UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA

INSTITUTO DE PLANEACIÓN INTEGRAL DEL MUNICIPIO DE CHIHUAHUA

PROYECTO

ESTUDIO PARA LA CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO AMBIENTAL-MORFOLÓGICO DE LA MESA DE LOS CABALLOS: CERRO DEL CABALLO, CHIHUAHUA, CHIH.

Responsable Técnico del Proyecto

D. Ph. Jesús Alejandro Prieto Amparán
Universidad Autónoma de Chihuahua
Facultad de Zootecnia y Ecología

octubre, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA

CENTRO DE ANÁLISIS ESPACIAL Y MODELACIÓN DE ECOSISTEMAS

CUERPO ACADÉMICO ECOSISTEMAS PASTORILES Y FORESTALES UACH-CA-160

Mtro. Luis Alfonso Rivera Campos
Rector Universidad Autónoma de Chihuahua

D. Ph. Alfredo Pinedo Alvarez
Director Facultad de Zootecnia y Ecología

D. Ph. Raúl Corrales Lerma
Secretario de Extensión y Difusión

Dr. Martín Martínez Salvador
Coordinación de Vinculación y Desarrollo de Proyectos

D. Ph. Jesús Alejandro Prieto Amparán
Centro de Análisis Espacial y Modelación de Ecosistemas
Responsable Técnico del Proyecto

Contenido

Resumen..... 5
Introducción..... 6
Objetivos..... 8
Objetivo General:..... 8
Objetivos Específicos:..... 8
Justificación..... 9
Metodología y desarrollo..... 11
Delimitación del área de estudio..... 11
Descripción del área de estudio..... 15
- Características Geográficas y Topográficas..... 15
- Pendientes..... 16
- Orientaciones de las Laderas..... 17
- Morfología..... 19
- Hidrografía..... 22
- Parámetro compuesto..... 29
- Aguas subterráneas..... 30
- Clima..... 32
- Geología..... 37
- Edafología..... 38
- Comportamiento espectral de la vegetación..... 40
- Serie histórica de datos NDVI..... 50

Caracterización de la Vegetación..... 52
- Levantamiento de flora y fauna..... 52
- Descripción del tipo de vegetación..... 53

Análisis de la vegetación..... 53
- Clasificación..... 53
- Corrección radiométrica..... 54
- Composición de bandas y análisis preliminar..... 55
- Clasificación supervisada..... 55

Modelo de calidad del hábitat..... 55
Modelo de Calidad Escénica del Paisaje..... 59
Identificación de impactos y jerarquización..... 61

Zonificación Ambiental 63
- Ponderación y combinación 65

Política Ambiental 66
Evaluación de Conflictos entre Zonificación Ambiental Morfológica y Política de Uso de Suelo 68
Resultados 71
Modelo morfológico 71
Comportamiento hidrológico 75
Priorización de microdrenajes a partir del parámetro compuesto (*Pc*) 77
Vegetación 79
Inventario de flora y fauna 81
Calidad del hábitat 85
Calidad escénica 90
Descripción de impactos 94
Zonificación ambiental-morfológica 102
Compatibilidad Territorial 107
Conclusiones 110
Consideraciones 112
Recomendaciones 114
Glosario 117
Literatura 118

Resumen

El proyecto se desarrolló como una iniciativa técnica y científica orientada a evaluar el estado actual y potencial de una zona cerril de alto valor ecológico, funcional y paisajístico, situada al noroeste del municipio de Chihuahua, México. El objetivo fue generar una base para la planificación territorial sustentable mediante la integración de análisis geoespaciales, modelos ecológicos y morfológicos, combinando trabajo de campo, percepción remota, sistemas de información geográfica (SIG) y evaluación multicriterio. La metodología incluyó el análisis morfométrico e hidrológico de microcuencas, modelado del relieve con un modelo digital de elevaciones (MDE) de alta resolución, clasificación de cobertura y uso del suelo con imágenes Landsat (2013–2024), y la estimación de calidad del hábitat y visibilidad escénica mediante el modelo InVEST. Se generaron índices compuestos como la “importancia del hábitat”, así como una zonificación ambiental-morfológica jerárquica (clases 1 a 5) derivada de un modelo de evaluación multicriterio ponderado por el método del Proceso Analítico Jerárquico o Analytic Hierarchy Process (AHP) de Tomas Saaty. Los resultados permitieron identificar unidades funcionales del paisaje, zonas ecológicas prioritarias para conservación, laderas de restauración y sectores bajo presión urbana. Asimismo, se integró esta zonificación con la política de uso del suelo del Plan de Desarrollo Urbano (PDU) de la Ciudad de Chihuahua visión 2040 Séptima Actualización, generando una matriz de condicionantes espaciales que clasifica la compatibilidad territorial en siete niveles: desde áreas aceptables hasta zonas de conflicto o riesgo. La evaluación de impactos en campo reveló amenazas como incendios, caminos no planificados, contaminación, vehículos abandonados y tala ilegal. Este estudio representa un insumo técnico clave para el Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua (IMPLAN) y otras autoridades, al aportar una metodología replicable para el análisis de zonas periurbanas en contextos semiáridos. Propone directrices concretas para la protección de servicios ecosistémicos, el ordenamiento ecológico del territorio y la mitigación de presiones antrópicas, equilibrando la conservación del capital natural con las dinámicas de expansión urbana.

Palabras clave: Zonificación funcional, servicios ecosistémicos, evaluación multicriterio, fragmentación del hábitat, planeación territorial.

Introducción

La Mesa de Los Caballos (MLC), también conocida como "Cerro del Caballo", es una zona cerril compuesta por lomeríos que presenta un alto valor ambiental, ecológico y paisajístico, además de estar sujeta a una dinámica de transformación del territorio influida por actividades como la apertura de caminos, cambios de uso de suelo, extracción de materiales y ocurrencia de incendios, factores que inciden en la estructura del paisaje y su conservación. La MLC está ubicada en la parte oeste de las proximidades de la ciudad de Chihuahua, municipio de Chihuahua, México y forma parte de un sistema de lomeríos con características geológicas, morfológicas e hidrológicas particulares. Dada su relevancia, surge la necesidad de realizar un estudio de caracterización y diagnóstico ambiental-morfológico para conocer su condición actual.

El paisaje cumple un papel vital en la provisión de recursos naturales, hábitat para especies de flora y fauna, beneficios económicos, y espacios abiertos que fomentan el bienestar de la población en general. Sin embargo, este paisaje, así como muchos otros a nivel mundial, se encuentran en constante transformación debido a la interacción entre procesos naturales y actividades humanas, lo que puede derivar en la degradación ambiental y la pérdida del carácter del paisaje (Biro *et al*., 2024).

En este sentido, el concepto de morfología cobra relevancia, ya que permite evaluar la variedad de formas del relieve y procesos morfológicos de un paisaje, proporcionando información para el manejo del territorio. La caracterización morfológica a partir del análisis de variables topográficas como pendiente, elevación y posición de la pendiente, entre otros, permite entender mejor la heterogeneidad del paisaje y su propensión a cambios ambientales. La integración de estos elementos en los estudios de zonificación favorece la planificación basada en la capacidad de carga del ecosistema, evitando impactos negativos como la erosión del suelo, fragmentación del hábitat y la pérdida de biodiversidad (Solon *et al*., 2012; Tonetti *et al*., 2023).

El enfoque de zonificación ambiental basada en unidades del paisaje o unidades ambientales es ampliamente reconocido para la gestión de los recursos naturales y la ordenación territorial. La delimitación de áreas homogéneas en términos de cobertura vegetal, uso del suelo, morfología e hidrología facilita la identificación de zonas prioritarias para la conservación, restauración y uso sustentable del territorio. Además, permite

establecer restricciones específicas para ciertas actividades, promoviendo el equilibrio entre desarrollo y protección ambiental (Salanie y Coisnon, 2016; Vargas-Hernández, 2021).

