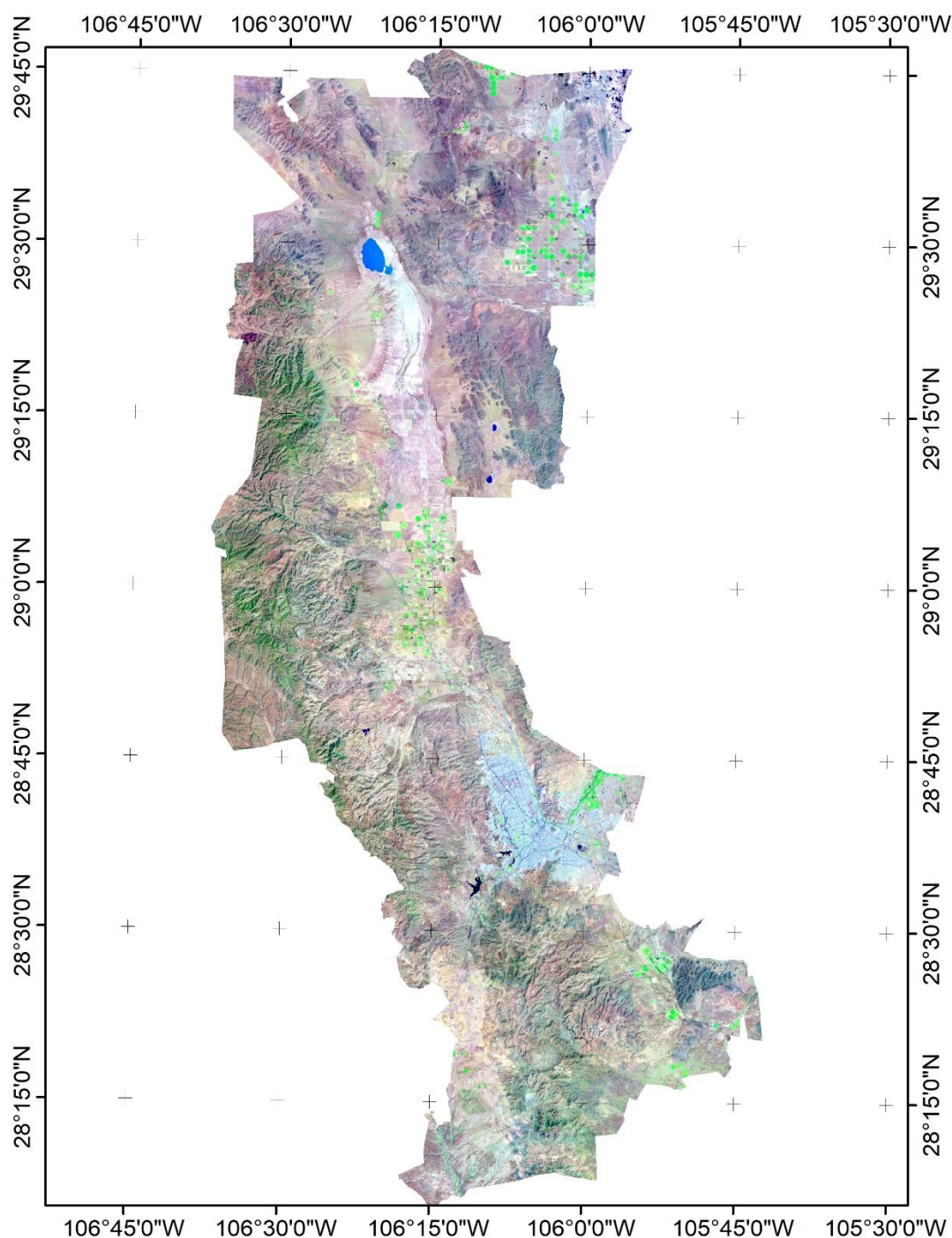


Figura 4. Composición en falso color del satélite Landsat 9 en el municipio de Chihuahua.



Uso del Suelo Municipio Chihuahua

Como resultado del proceso de clasificación del uso del suelo en el municipio de Chihuahua, se obtuvo información detallada sobre las diferentes coberturas y usos del suelo presentes en la región. El cuadro 2 presenta las superficies correspondientes a cada categoría de uso de suelo, expresadas en hectáreas (ha) y del porcentaje correspondiente al área total de municipio.

Análisis del uso de Suelo en el Municipio de Chihuahua.

Comunidades de Pastizal: Representan la cobertura más extendida en el municipio, con una superficie de 428,808.99 ha, lo que equivale al 51.18% del área total. Estas áreas se caracterizan por ser extensas llanuras cubiertas principalmente por gramíneas, que son fundamentales para la actividad ganadera, una de las principales actividades económicas en la región. El predominio de los pastizales también indica una adaptación a las condiciones climáticas semiáridas del municipio.

Matorral Desértico Micrófilo: Esta es la segunda cobertura más importante, con una superficie de 184,617.87 ha, representando un 22.04% del territorio. Este tipo de vegetación se compone de plantas pequeñas de hojas finas, adaptadas a las condiciones de aridez extrema, como el mezquite y la gobernadora. Su presencia significativa refleja la existencia de zonas con suelos pobres y escasa disponibilidad de agua, condiciones típicas del clima desértico de la región.

Bosque de Pino-encino (encino-pino): Ocupa una superficie de 104,541.828 ha, lo que corresponde al 12.48% del área total del municipio. Este tipo de bosque mixto se encuentra principalmente en áreas montañosas y es de gran importancia ecológica, ya que proporciona hábitat para diversas especies de flora y fauna, además de ser una fuente de recursos maderables y no maderables. La presencia de estos bosques también contribuye a la regulación del ciclo hidrológico local.

Áreas Agrícolas: Las superficies destinadas a actividades agrícolas cubren 82,000.678 ha, representando el 9.79% del municipio. Estas áreas se utilizan para el cultivo de diversos productos, tanto de temporal como de riego, y juegan un papel clave en la economía local. La proporción relativamente baja de tierras agrícolas indica que la agricultura es menos predominante en comparación con otros usos del suelo, posiblemente debido a las limitaciones climáticas y edáficas.



Áreas Urbanas: Las zonas urbanas, que incluyen la ciudad de Chihuahua y otras localidades menores, abarcan 24,331.849 ha (equivalente al 2.90% del territorio). Estas áreas comprenden tanto los asentamientos humanos como la infraestructura asociada, y su distribución refleja el patrón de desarrollo socioeconómico del municipio.

Matorral Desértico Rosetófilo: Este tipo de vegetación cubre una superficie de 5,399.822 ha (0.64%). Se caracteriza por la presencia de plantas de hojas gruesas en forma de roseta, como los agaves y las yucas, que están bien adaptadas a ambientes áridos.

Vegetación de Desiertos Arenosos: Esta cobertura incluye áreas con vegetación adaptada a suelos arenosos, ocupando 3,709.804 ha (0.44%). Las especies aquí son típicamente xerófitas, adaptadas a ambientes con suelos sueltos y condiciones de sequía.

Mezquital Xerófilo: El mezquital xerófilo abarca 2,096.448 ha (0.25%). Este tipo de vegetación incluye principalmente el mezquite y otras especies arbustivas adaptadas a condiciones de sequía y suelos pobres.

Cuerpos de Agua: Aunque ocupan una superficie relativamente pequeña de 2,231.827 ha (0.27%), los cuerpos de agua, como ríos, lagunas y presas, son fundamentales para el abastecimiento de agua potable, la agricultura de riego, entre otras.

Áreas Sin Vegetación: Representan una fracción mínima del territorio, con apenas 49.627 ha (0.01%). Estas áreas pueden corresponder a suelos desnudos, superficies erosionadas o desarrollos humanos recientes no clasificados como áreas urbanas.

Las condiciones ambientales del municipio de Chihuahua, caracterizadas por una combinación de climas semiáridos y áridos, un relieve variado y una diversidad de tipos de suelo como regosoles, xerosoles, luvisoles y litosoles, fomentan la configuración de un paisaje notablemente diverso. Esta variedad de factores crea un mosaico de ecosistemas que incluye desde pastizales extensos y matorrales desérticos, adaptados a condiciones de baja humedad y temperaturas extremas, hasta bosques de pino-encino en las áreas montañosas donde las condiciones de mayor humedad y altitud permiten el desarrollo de especies arbóreas. Esta heterogeneidad no solo contribuye a la riqueza biológica de la región, sino que también influye en la distribución del uso del suelo y en las actividades productivas, como la agricultura, la ganadería y la conservación, promoviendo un entorno dinámico y multifuncional que se adapta a las distintas condiciones ecológicas presentes en el territorio.