Las unidades ambientales, por otro lado, se definen como áreas con características físicas y geográficas relativamente uniformes, cuya delimitación ayuda a identificar la dinámica ecológica y social que influye en el paisaje. Su estudio detallado es importante para la toma de decisiones en temas de manejo del agua, mitigación del cambio climático y prevención de riesgos naturales. En el caso de la MLC, la zonificación integrará investigación científica y datos de normativa (en este caso información del PDU vigente) para evaluar la complejidad de la zona, además de considerar factores como la morfología, la vegetación y los impactos antropogénicos en la zona (Aycrigg *et al*., 2022).

El presente proyecto no solo responde a la necesidad de generar conocimiento sobre la estructura y función del paisaje de la MLC, sino que también busca aportar información para la toma de decisiones en materia de ordenamiento territorial, conservación y manejo de recursos naturales. La integración de metodologías, como la clasificación de formas del terreno o la modelación de calidad del hábitat, permitiría evaluar la diversidad morfológica del área y su relación con la biodiversidad.

El presente estudio contribuirá a fortalecer el conocimiento sobre la MLC, proporcionando información importante para la planificación y gestión del territorio. Mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), modelado de calidad del hábitat y análisis de impactos ambientales, se podrá desarrollar una propuesta de zonificación que favorezca la conservación de los recursos naturales, el mantenimiento de los servicios ecosistémicos y el desarrollo de actividades humanas en armonía con el medio ambiente.

La combinación de análisis morfológico, evaluación de la vegetación y modelado espacial permitirá no solo comprender mejor la estructura del paisaje, sino también anticipar potenciales cambios. De esta forma, este estudio busca generar una base para la toma de decisiones en materia de ordenamiento ecológico y territorial, para su posterior aplicación en otras áreas, promoviendo un uso racional y sustentable del área de estudio.

Objetivos

Objetivo General:

Analizar el estado actual de las condiciones de vegetación, climáticas, morfológicas y ambientales de la Mesa de Los Caballos (MLC), mediante el uso de herramientas de análisis espacial, índices espectrales, modelado de hábitat y zonificación, para delimitar unidades ambientales, evaluar su fragilidad y susceptibilidad a impactos antropogénicos y ambientales.

Objetivos Específicos:

- Describir las características morfológicas obtenidas mediante análisis espacial a partir de un Modelo Digital de Elevación de INEGI para generar mapas de pendientes, curvas de nivel, rugosidad del terreno.
- Evaluar las condiciones de la vegetación, mediante índices espectrales de vegetación utilizando imágenes satelitales de observación de la tierra Landsat OLI-8/9 y satélites meteorológicos, así como recorridos de campo.
- Evaluar la calidad del hábitat y la calidad escénica.
- Delinear y describir las unidades ambientales presentes en la MLC, considerando variables físico-ambientales como la topografía, hidrología, la cobertura vegetal
- Describir el comportamiento climático de la temperatura y precipitación.
- Delimitar la zonificación del área, la cual permita la administración y planificación, facilitando la conservación de áreas críticas y el uso racional del territorio.
- Analizar y establecer un índice de impactos antropogénicos.

Justificación

La Mesa de los Caballos (MLC), o "Cerro del Caballo", es una zona cerril compuesta por lomeríos, mesetas. Su conservación resulta clave para mantener los servicios ecosistémicos que provee, como la regulación hídrica, la captura de carbono y la prevención de procesos de erosión, particularmente en un entorno donde la desertificación y la variabilidad climática están vez más pronunciadas. Este proyecto cobra especial relevancia al integrar un enfoque de planificación territorial y gestión ambiental, facilitando la delimitación de unidades ambientales que orienten el uso y manejo del suelo, contribuyendo a la sostenibilidad y al desarrollo armónico de la región.

El diagnóstico y la caracterización ambiental-morfológico de la zona son esenciales para establecer estrategias que permitan la adaptación y mitigación ante los efectos del cambio climático, como el aumento en la frecuencia de eventos extremos y la degradación del suelo, problemas que se agravan en áreas con pendientes y lomeríos susceptibles a la erosión. De esta manera, el proyecto no solo aborda necesidades locales, sino que también contribuye a objetivos globales de sostenibilidad y resiliencia ambiental.

A diferencia de otros tipos de estudios cuyo objetivo es demostrar la viabilidad de la conversión del uso del suelo forestal a otro uso productivo mediante el cumplimiento de criterios normativos que eviten la pérdida de biodiversidad, erosión del suelo y afectación de la calidad del agua, el presente estudio se centra en la caracterización y diagnóstico ambiental-morfológico de la MLC, con un enfoque más detallado en la evaluación de la morfología del paisaje, índices espectrales de vegetación, calidad del hábitat y zonificación ambiental. Mientras que otros trabajos están orientados a justificar una intervención en terrenos forestales con un cambio de uso propuesto, este estudio busca comprender las dinámicas ambientales y ecológicas del área, identificando unidades ambientales y estableciendo un modelo de zonificación basado en criterios de conservación, uso sustentable y calidad escénica.

Asimismo, resulta indispensable considerar los impactos antropogénicos que actualmente afectan y que en el futuro podrían intensificarse en la Mesa de los Caballos. Entre ellos destacan la expansión urbana, la apertura de vialidades o avenidas, los cambios de uso de suelo, la extracción de materiales y la recurrencia de incendios. Estas

presiones generan procesos de fragmentación del hábitat, pérdida de cobertura vegetal y aumento en la vulnerabilidad a la erosión y a la degradación del paisaje. La fragilidad del ecosistema frente a estas actividades resalta la necesidad de contar con un diagnóstico ambiental–morfológico integral, que permita establecer medidas de conservación y estrategias de manejo sustentable que garanticen la estabilidad y la resiliencia de la zona en el largo plazo.

Metodología y desarrollo

Delimitación del área de estudio

Una “mesa” es una formación geográfica o unidad morfológica caracterizada por un relieve elevado con cima relativamente plana o ligeramente ondulada y bordes escarpados. Su origen se asocia a procesos de erosión diferencial, comunes en regiones con rocas sedimentarias dispuestas en capas horizontales. En este proceso, los estratos superiores, compuestos por materiales más resistentes como areniscas o basaltos, actúan como capa protectora frente a la erosión, mientras que las capas inferiores más blandas, como lutitas o arcillas, se desgastan con mayor rapidez. Esta dinámica erosiva da lugar a un relieve distintivo donde la cima se mantiene estable y los flancos presentan pendientes abruptas (Bull, 1992; Hawley, 2005; Migon *et al*., 2018; Warszawski *et al*., 2019; Huggett *et al*., 2022).

La delimitación geoespacial del área de influencia de la Mesa de Los Caballos (MLC), una zona de gran importancia ambiental y paisajística ubicada al oeste de la ciudad de Chihuahua, se llevó a cabo mediante un enfoque semiautomatizado utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y trabajo manual computacional. Este enfoque integra múltiples insumos y análisis derivados de un Modelo Digital de Elevación (MDE) de alta resolución a 5 metros por píxel, lo que permitió capturar las características topográficas y morfológicas de la zona (INEGI, 2025).

Para la elaboración del modelo de zonificación ambiental–morfológica se integraron insumos técnicos diversos, entre ellos cartografía oficial, modelos digitales de elevación, índices espectrales de vegetación, y análisis de calidad e importancia del hábitat, así como evaluaciones de calidad visual del paisaje. Estos elementos se articularon mediante un enfoque de evaluación multicriterio en sistemas de información geográfica, lo que permitió establecer zonas diferenciadas de conservación, uso sustentable y aprovechamiento escénico.

La elección de este enfoque metodológico responde a la necesidad de contar con un instrumento integral, replicable y orientado a la toma de decisiones. A diferencia de estudios normativos como las Manifestaciones de Impacto Ambiental o los Cambios

de Uso de Suelo en Terrenos Forestales, cuyo fin es justificar intervenciones específicas, el presente modelo busca comprender las dinámicas ambientales y ecológicas del área para ofrecer un insumo técnico complementario que oriente la planificación territorial, identifique áreas con distintos grados de aptitud para el desarrollo y conservación.

1. Preparación de Insumos y Datos

Modelo Digital de Elevación (MDE). El MDE de alta resolución es la base del trabajo. Este modelo tridimensional del terreno proporcionó información sobre la elevación y las variaciones topográficas, facilitando la identificación de características geográficas como cimas, laderas, valles y pendientes pronunciadas. Este nivel de detalle ayudó en la delineación de los límites naturales del área propuesta de interés.