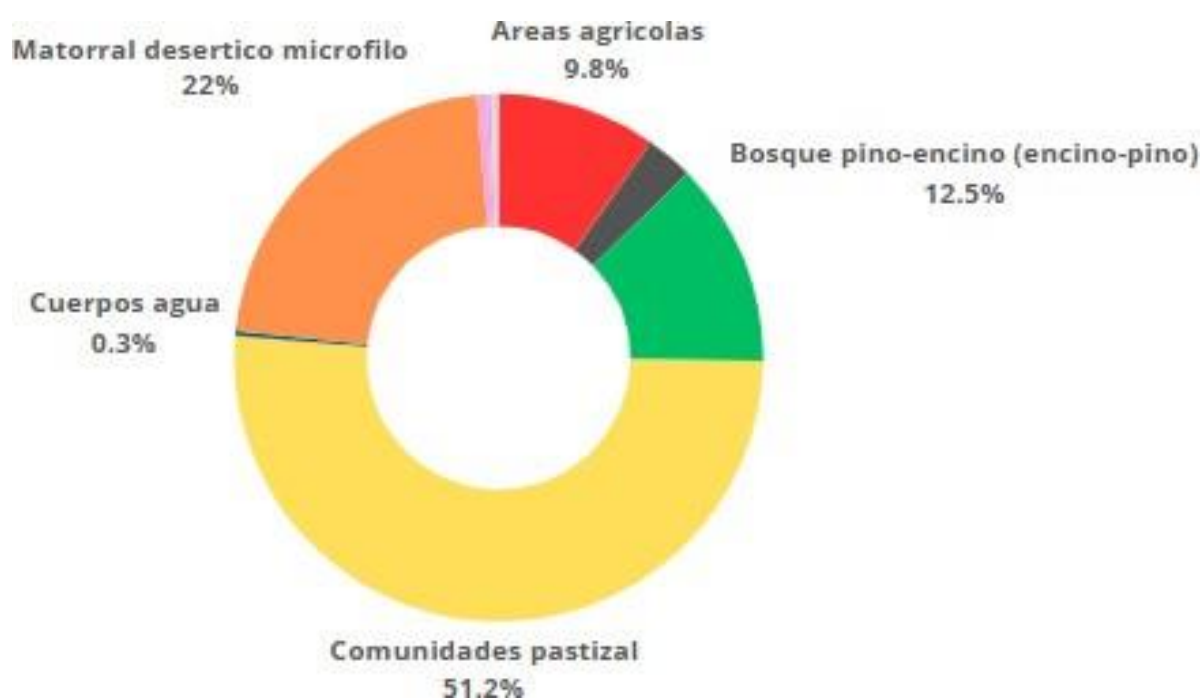


Cuadro 9. Superficies de Uso de Suelo del Municipio de Chihuahua.

Uso de Suelo	Superficie (ha)	%
Áreas agrícolas	82000.67804	9.79
Áreas urbanas	24331.84911	2.90
Bosque pino-encino (encino-pino)	104541.828	12.48
Comunidades pastizal	428808.992	51.18
Cuerpos agua	2231.826711	0.27
Matorral desértico micrófilo	184617.8786	22.04
Matorral desértico rosetófilo	5399.822453	0.64
Mezquital xerófilo	2096.448016	0.25
Sin vegetación	49.627252	0.01
Vegetación desiertos arenosos	3709.803804	0.44
Total	837788.7539	100



La grafica 1, muestra la distribución porcentual de los diversos usos de suelo que se distribuye en el municipio de Chihuahua. Por otro lado, la Figura 2 presenta la clasificación espacial de los diferentes usos del suelo, generada a partir del procesamiento y análisis de imágenes satelitales de la serie Landsat, específicamente del sensor Landsat 9. Este proceso de clasificación utiliza técnicas avanzadas de teledetección y análisis digital de imágenes para identificar y mapear con precisión las distintas coberturas del suelo.



Grafica 1. Distribución de los diversos usos de suelo que se distribuye en el municipio.

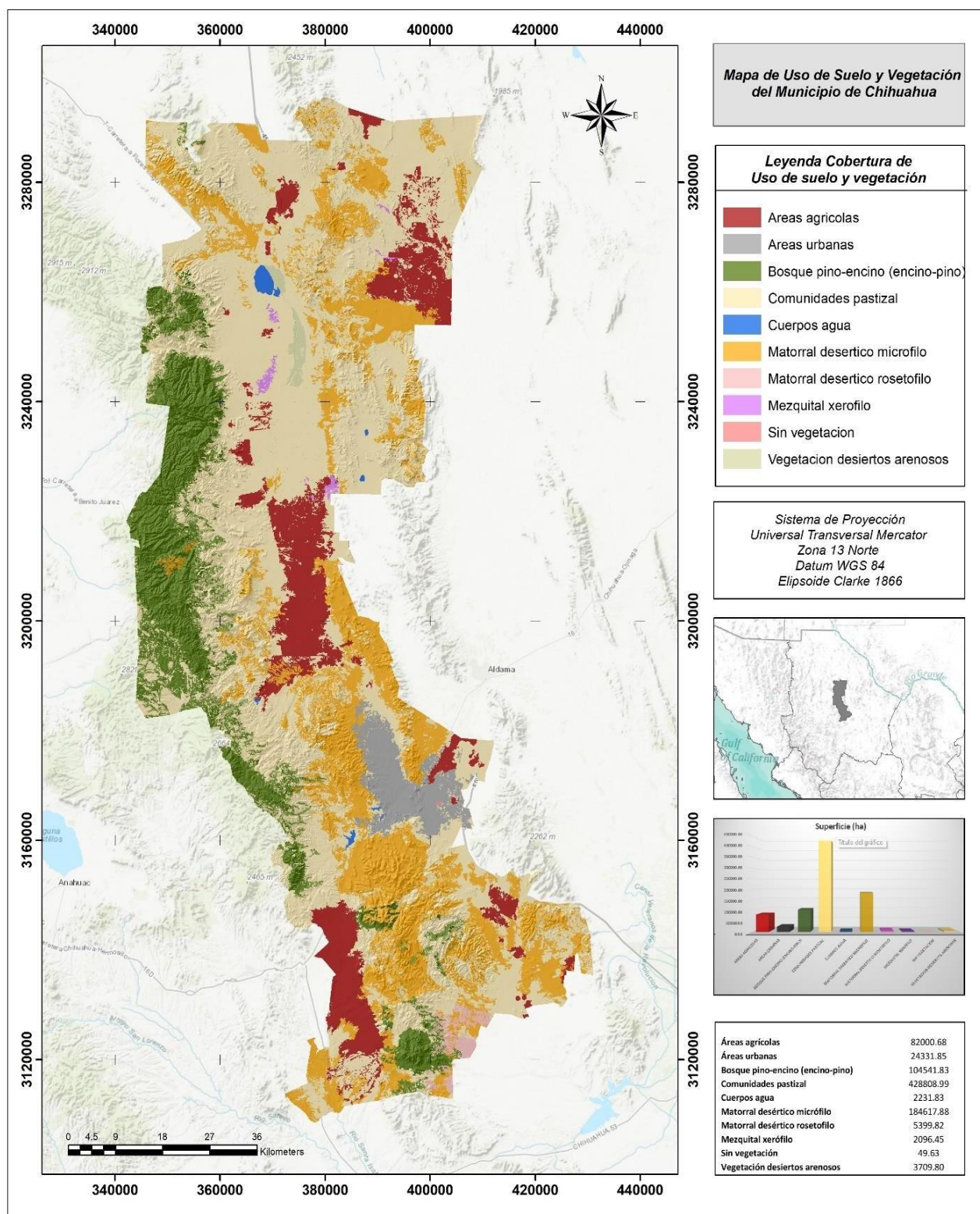


Figura 5. Clasificación espacial de los diferentes usos del suelo del Municipio de Chihuahua.

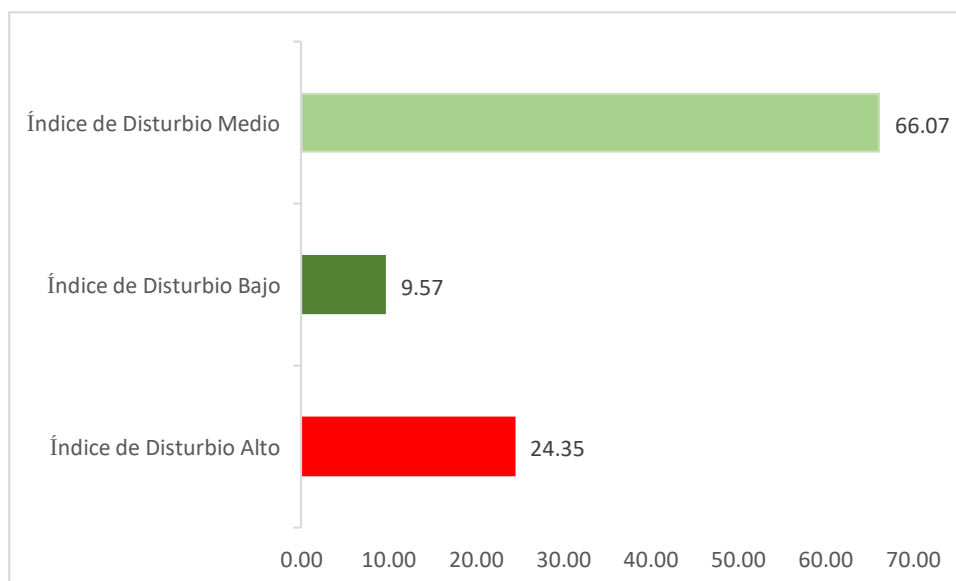


Generación del Índice de Disturbio

De acuerdo con el análisis de disturbio el cuadro 3 y la gráfica 2 muestra los niveles de disturbio para el municipio de Chihuahua en el periodo 2024. Para entender mejor el disturbio se reclasifico en tres clases: bajo, medio y alto, el anterior, usando el método de Jenks, 1967, el cual agrupo los valores de acuerdo a similitud y magnitud, conformando clases en función de maximizar las diferencias entre las clases existentes.

Cuadro 10. Niveles de disturbio para el municipio de Chihuahua en el periodo 2024.

Disturbio	Superficie (ha)	%
Índice de Disturbio Alto	204029.9588	24.35
Índice de Disturbio Bajo	80216.20268	9.57
Índice de Disturbio Medio	553549.792	66.07
Total	837795.9535	100



Gráfica 2. Proporción del disturbio en el Municipio de Chihuahua en 2024.