Carta Topográfica. Se incorporó una carta topográfica con escala 1:20,000, que proporcionó un contexto cartográfico del área, además de brindar los principales topónimos de la zona. Esta carta incluye elementos como curvas de nivel, cuerpos de agua, caminos, localidades y otros, los cuales complementan el análisis derivado del MDE (INEGI, 2025a).

2. Análisis Geoespacial Morfológico

Para delimitar el área de influencia de la Mesa de Los Caballos, se implementaron los siguientes procedimientos:

Clasificación del MDE en Quiebres Naturales (Jenks):

A partir del MDE, se aplica una clasificación para identificar quiebres naturales en el terreno, ampliamente utilizada (Rabby *et al*., 2020; Gui *et al*., 2022). Estos quiebres corresponden a cambios abruptos en la elevación que definen los límites de la zona de estudio (Tarolli, 2019; Wilson *et al.,* 2000). Se realizaron varias pruebas visuales hasta obtener la delimitación más apropiada.

Modelo de Sombra

Se generó un modelo de sombra (*hillshade*) a partir del MDE. Este modelo utiliza una simulación de iluminación solar para resaltar las características tridimensionales del terreno, permitiendo identificar visualmente relieves, depresiones y otras estructuras morfológicas. Este insumo facilitó la interpretación de la topografía al combinarlo con otros insumos derivados del MDE (Hengl y Reuter, 2008).

Modelo de Pendiente

A partir del MDE, se calculó un modelo de pendiente con la función *slope* que mide la inclinación del terreno en grados o porcentaje. Este análisis determino áreas con pendientes pronunciadas que pueden ser indicadores de zonas en términos de erosión, susceptibilidad a deslizamientos o relevancia ambiental para la delimitación.

Modelo de Orientación/Exposición de la Ladera.

El modelo de orientación, generado a partir de la función *aspect*, identificó la dirección en la que las laderas del terreno están orientadas, especificando si se inclinan hacia el norte, sur, este u oeste. Este insumo es relevante para el análisis de patrones microclimáticos, exposición solar y su influencia en la vegetación y otros elementos naturales de la MLC (Braun, 2015).

Modelo de Morfología.

Este procedimiento permitió la identificación y clasificación de formas del terreno (*landforms*), el cual fue calculado a partir del Índice de Posición Topográfica (TPI, por sus siglas en inglés), permitiendo generar un archivo tipo raster/grid categórico de unidades morfológicas. La herramienta TPI Based Landform Classification fue implementada en el software libre SAGA GIS, y permite clasificar el relieve comparando la altitud de cada celda del MDE con el valor medio de sus celdas vecinas.

Cartografía catastral

Además, de algunos elementos morfológicos, para la delimitación del área de estudio, se integró información de predios catastrales de interés del IMPLAN, para mantener la compatibilidad de planeación con los fines de desarrollo del instituto.

3. Proceso de Digitalización

Integración de Datos

Una vez obtenidos y analizados los seis insumos enlistados anteriormente, se realizó una superposición de estos elementos (*intersect*) lo que permitió visualizar la dinámica geográfica en conjunto, identificando los limites homogéneos que representan las características del área de influencia de la Mesa de los Caballos.

Delimitación Semiautomatizada

Con base en la superposición anterior y los quiebres naturales identificados del

MDE, se realizó la delimitación semiautomatizada del área de estudio. Esto implica el uso de herramientas de clasificación en conjunto con digitalización en un SIG, que permitió generar polígonos que definen los límites de la MLC, considerando criterios morfológicos, topográficos e hidrológicos.

Digitalización Manual

Para garantizar el detalle del proceso, se llevó a cabo una etapa final de digitalización manual. En esta fase, se revisaron y ajustar los límites generados semiautomáticamente, verificándolos con la carta topográfica a escala 1:20,000. Este paso aseguró que se incluyan detalles importantes que podrían haber sido omitidos en el análisis semiautomatizado. La propuesta del área de estudio se muestra en la Figura 1.

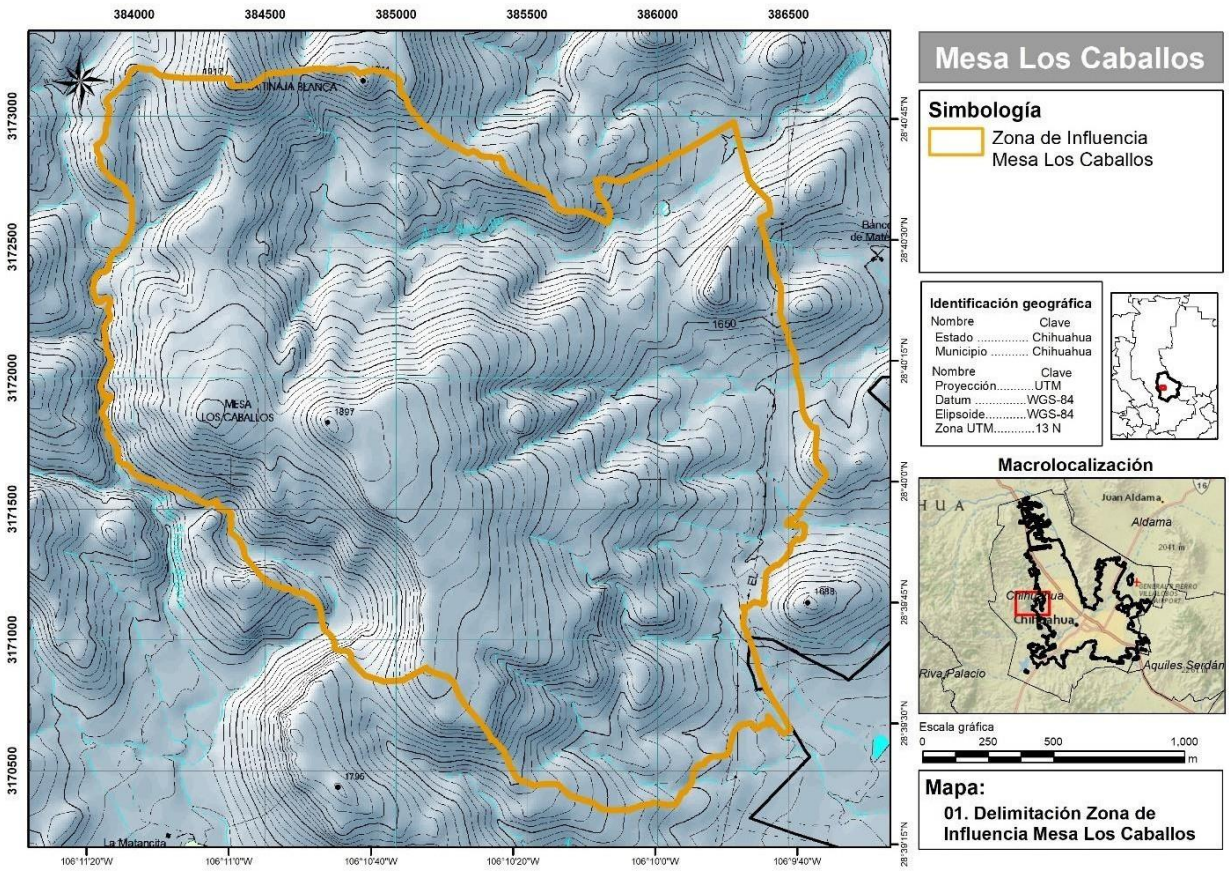


Figura 1. Área de estudio.

Las coordenadas del área de estudio se encuentran en el Anexo 1.

Descripción del área de estudio

El área de estudio delimitada para el proyecto tiene una extensión de 536.42 ha, con un perímetro de 11.30 km, siendo una región compuesta por un paisaje semiárido característico del municipio de Chihuahua, Chihuahua (Figura 2). Sus límites geográficos se encuentran definidos por las siguientes coordenadas extremas: 383643.519 N, 3173271.90 O al noroeste, y 386715.71 N, 3170332.93 O al sureste.