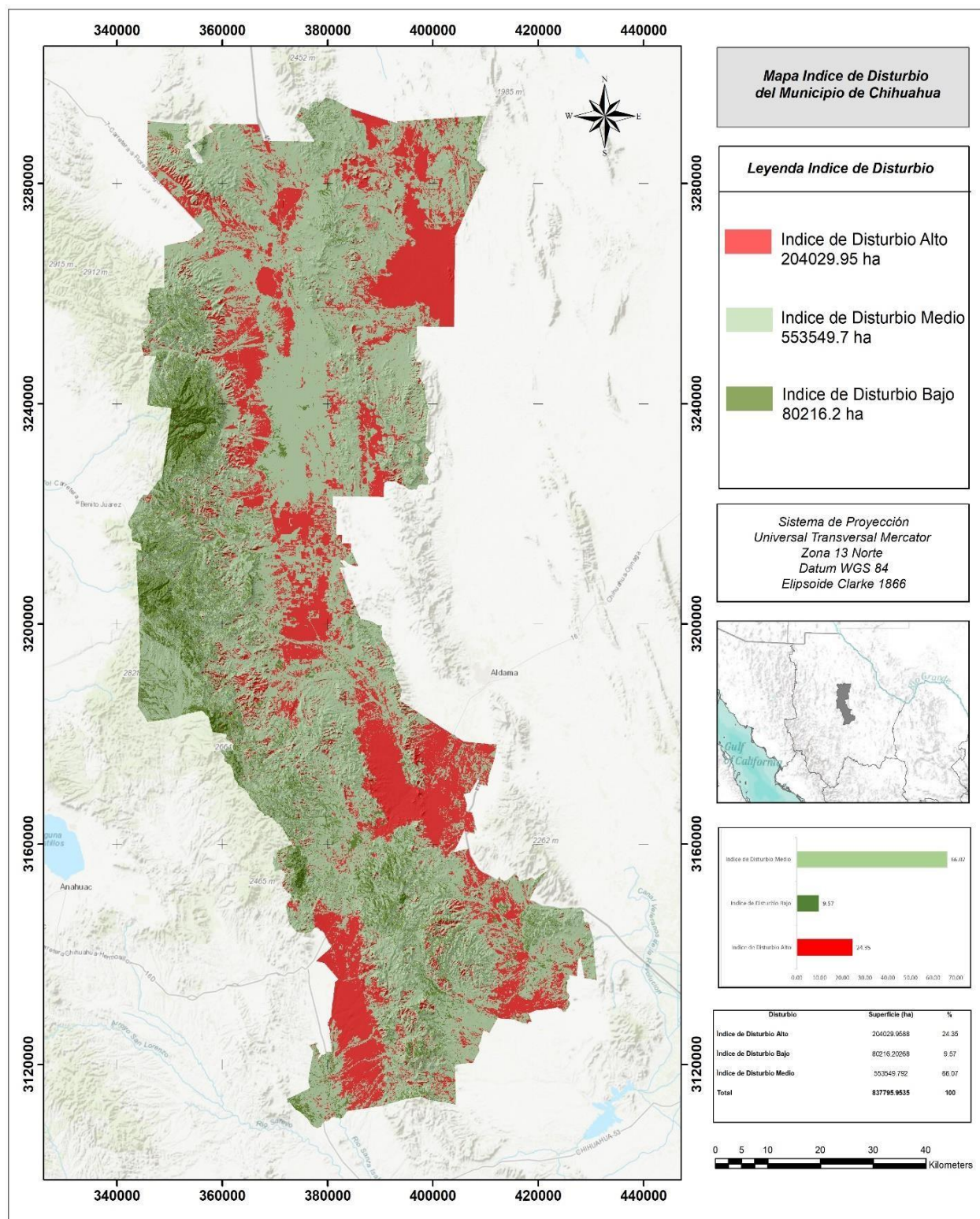
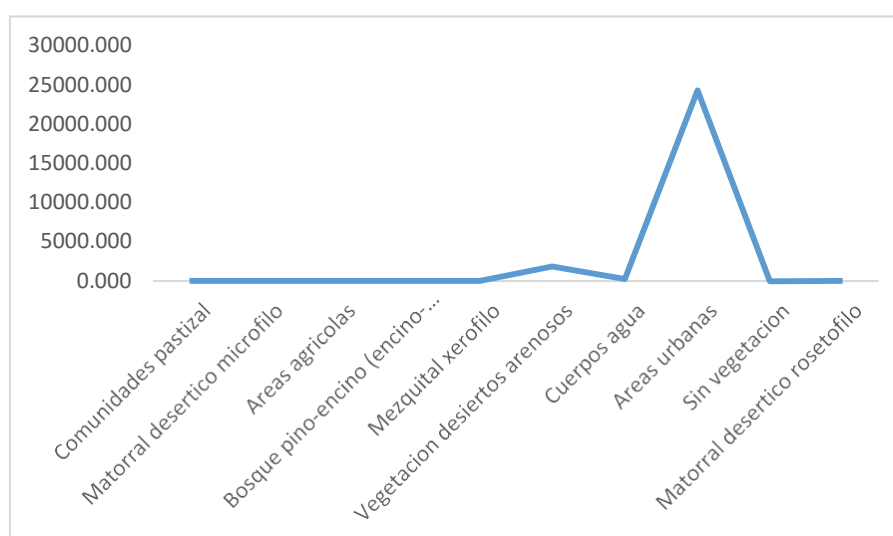


Figura 6. Distribución del índice de disturbio en el Municipio de Chihuahua en el periodo 2024.



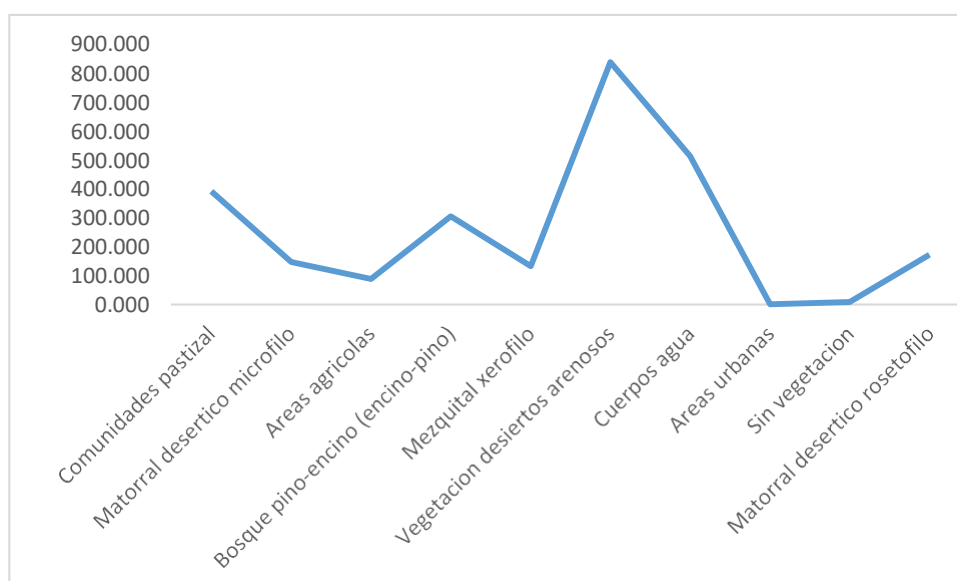
Índice de Fragmentación

De acuerdo a las recomendaciones de los autores McGarigal y Marks (1995) se realizó el análisis del proceso de fragmentación para las categorías de uso de suelo del 2024 en el municipio de Chihuahua con las métricas: área de clase, número de parches, tamaño medio del parche, desviación estándar del tamaño del parche y coeficiente de variación del tamaño medio del parche. Una disminución continua en el tamaño de los parches puede evidenciar una fragmentación de los ecosistemas naturales presentes en el municipio. Cuando se observa una reducción del tamaño medio del parche en una comparación de paisajes, es posible interpretar esta reducción como un incremento en la fragmentación del paisaje, por lo tanto, el tamaño medio del parche se considera una métrica muy útil (Gráfica 3). Sin embargo, el tamaño medio del parche no indica cuantos parches existen, ni tampoco muestra la variación en el tamaño. El número de parches, puede mostrar alteraciones en procesos ecológicos, como establecer el número de un subconjunto de una población espacialmente dispersa, o puede alterar también la estabilidad de las interacciones de las especies (Kareiva, 1990).



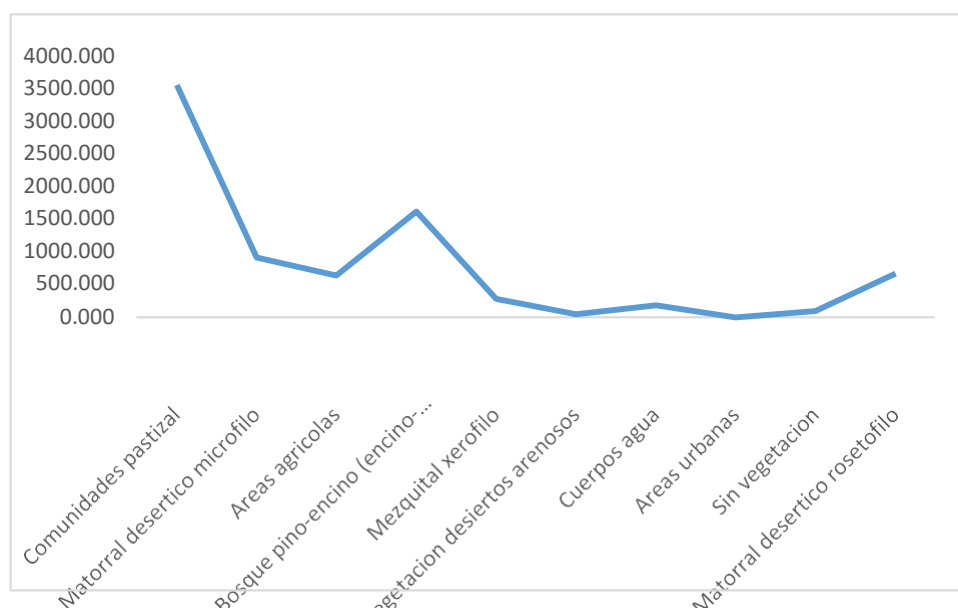
Gráfica 3. Tamaño medio del parche (MPS) en las métricas del municipio de Chihuahua.

La desviación estándar del tamaño del parche, es una medida absoluta que relaciona el tamaño medio del parche y la diferencia de tamaño entre los parches; comparando dos paisajes, un menor valor para esta métrica puede reflejar parches más pequeños Gráfica 4.



Gráfica 4. Desviación estándar del parche (PSSD) en las métricas del municipio de Chihuahua.

Mientras que la métrica de coeficiente de variación del tamaño del parche (Gráfica 5), puede ser más recomendable para comparar la variabilidad de los paisajes, ya que se trata de una variabilidad relativa sobre el tamaño medio del parche, de acuerdo a McGarigal y Marks (1995), las métricas de variabilidad sugieren que los paisajes modificados por actividades antrópicas son más uniformes en el tamaño del parche, que los paisajes no alterados.



Gráfica 5. Coeficiente de variación del tamaño del parche (PSCov) en las métricas del municipio de Chihuahua.



Cuadro 11. Métricas del paisaje generadas para el municipio de Chihuahua.

Uso de Suelo	Métricas del Paisaje				
	MPS	NumP	PSCoV	PSSD	CA
Comunidades pastizal	10.964	39110	3573.058	391.756	428808.993
Matorral desértico micrófilo	15.976	11556	916.651	146.444	184617.879
Áreas agrícolas	13.696	5987	641.742	87.896	82000.678
Bosque pino-encino (encino-pino)	18.722	5584	1628.973	304.971	104541.828
Mezquital xerófilo	46.588	45	284.766	132.666	2096.448
Vegetación desiertos arenosos	1854.902	2	45.229	838.956	3709.804
Cuerpos agua	278.978	8	184.088	513.565	2231.827
Áreas urbanas	24331.849	1	0.000	0.000	24331.849
Sin vegetación	8.271	6	95.361	7.888	49.627
Matorral desértico rosetófilo	25.592	211	671.623	171.879	5399.822



Zonificación Agroecológica

Los cuadros 1 y 2 muestran los resultados obtenidos para la clasificación de uso del suelo, así como el resultado de la zonificación agroecológica, respectivamente. Se segregaron 10 tipos de uso del suelo. Estas clases incluyen las comunidades vegetales dominantes del municipio de Chihuahua, así como los terrenos destinados a las actividades agrícola y urbana, incluyendo, además, los cuerpos de agua. Con base en la clasificación de uso del suelo, se observa que el municipio de Chihuahua cuenta con una superficie abierta destinada a la agricultura de 82, 026.61 hectáreas. Cabe destacar que esta superficie corresponde al territorio que manifiesta rasgos de terrenos abiertos a cultivo y corresponde a las imágenes del primer semestre del año 2024. Sin embargo, esta superficie no necesariamente se encuentra con ocupación o siembra en este mismo año. La mayor superficie del territorio municipal está ocupada por la comunidad de pastizales, seguida de las comunidades de matorral, las cuales en conjunto suman una superficie de 201,586.33 ha. En tercer sitio se encuentra la superficie de bosques de transición, o superficie de Encino- Pino, y se identificó además que las áreas urbanas ocupan una superficie de 25, 600.66 ha.

Cuadro 12. Tipos de uso del suelo.

Tipo de uso del suelo	Sup (Ha)
Áreas agrícolas	82,026.61
Áreas urbanas	25,600.66
Bosque pino-encino (encino-pino)	109,199.55
Comunidades pastizal	417,023.21
Cuerpos agua	2,302.28
Matorral desértico micrófilo	189,530.86
Matorral desértico rosetófilo	5,933.02
Mezquital xerófilo	2,348.42
Sin vegetación	50.10



Vegetación de desiertos arenosos	3,774.04
Total	837,788.75

Los resultados de la zonificación agroecológica para el municipio de Chihuahua se presentan en el Cuadro 1. Como resultado de esta zonificación cada una de las clases de uso del suelo ha sido reclasificada con base en el potencial productivo del terreno.

Del total de superficie considerada como de uso agrícola en el municipio de Chihuahua, se identificaron 17,820.60 hectáreas en terrenos con alto potencial, 49,695.66 ha en terrenos de medio potencial, y 14,510.35 ha en terrenos de bajo potencial. Estos datos muestran que la mayor parte de la superficie agrícola se desarrolla en territorios de medio y bajo potencial. Donde las condiciones principalmente de clima y suelo mostraron medio y bajo potencial para el establecimiento de cultivos.

Al considerar todas las clases, incluyendo zonas agrícolas y también los ecosistemas de matorral, bosque y pastizales, se identificó que la mayor parte del municipio mantiene condiciones de potencial productivo medio (48.67%), seguido del potencial productivo bajo (46.77%) y en menor proporción el potencial productivo bajo (4.55%).

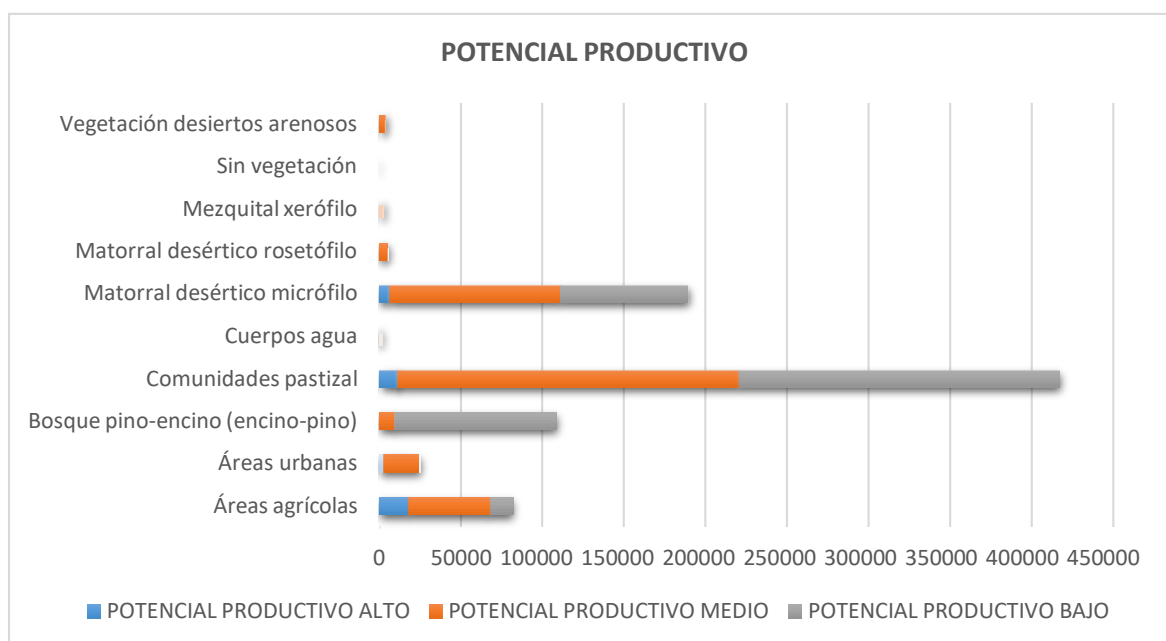
En el municipio se encontró una baja superficie de baja productividad, principalmente por las condiciones climáticas destacando las bajas precipitaciones y las bajas temperaturas, las cuales afectan directamente al desarrollo de cultivos en la actividad agrícola.

El cuadro 2. Muestra a detalle las superficies por tipo de potencial productivo para cada una de las clases de uso del suelo. Además, esta información se puede observar a detalle en el mapa de zonificación agroecológica, el cual permite identificar los usos del suelo en función de su potencialidad. Esta herramienta es de gran valor, ya que permite realizar planeación con optimización en el uso del territorio municipal.