Estos puntos establecen dos esquinas extremas de la MLC (INEGI, 2025a). El punto más alto, corresponde a una elevación de 1918 m (Figura 1). En particular, el sitio marcado en la Figura 1 como La Mesa de Los Caballos, se encuentra en la cota altimétrica de 1750 m.

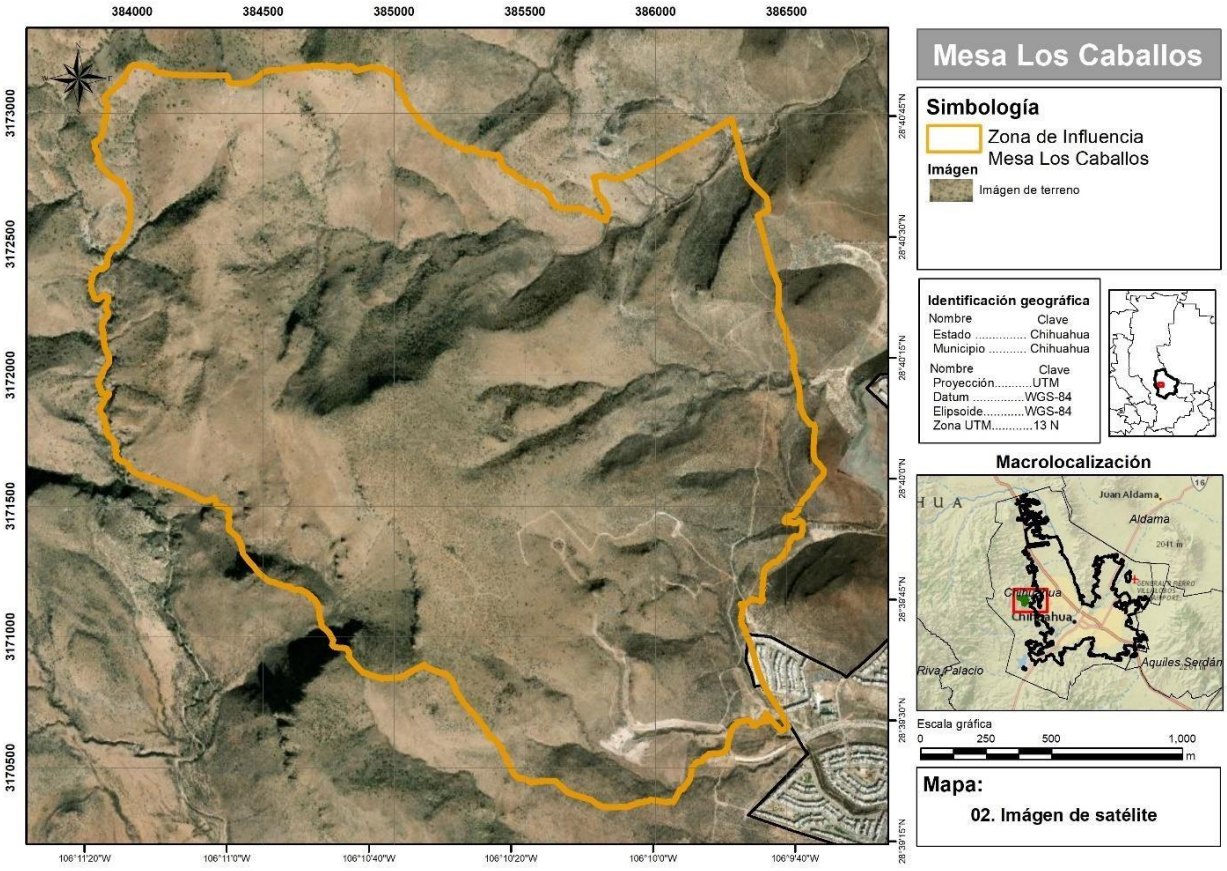


Figura 2. Imagen satelital del área de estudio.

- **Características Geográficas y Topográficas**

El área de influencia de la Mesa de Los Caballos presenta un relieve variado, con elevaciones que oscilan entre los 1569 metros sobre el nivel del mar (msnm) en su punto

más bajo, hasta los 1918 msnm en su punto más alto, resultando en una diferencia altitudinal de 349 metros (Figura 3). Este gradiente topográfico indica una geografía dinámica, con características que combinan pendientes suaves y pronunciadas.

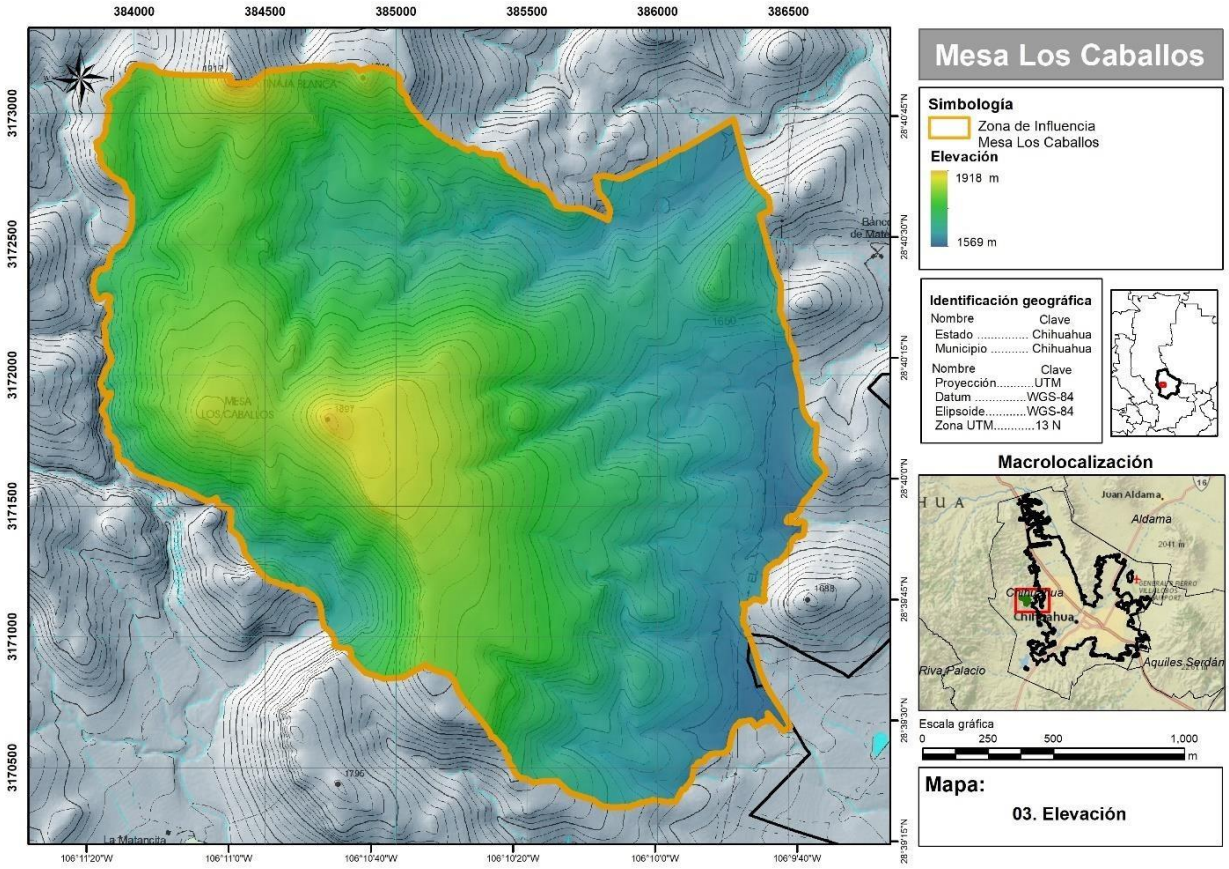


Figura 3. Elevaciones de la MLC.

- **Pendientes**

Las pendientes en la MLC varían desde los 0° de inclinación, donde predominan los terrenos más planos, hasta pendientes máximas de 68.12° en la parte oriental, donde el relieve es más abrupto e inclinado (Figura 4). Esta variación topográfica no solo influye en la dinámica hídrica y el escurrimiento superficial, sino también en la distribución de la vegetación y las características del suelo. Cabe destacar que pendientes tan pronunciadas, particularmente aquellas superiores a 55°, pueden representar zonas de alta susceptibilidad a procesos de erosión e inestabilidad del terreno, lo cual incrementa los riesgos ambientales y de degradación asociada (Renard *et al*., 1997; Montgomery, 2007).

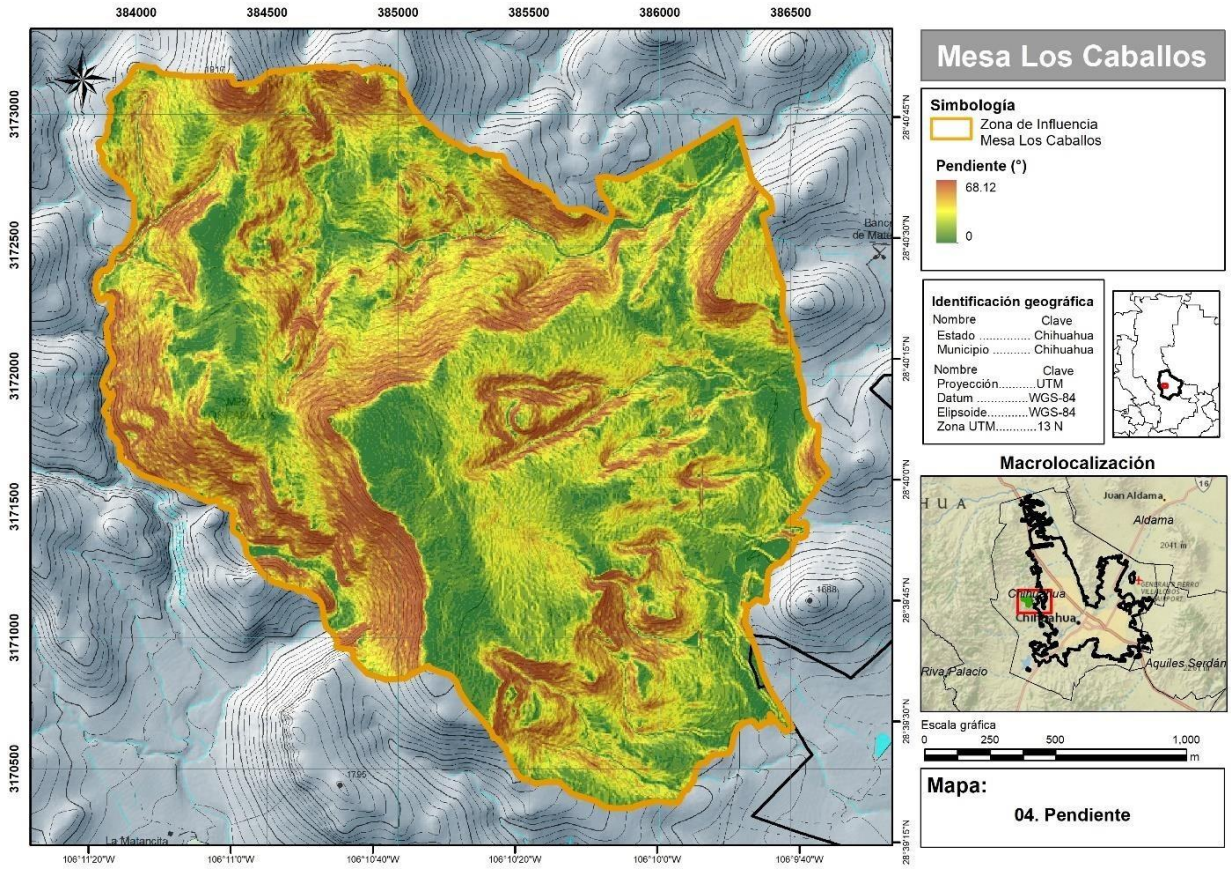


Figura 4. Pendiente del terreno de la MLC.

- **Orientaciones de las Laderas**

La orientación predominante de la ladera de la MLC está dirigida hacia el Este y Sureste (Figura 5 y 6), lo que tiene implicaciones importantes para la incidencia solar, la distribución de la humedad y los patrones microclimáticos. Las exposiciones u orientaciones hacia el sureste son las más frecuentes, lo que favorece una mayor radiación solar matutina y una regulación térmica específica, características clave para la vegetación adaptada al clima semiárido de la región.

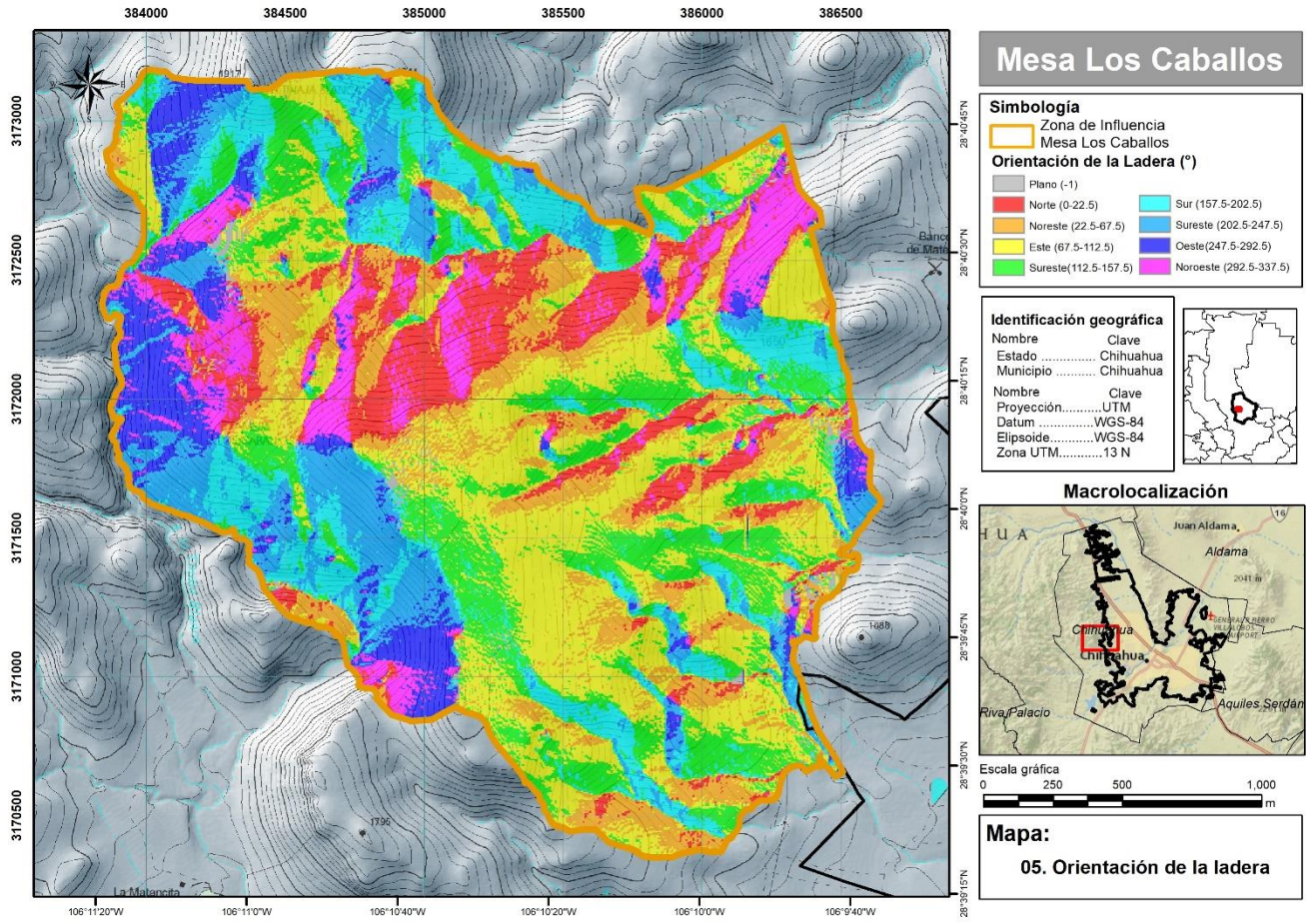


Figura 5. Orientación de la ladera de la MLC.