Cuadro 13. Usos del suelo por tipo de productividad

Tipo de uso	Potencial Productivo			
	Alto	Medio	Bajo	Total
Áreas agrícolas	17,820.60	49,695.66	14,510.35	82,026.61
Áreas urbanas	2,615.15	21,995.48	990.04	25,600.67
Bosque pino-encino (encino-pino)	53.37	9,500.36	99,645.83	109,199.56
Comunidades pastizal	11,293.27	209,072.56	196,657.39	417,023.22
Cuerpos agua	68.71	1,079.70	1,153.87	2,302.28
Matorral desértico micrófilo	6,301.43	105,188.03	78,041.39	189,530.84
Matorral desértico rosetófilo		5,235.89	697.13	5,933.02
Mezquital xerófilo		2,301.57	46.85	2,348.42
Sin vegetación	1.81	43.25	5.05	50.11
Vegetación desiertos arenosos		3,663.75	110.29	3,774.04
Total general	38,154.33	407,776.25	391,858.17	837,788.75



Grafica 6. De usos del suelo por tipo de potencial

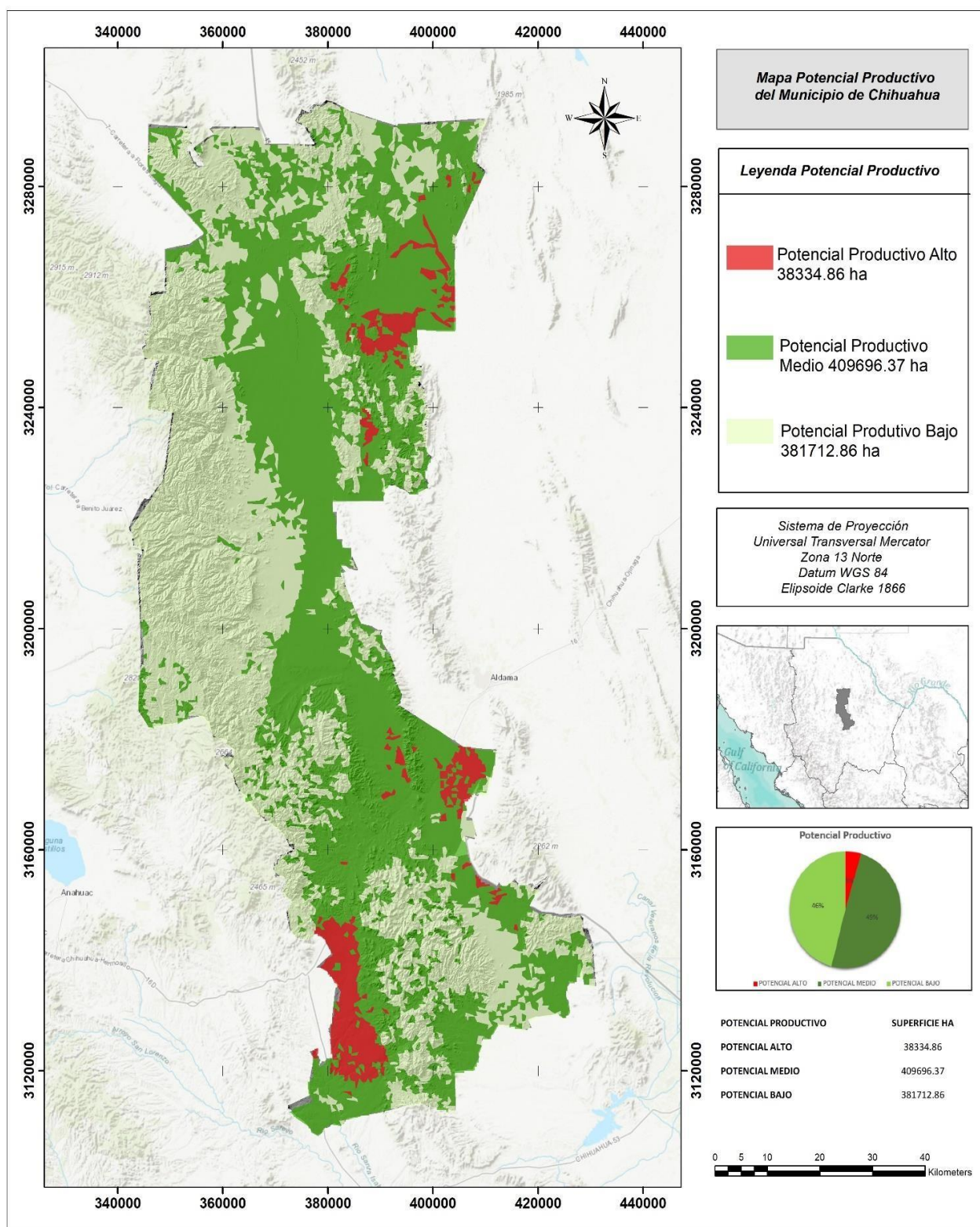


Figura 7. Mapa del potencial productivo del municipio de Chihuahua.

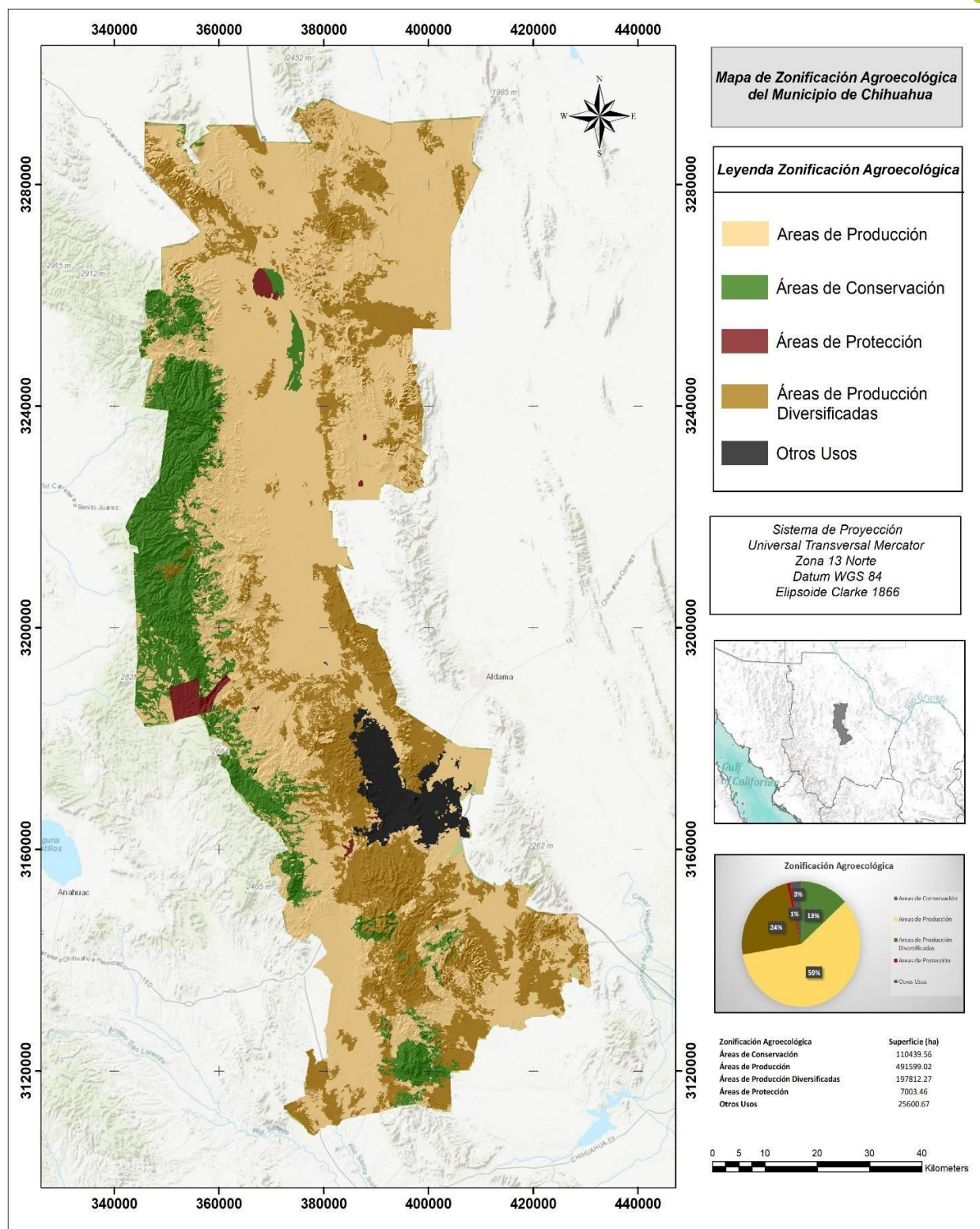


Figura 8. Mapa de Zonificación Agroecológica del municipio de Chihuahua.



Áreas de Conservación (110,439.56 ha)

Descripción: Las áreas de conservación comprenden un espacio considerable del territorio del municipio, dedicadas a la protección de recursos naturales críticos como bosques, cuencas hidrográficas, zonas de alta biodiversidad y ecosistemas frágiles.

Importancia: Estas áreas son vitales para mantener los servicios ecosistémicos, como la regulación del clima, la conservación del suelo, la captura de carbono, y la preservación de la biodiversidad. Además, sirven como barreras naturales contra la desertificación y la erosión del suelo, que pueden ser desafíos significativos en regiones áridas o semiáridas como Chihuahua.

Impacto: Las políticas en estas zonas probablemente sean restrictivas en cuanto a la actividad humana, limitando la agricultura intensiva, la urbanización o la minería para proteger los recursos naturales. Esto es crucial para garantizar que el desarrollo del municipio no comprometa la integridad ecológica de estas áreas.

Áreas de Producción (491,599.02 ha)

Descripción: Estas áreas representan la mayor porción de la superficie total del municipio, indicando que la economía local está fuertemente basada en actividades productivas agropecuarias y forestales.

Importancia: Al ser la zona más extensa, su manejo sostenible es fundamental para la economía del municipio. Estas áreas probablemente están dedicadas a la agricultura comercial (cultivos de grano, hortalizas), ganadería extensiva, y quizás la explotación forestal.