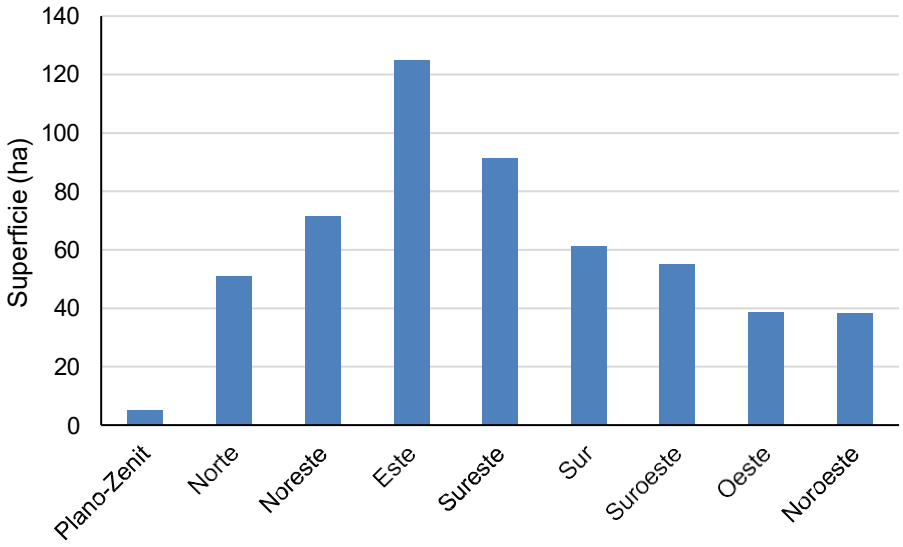


Figura 6. Superficies en hectáreas por orientación de la ladera.

- **Morfología**

Para la clasificación de formas del terreno (landforms) en la zona de estudio, se utilizó el software de código abierto SAGA GIS, empleando la herramienta TPI Based Landforms Classification, una métrica que permite identificar unidades morfológicas mediante la comparación de la elevación de cada celda (pixel) con la elevación promedio de su entorno. El Índice de Posición Topográfica (TPI) se calculó siguiendo el método propuesto por Guisan et al. (1999), el cual es equivalente al análisis de residuos de Wilson y Gallant (2000). Este índice mide la diferencia entre la elevación de un punto y la media de las elevaciones circundantes dentro de un radio determinado. Dependiendo del valor obtenido, el TPI permite clasificar el relieve en distintas categorías de formas del terreno, como cimas, laderas convexas, valles, laderas cóncavas y planicies.

A partir de este análisis, se delimitaron distintas unidades morfológicas, proporcionando una representación de la estructura topográfica del área de estudio. Dentro del contexto de la taxonomía de la morfología del paisaje, las unidades morfológicas delimitadas en este estudio corresponden a unidades inferiores, es decir, unidades más detalladas, que permiten describir y analizar la estructura del relieve en una escala mayor. Estas formas del terreno se encuentran dentro de niveles jerárquicos más amplios, como macroformas o mesoformas (unidades superiores), y que proporcionan información esencial para comprender la dinámica del paisaje, los procesos morfológicos y su interacción con factores ambientales.

La clasificación identificó 10 tipos de formas del terreno inferiores (Figura 7 y 8), de las cuales, las que cuentan con mayor superficie son:

- Laderas abiertas: Las laderas abiertas son formas del terreno caracterizadas por superficies inclinadas, relativamente amplias y sin obstáculos mayores como rocas expuestas, afloramientos o vegetación densa que impida la escorrentía o la visibilidad. las laderas abiertas desempeñan un papel importante en los procesos de escurrimiento superficial, movimiento de sedimentos y recarga hídrica, ya que permiten una conectividad hidrológica efectiva entre las partes altas y bajas del relieve.
- Laderas superiores, mesetas: Corresponden a unidades del paisaje ubicadas en la parte alta del relieve, justo por debajo de crestas o cimas montañosas. Suelen

presentar una mayor exposición al viento y a la radiación solar, y pueden actuar como zonas de origen de procesos erosivos o de escurrimiento superficial hacia zonas más bajas.

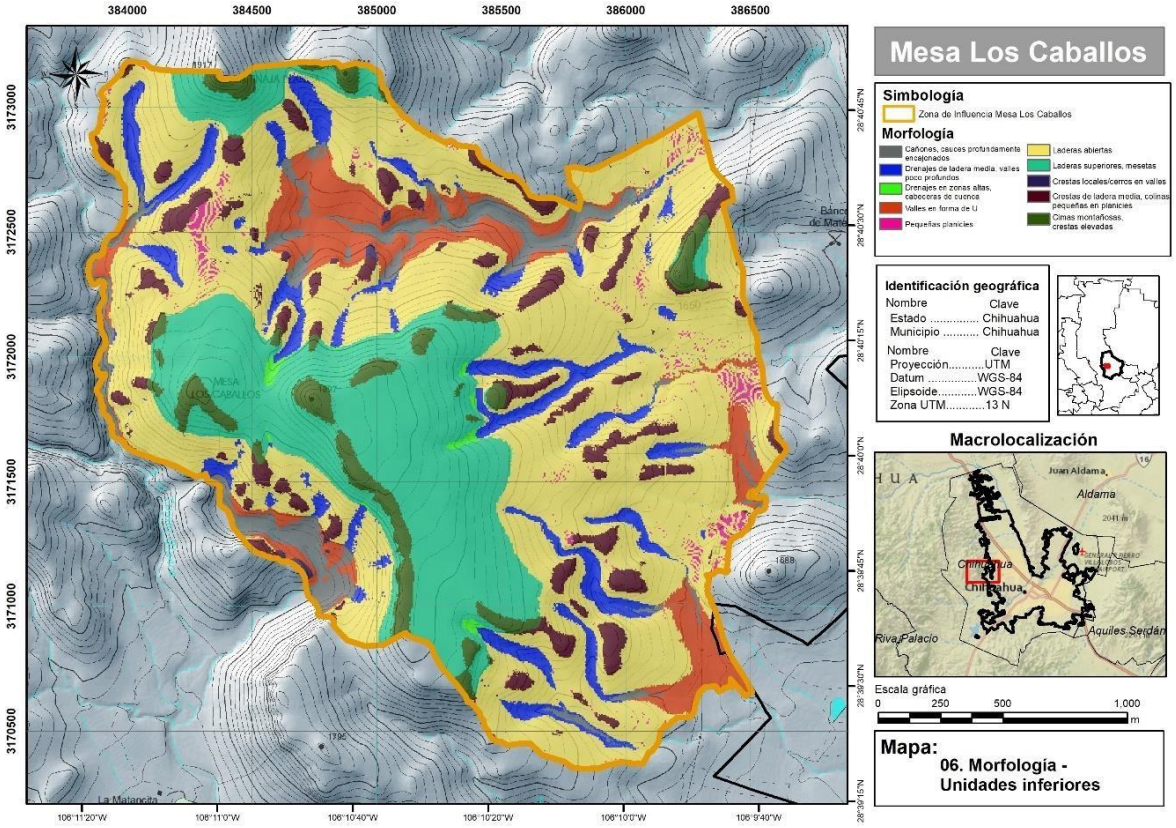


Figura 7. Unidades morfológicas del paisaje.

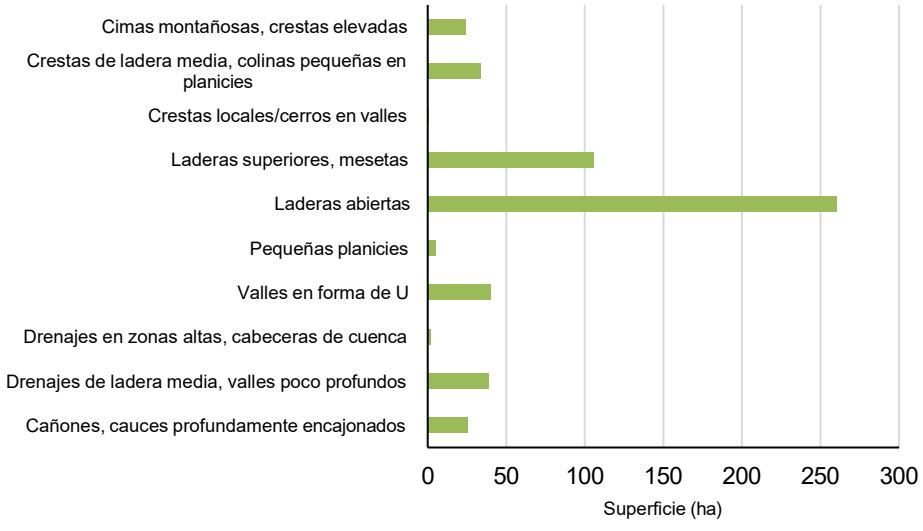


Figura 8. Superficies en hectáreas de las unidades morfológicas.

A partir de las variables anteriores, se procedió a su reclasificación e integración mediante operaciones de intersección para generar unidades morfológicas, el cual permite identificar unidades del paisaje con base en combinaciones representativas de condiciones topográficas. Esta integración consideró factores como la altitud relativa, el grado de inclinación, la orientación cardinal del terreno y las formas del relieve (como laderas, crestas), generando un producto que resume la complejidad morfofísicas del área en una sola capa temática.

Para la caracterización del paisaje físico del área de estudio, y generación de índice geomorfológico, se desarrolló un modelo de unidades morfofísicas mediante la combinación progresiva de cuatro variables clave: formas del terreno (landforms), pendiente, exposición (orientación) y elevación. Cada una de estas variables fue previamente clasificada en categorías discretas relevantes desde el punto de vista morfodinámico y ecológico.

El proceso metodológico inició con la intersección espacial de las capas de formas del terreno y pendiente, generando una primera capa combinada (Landform+Pendiente). Posteriormente, esta capa fue intersectada con la capa de exposición solar, lo que permitió identificar diferencias en condiciones de insolación que influyen en los procesos edáficos y ecológicos. Finalmente, la capa resultante fue intersectada con la capa de elevación, categorizada en intervalos altitudinales que modulan la temperatura, la humedad y la vegetación potencial.

Esta metodológica obedeció a la necesidad de preservar el control topológico, evitar redundancias y garantizar la trazabilidad del proceso. Este enfoque progresivo fue elegido en lugar de una intersección masiva de las cuatro capas en un solo paso, con base en varias consideraciones metodológicas importantes:

- Control de errores y trazabilidad: el procesamiento por etapas permitió verificar que cada combinación intermedia fuese topológicamente válida, evitando la proliferación de polígonos innecesarios o inconsistentes que frecuentemente se generan en cruces múltiples.
- Depuración en cada fase: tras cada intersección, se aplicaron filtros de limpieza como la eliminación de polígonos menores a 0.25 ha por el Área Mínima Cartografiable (AMC), garantizando que las unidades resultantes tuvieran

significado espacial, evitando “ruido” cartográfico.

- Evitar combinaciones redundantes o vacías: una intersección directa de las cuatro variables puede dar lugar a combinaciones sin sentido geográfico (por ejemplo, una clase de altitud baja asignada a una cumbre). El enfoque paso a paso permitió evitar estas inconsistencias, manteniendo la coherencia ecológica y morfológica de las unidades generadas.

Con esta secuencia de intersecciones espaciales, se generó una capa compuesta que representa la totalidad de combinaciones posibles entre las cuatro variables, resultando en unidades morfofísicas únicas. Cada combinación representa una configuración específica del relieve y sus condiciones físicas asociadas.

Para facilitar la lectura e interpretación de las unidades, y con fines de zonificación, se diseñó una lógica de clasificación funcional mediante programación en el módulo Field Calculator de ArcMap utilizando VBScript. En esta etapa se integraron las cuatro variables de forma equitativa, de modo que cada combinación válida fue evaluada y reclasificada según su configuración morfofísica total.

- **Hidrografía**

Dentro de la MLC se encuentra el arroyo El Saucillo, así como también se encuentra rodeada por una red de arroyos que desempeñan un papel importante en el drenaje y la dinámica hídrica del área (INEGI, 2025a). Entre los principales cuerpos de agua se destacan:

Arroyo La Palma: Localizado en la parte central del área de estudio, con varios puntos de origen, continuando su curso hacia el este con dirección a la ciudad de Chihuahua.

Arroyo El Saucillo: Localizado dentro de la MLC, este arroyo recoge escurrimientos de la zona más elevada y contribuye al flujo hídrico de la región.

Arroyo La Tinaja Blanca: Situado al oeste, actúa como un colector de las corrientes generadas por las pendientes suaves de esa área.

Arroyo El Cañoncillo: Ubicado al sur del área de estudio, drena las aguas provenientes de las laderas más inclinadas y abruptas.

Estos escurrimientos son intermitentes, típicos de zonas áridas, y su flujo está estrechamente relacionado con los eventos de precipitación estacional. A pesar de su

carácter efímero, cumplen funciones como la recarga de acuíferos, la mitigación de procesos erosivos y el sostenimiento de microhábitats a lo largo de sus cauces (Figura 9).

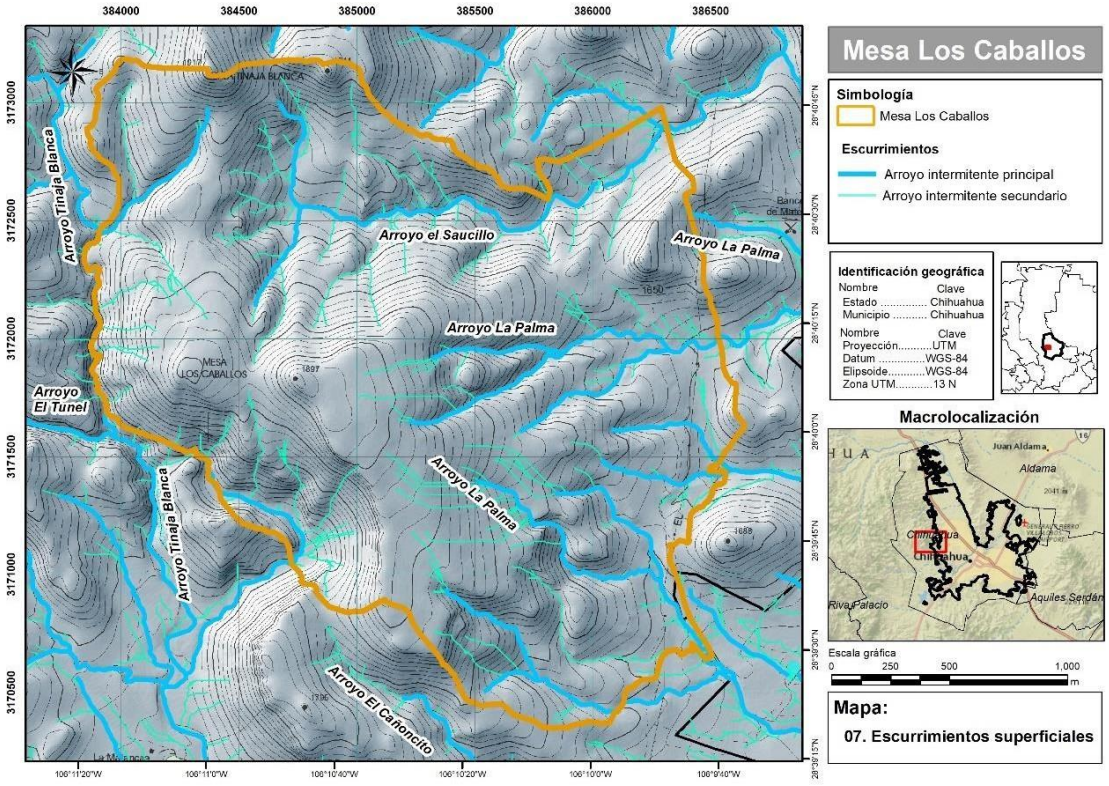


Figura 9. Escurrimientos superficiales principales y secundarios.