Impacto: Las decisiones sobre el uso de estas tierras tendrán un impacto directo en la seguridad alimentaria, el empleo rural, y la economía local. Es crucial que las prácticas agrícolas y ganaderas sean sostenibles para evitar la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad, y el agotamiento de los recursos hídricos. En estas zonas, podrían implementarse políticas de manejo de recursos naturales, como la rotación de cultivos, sistemas de riego eficientes, y prácticas de manejo integrado de plagas.

Áreas de Producción Diversificadas (197,812.27 ha)

Descripción: Estas áreas están orientadas a una producción más diversificada, combinando diferentes actividades productivas para optimizar el uso del suelo y reducir riesgos.

Importancia: La diversificación en estas áreas es estratégica para mitigar los riesgos asociados con la variabilidad climática, como sequías o heladas, que son comunes en la región de Chihuahua. Estas prácticas también pueden mejorar la resiliencia económica de los productores locales al permitirles depender de múltiples fuentes de ingreso.

Impacto: La diversificación puede incluir la agroforestería, la policultura (varios cultivos en la misma área), o la integración de la ganadería con la agricultura. Esto no solo mejora la sostenibilidad económica, sino que también puede aumentar la biodiversidad local, mejorar la calidad del suelo, y optimizar el uso del agua. Las políticas en estas áreas podrían promover el acceso a mercados para productos diversificados, subsidios para la adopción de tecnologías sostenibles, y capacitación para los productores en nuevas técnicas.



Áreas de Protección (7,003.46 ha)

Descripción: Estas son áreas críticas que requieren una protección estricta debido a su altavulnerabilidad o importancia ecológica. Pueden incluir áreas de recarga de acuíferos, zonascon especies en peligro de extinción, o regiones con alto riesgo geológico (deslizamientos,inundaciones).

Importancia: Aunque representan una porción pequeña del territorio, estas áreas son esenciales para la conservación de recursos hídricos, la protección contra desastres naturales, y la preservación de la biodiversidad.

Impacto: Cualquier actividad humana en estas áreas estaría severamente restringida, y laspolíticas podrían enfocarse en la restauración ecológica, la reforestación, y la vigilancia para prevenir actividades ilegales como la tala o la minería. El manejo adecuado de estas zonases clave para evitar desastres naturales y proteger la calidad del agua que abastece al municipio.

Otros Usos (25,600.67 ha)

Descripción: Esta categoría incluye áreas que no encajan en las definiciones anteriores, como zonas urbanizadas, infraestructura, áreas recreativas, y otros usos del suelo que sonmenos extensivos.

Importancia: Aunque es una categoría más pequeña en términos de superficie, es crucial para el desarrollo urbano y la infraestructura del municipio. Incluye áreas donde se desarrollan viviendas, carreteras, zonas industriales, y posiblemente áreas para actividadesrecreativas o turísticas.

Impacto: La planificación en estas áreas debe considerar el crecimiento urbano sostenible,la infraestructura y la necesaria para soportar la producción agrícola (como caminos y mercados), y el desarrollo de áreas recreativas que mejoren la calidad de vida de los habitantes. Las políticas aquí deben equilibrar el desarrollo con la conservación producción, asegurando que la expansión urbana no invada áreas de conservación oproducción esenciales.

La zonificación agroecológica busca un enfoque integral entre la protección del medio ambiente mientras promueve la producción agrícola y ganadera. La zonificación sirve comoguía para las políticas públicas, orientando las decisiones sobre de suelo, la inversión en infraestructura y la implementación de programas de conservación y desarrollo rural. Esteanálisis ofrece una visión más completa de como la zonificación agroecológica el municipiode Chihuahua busca integrar la producción, conservación y protección del medio ambiente para fomentar un desarrollo sostenible y resiliente en la región.





Conclusiones

Optimización del Uso del Suelo: Al delinear claramente las áreas destinadas a la producción agrícola, la conservación de ecosistemas, y la protección de recursos críticos, se optimiza el uso del suelo, permitiendo un equilibrio entre desarrollo económico y sostenibilidad ambiental.

Sostenibilidad y Resiliencia: La zonificación agroecológica fomenta prácticas agrícolas y ganaderas sostenibles, promoviendo la diversificación y la protección de los recursos naturales, lo que a su vez fortalece la resiliencia del municipio frente a desafíos como el cambio climático.

Preservación del Medio Ambiente: Al identificar áreas específicas para la conservación y protección, se asegura la preservación de la biodiversidad y los recursos hídricos, esenciales para el bienestar a largo plazo del municipio.

Guía para Políticas Públicas: Este proyecto sirve como una base sólida para la formulación de políticas públicas, orientando las decisiones de planificación territorial, inversión en infraestructura rural, y programas de desarrollo sostenible, asegurando que las intervenciones sean coherentes con el potencial y las limitaciones de cada área.

Desarrollo Económico Sostenible: Al promover una producción diversificada y sostenible, la zonificación agroecológica no solo protege el medio ambiente, sino que también impulsa el desarrollo económico del sector rural, creando un entorno favorable para el crecimiento a largo plazo.

La zonificación agroecológica del municipio de Chihuahua representa una herramienta estratégica esencial, ya que proporciona un marco detallado para la planificación y gestión sostenible del uso del suelo al equilibrar el desarrollo económico con la sostenibilidad ambiental. Al identificar áreas específicas para la producción, conservación y protección, este proyecto asegura un manejo eficiente de los recursos naturales, promueve prácticas agrícolas sostenibles y guía para la formulación de políticas públicas. La zonificación agroecológica es esencial para impulsar un desarrollo rural sostenible que proteja el medio ambiente y mejore la calidad de vida del municipio.



Plan de acción de la zonificación agroecológica.

Se pretende iniciar el proceso de desarrollo municipal a través de la zonificación agroecológica para ordenar el territorio de acuerdo con su aptitud productiva.

Cuadro 14. Acciones a realizar en la zonificación agroecológica del municipio de Chihuahua.

Objetivos	Corto Plazo 1 Años	Mediano Plazo 1-3 Años	Largo Plazo Mayor A 3 Años
Zonificar el territorio municipal	(Potencial productivo, clasificación de uso del suelo)		
Diversificar el uso del territorio	Propuesta de estrategias de diversificación	A partir de la zonificación agroecológica y propuestas de desarrollo se implementan proyectos de diversificación productiva para optimizar la vocación territorial.	
Optimización de las zonas de producción con base en el potencial productivo	Delimitación de las zonas productivas con base en los potenciales Agricultura de riego Agricultura de temporal Fruticultura Carga animal Desarrollo Urbano Uso y Manejo del Agua	Zonas de Alto Potencial Modernización de sistemas de riego Sistemas de producción agrícola limpia Innocuidad en la producción Zonas de Medio Potencial Establecer un patrón de cultivos de baja demanda de agua Modernizar los sistemas de riego Regular la carga animal Optimizar el desarrollo urbano de acuerdo al potencial del territorio y disponibilidad de agua Zonas de Bajo Potencial Impulsar proyectos de restauración de suelos Incorporar territorios a sistemas de protección ambiental Limitar la apertura de tierras a cultivo Promover la conservación de ecosistemas	Uso apropiado de la aptitud del territorio Estabilizar la frontera agrícola
Promover tecnificación de la producción agropecuaria	Impulsar la tecnificación agroecológica	Impulsar la transferencia de tecnología, la tecnificación y la mejora continua de la producción intensiva en las zonas de alto potencial	Establecer un sistema de monitoreo de la producción agroecológica municipal
Establecer un sistema de gestión hidrológica		Implementación de obras a nivel de microcuencas, con prioridad en las microcuencas que alimentan los manantiales de los que se abastecen las poblaciones locales.	



Promover la conservación de áreas especiales y territorios de protección	Generación de cartografía y propuestas para la conservación.	Mediante transferencia de tecnología de potencial productivo y técnicas de restauración de ecosistemas.	
Promover la certificación de prácticas agrícolas, pecuarias y de diversificación productiva		Promover la certificación de las actividades productivas	Establecer procedimientos de retroalimentación y mejora continua a través de la investigación, desarrollo tecnológico y transferencia de tecnología.

Cuadro 15. Propuestas de estrategias de diversificación productiva del municipio de Chihuahua.

Tipo de uso	Propuesta de estrategias de diversificación productiva		
	Alto	Medio	Bajo
Áreas agrícolas	- Modernización de sistema de riego - Tecnificación de procesos de producción - Sistemas de producción inocua. - Control de residuos en la producción. - Fortalecer la industrialización de la producción. - Apoyo a la comercialización.	- Establecer un patrón de cultivos de baja demanda hídrica. - Impulsar la reconversión productiva. - Modernizar los sistemas de riego. - Diversificar la producción - Apoyo a la comercialización.	- Impulsar proyectos de conservación de suelos. - Proteger territorios degradados - Limitar la apertura de tierras a cultivo.
Áreas urbanas	- Establecer estrategias de planeación territorial. - Incorporar procesos de desarrollo urbano ecológico. - Proteger sistemas hidrológicos superficiales.	- Desarrollo urbano con base en disponibilidad de Recursos (agua, suelo, relieve, entre otras). - Incorporar procesos de desarrollo urbano ecológico. - Proteger sistemas hidrológicos superficiales.	- Limitar el cambio de uso de suelo. - Establecer estrategias de restauración de ecosistemas urbanos degradados.



Bosque pino-encino (encino-pino)	• Incorporar a sistemas de diversificación productiva (ecoturismo, prácticas sinegéticas). • Incorporar prácticas de conservación de suelos y cosecha de agua.	• Incorporar a sistemas de protección. • Incorporar prácticas de conservación de suelos y cosecha de agua.	• Incorporar prácticas de conservación de suelos y cosecha de agua.
Comunidades pastizal	• Regular la carga animal • Identificar el valor nutricional del agostadero. • Promover la ganadería diversificada. • Transferencia de tecnología para optimizar los sistemas de pastoreo.	• Regular la carga animal • Promover la ganadería diversificada. • Establecer obras de conservación de agostaderos. • Implementar un programa para la construcción de presones. • Establecer resiembra de pastizales. • Proteger la fauna de los agostaderos.	• Optimizar la carga animal. • Establecer obras de conservación de suelos y agostaderos. • Implementar un programa para la construcción de presones. • Establecer resiembra de pastizales. • Proteger la fauna de los agostaderos.
Cuerpos agua	• Generar e implementar un programa para la protección y monitoreo de cuerpos agua. • Tecnificación de obras hidráulicas.	• Generar e implementar un programa para la protección y monitoreo de cuerpos agua. • Tecnificación de obras hidráulicas.	• Generar e implementar un programa para la protección y monitoreo de cuerpos agua. • Tecnificación de obras hidráulicas.
Matorral desértico micrófilo	• Limitar el cambio de uso de suelo • Promover la diversificación productiva (Fauna silvestre y ecoturismo).	• Regular la carga animal. • Limitar el cambio de uso de suelo • Promover la diversificación productiva (Fauna silvestre y ecoturismo).	• Incorporar a sistemas de protección. • Promover obras de conservación, protección y restauración.
Matorral desértico rosetófilo	• Limitar el cambio de uso de suelo • Promover la diversificación productiva (Fauna silvestre y ecoturismo).	• Regular la carga animal. • Limitar el cambio de uso de suelo • Promover la diversificación productiva (Fauna	• Incorporar a sistemas de protección. Promover obras de conservación, protección y restauración.



		silvestre y ecoturismo).	
Mezquital xerófilo	• Limitar el cambio de uso de suelo • Promover la diversificación productiva (Fauna silvestre y ecoturismo).	• Regular la carga animal. • Limitar el cambio de uso de suelo • Promover la diversificación productiva (Fauna silvestre y ecoturismo).	• Incorporar a sistemas de protección. • Promover obras de conservación, protección y restauración.
Sin vegetación	• Actividades de reforestación con fines de recuperación. • Implementar obras de conservación de suelos.	• Actividades de reforestación con fines de recuperación. • Implementar obras de conservación de suelos.	• Actividades de reforestación con fines de recuperación. • Implementar obras de conservación de suelos.
Vegetación desiertos arenosos	• Incorporar zonas de protección.	• Incorporar zonas de protección.	• Incorporar zonas de protección.



Censo de Maquinaria Agrícola

La maquinaria agrícola disponible en una región determina en gran medida las capacidades de las unidades de producción para llevar a cabo ciertas actividades agrícolas. Conocer qué tipo de maquinaria está disponible y en qué cantidad permite identificar las tecnologías predominantes y las posibles limitaciones tecnológicas de la zona.

Contar con información detallada sobre la disponibilidad y el uso de la tecnología agrícola, permite planificar de manera efectiva. La zonificación agroecológica busca optimizar el uso de la tierra en función de las características ecológicas, climáticas, y socioeconómicas de una región. La maquinaria agrícola disponible en el municipio es un factor determinante para implementar prácticas agroecológicas que sean viables y sostenibles.

Permite el monitoreo y evaluación continuos de cómo se implementan y evolucionan las prácticas agroecológicas en el municipio. Esto es crucial para ajustar la zonificación agroecológica a medida que cambian las condiciones y se introducen nuevas tecnologías.

Para determinar la cantidad de maquinaria disponible en el municipio de Chihuahua, se utilizó como información base el Censo Agropecuario 2022, que recopila datos sobre las Unidades de Producción Agropecuarias Activas (UPA). Actualmente, el censo registra un total de 2,405 UPA en el municipio, de las cuales se encuestaron 1,466, representando una muestra significativa de la actividad agropecuaria local. Los datos obtenidos a partir de estas encuestas son fundamentales para comprender la capacidad tecnológica y las necesidades de las UPA en Chihuahua. A continuación, se presenta la información detallada derivada de estas encuestas en la Tabla 1.

- Total, de Unidades de Producción Agropecuarias Activas: 2,405
- Total, de Unidades de Producción Encuestadas (UPE): 1,466





Cuadro 16. Resultados del Censo de Maquinaria Agrícola

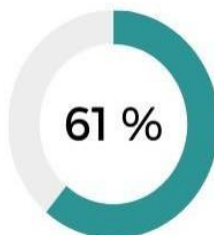
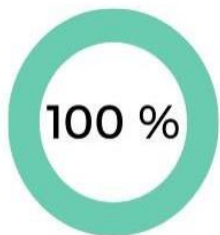
Unidades de producción agropecuaria activas en el Municipio de Chihuahua								
Censo Agropecuario 2022								
Total de Unidades de Producción Agropecuarias Activas: 2,405								
Total de UP Encuestadas (UPE): 1,466								
Sembradoras	Arados	Rastras	Cultivadora	Fertilizadora	Trilladoras	Equipo de aspersión de pesticidas	Desmalezadoras	Equipo de Bombeo de agua
788 unidades que es el 53.78 % UPE	414 unidades que es el 28.30% UPE	662 unidades, que es el 45.17% UPE	466 unidades, que es el 31.81 % UPE	15 unidades que es el 1.05% UPE	288 unidades que es el 19.68%	98 unidades que es el 6.68%	266 unidades de 18.10 % de UPE	5 unidades 0.35% de UPE



Unidades de producción agropecuaria activas en el
Municipio de Chihuahua

Total de Unidades de Producción Agropecuarias
Activas: 2,405

Total de UP Encuestadas (UPE): 1,466





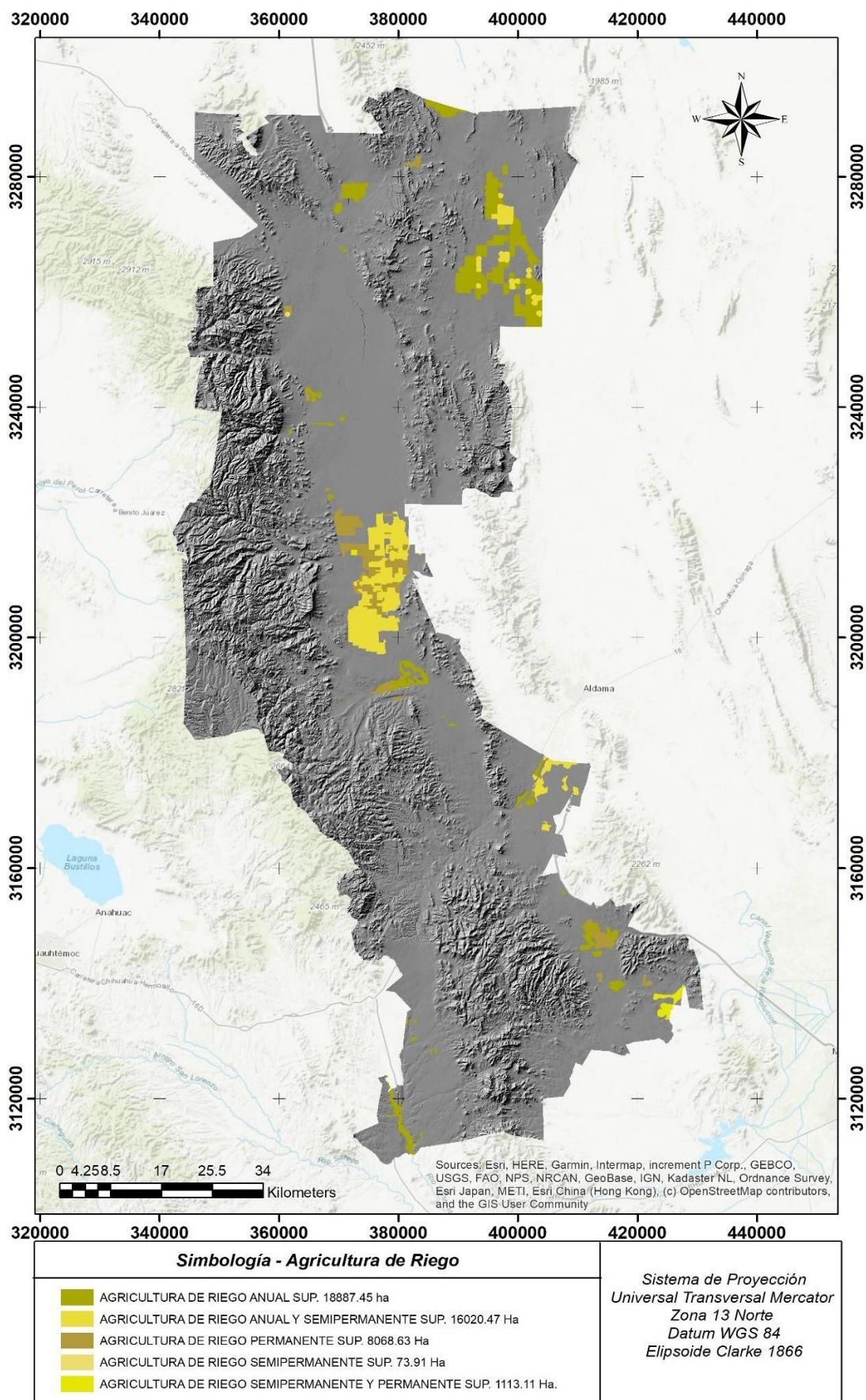
Con la participación de 1,466 Unidades de Producción Agropecuarias (UPA) encuestadas, se ha podido obtener una muestra representativa que refleja las capacidades tecnológicas actuales del sector agrícola en la región. Los resultados permiten identificar tanto las fortalezas como las áreas de oportunidad en cuanto a la dotación de equipos, proporcionando una base sólida para la planificación y toma de decisiones estratégicas. Esta información es crucial para orientar futuras inversiones y políticas que impulsen el desarrollo agrícola sostenible en el municipio.



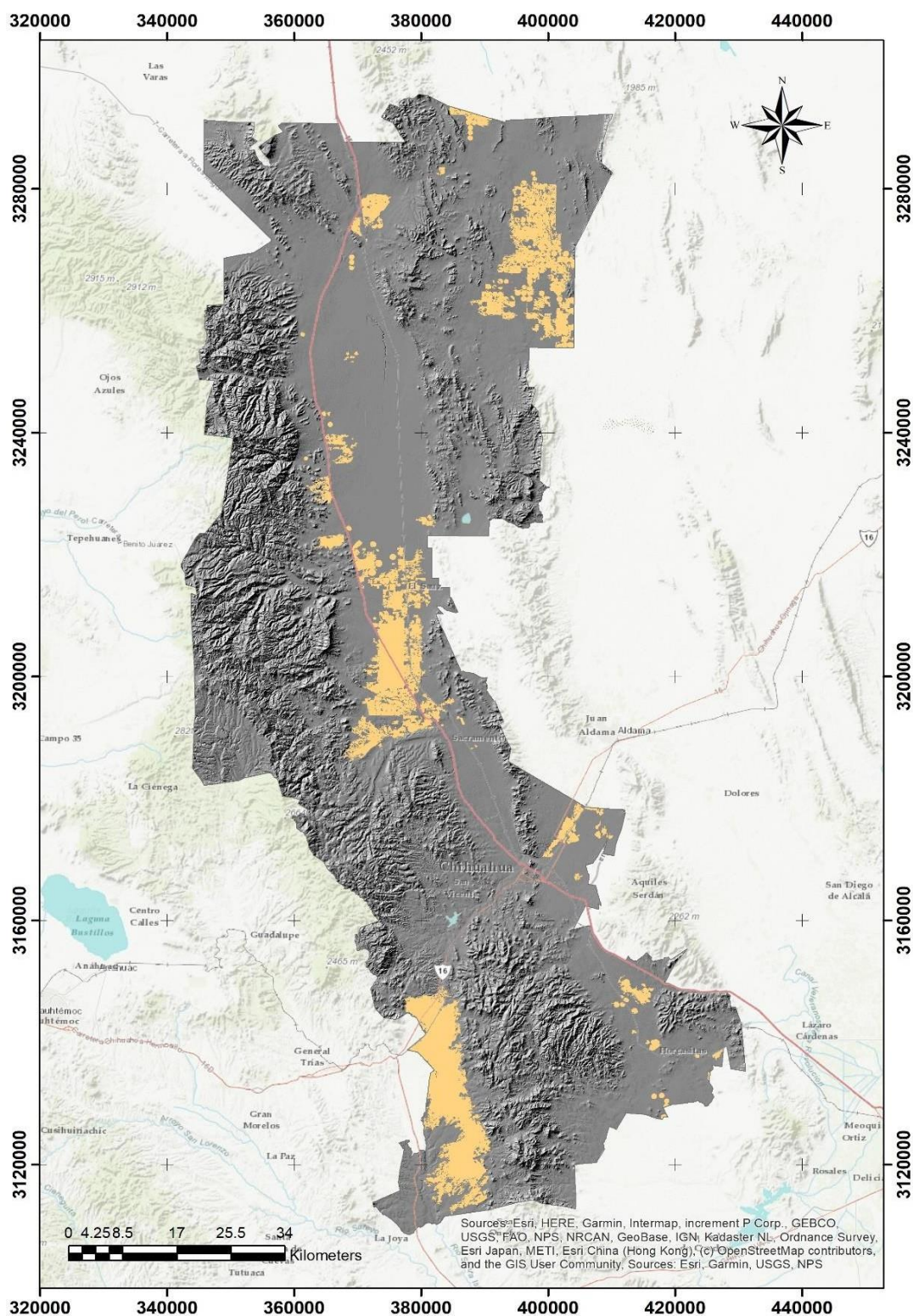
- Chavez, P. S. (1996). Image-based atmospheric corrections-revisited and improved. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 62(9), 1025-1035.
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote sensing of environment*, 37(1), 35-46.
- Healey, S. P., W. B. Cohen, Y. Zhiqiang y O. N. Krankina. 2005. Comparison of TasseledCap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection. *Remote Sens. Environ.* 97:301-310.
- Jenks G. F. (1967). The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7, 186–190.
- Kauth, R. J., & Thomas, G. S. (1976, January). The tasselled cap--a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. In *LARS symposia* (p. 159).
- Lillesand, T., R. W. Kiefer y J. Chipman. 2015. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 7a ed. John Wiley & Sons, Inc. E.U.A.
- Mcgarigal, K.; Marks, B. J. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland: Gen. Tech. Rep. PNW_GTR_ PNW-GTR-351, OR: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 122 p.



ANEXO

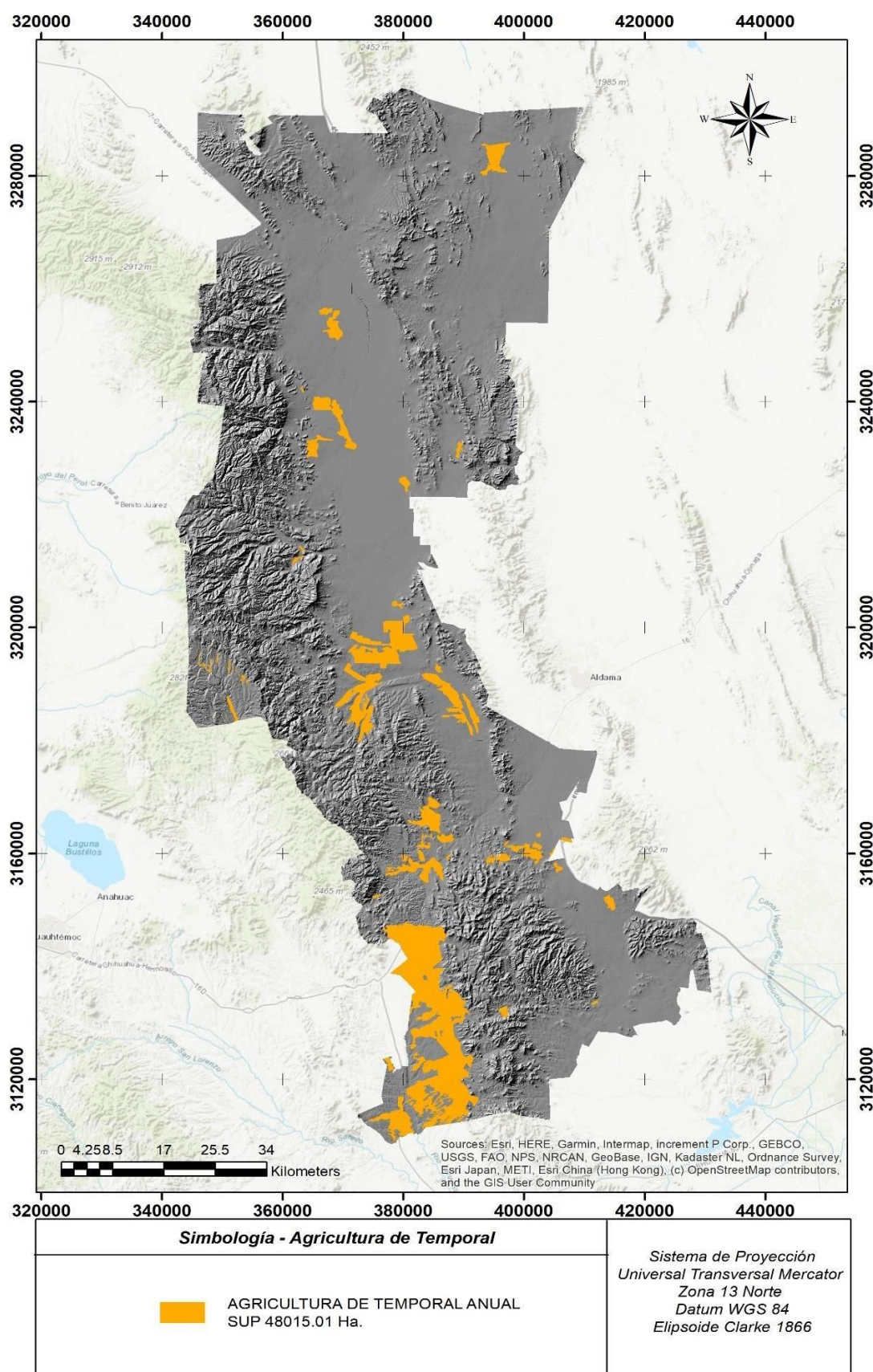


Mapa de Áreas Agrícolas del municipio de Chihuahua.



Simbología - Areas Agrícolas		Sistema de Proyección Universal Transversal Mercator Zona 13 Norte Datum WGS 84 Elipsoide Clarke 1866
	Area agrícolas del Municipio de Chihuahua Superficie 65086.80 ha	

Mapa de Agricultura de Riego del municipio de Chihuahua.



Mapa de Agricultura de Temporal del municipio de Chihuahua