A nivel regional, el área de estudio se ubica dentro de la Región Hidrológica Bravo-Conchos (RH24) (SIATL, 2025), una de las principales unidades de drenaje en el norte de México (Figura 10), que forma parte de la cuenca binacional del Río Bravo y que desempeña un papel importante en la disponibilidad y gestión de los recursos hídricos en la región.

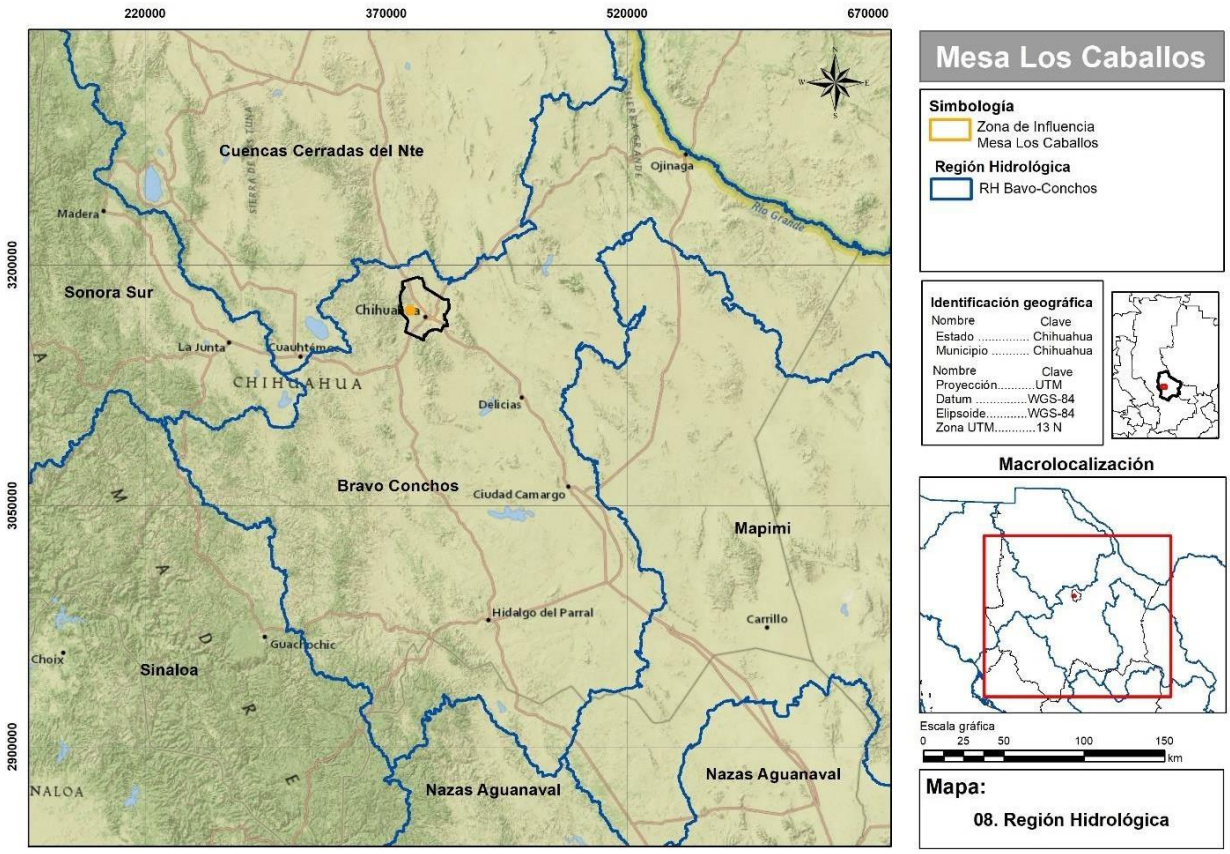


Figura 10. Región Hidrológica Bravo-Conchos.

Dentro de esta región, se encuentra la Cuenca del Río Conchos – Presa El Granero (RH24K), un sistema hidrológico que es de utilidad para el abastecimiento de agua, tanto para usos agrícolas como urbanos, y que forma parte del complejo hidrológico que conecta con el Río Bravo, influyendo en la dinámica hidrológica aguas abajo (Figura 11).

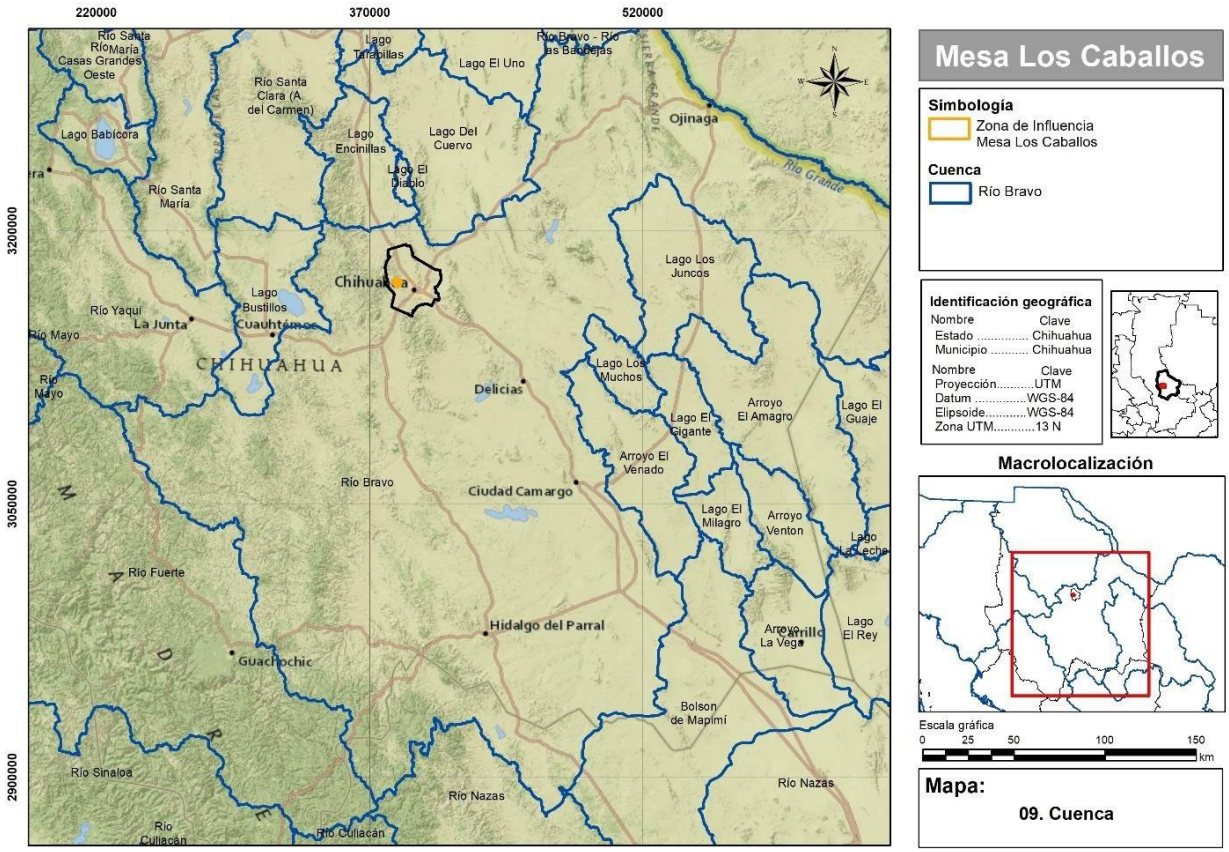


Figura 11. Cuenca Río Bravo.

A nivel de subcuencas, el área de estudio se encuentra intersectada por dos unidades principales: la Subcuenca Sacramento (RH24Kd), que drena hacia el noroeste y que influye en el régimen hidrológico de la ciudad de Chihuahua, y la Subcuenca Río Chuvíscar (RH24Kc), en la cual se encuentra predominantemente (Figura 12). La subcuenca del Río Chuvíscar es de especial interés, ya que es la que capta y distribuye los escurrimientos superficiales que alimentan diversos cuerpos de agua dentro del área urbana y periurbana de Chihuahua, incluyendo la Presa Chihuahua y la Presa Chuvíscar, que han sido históricamente relevantes para la regulación hídrica y el abastecimiento local.

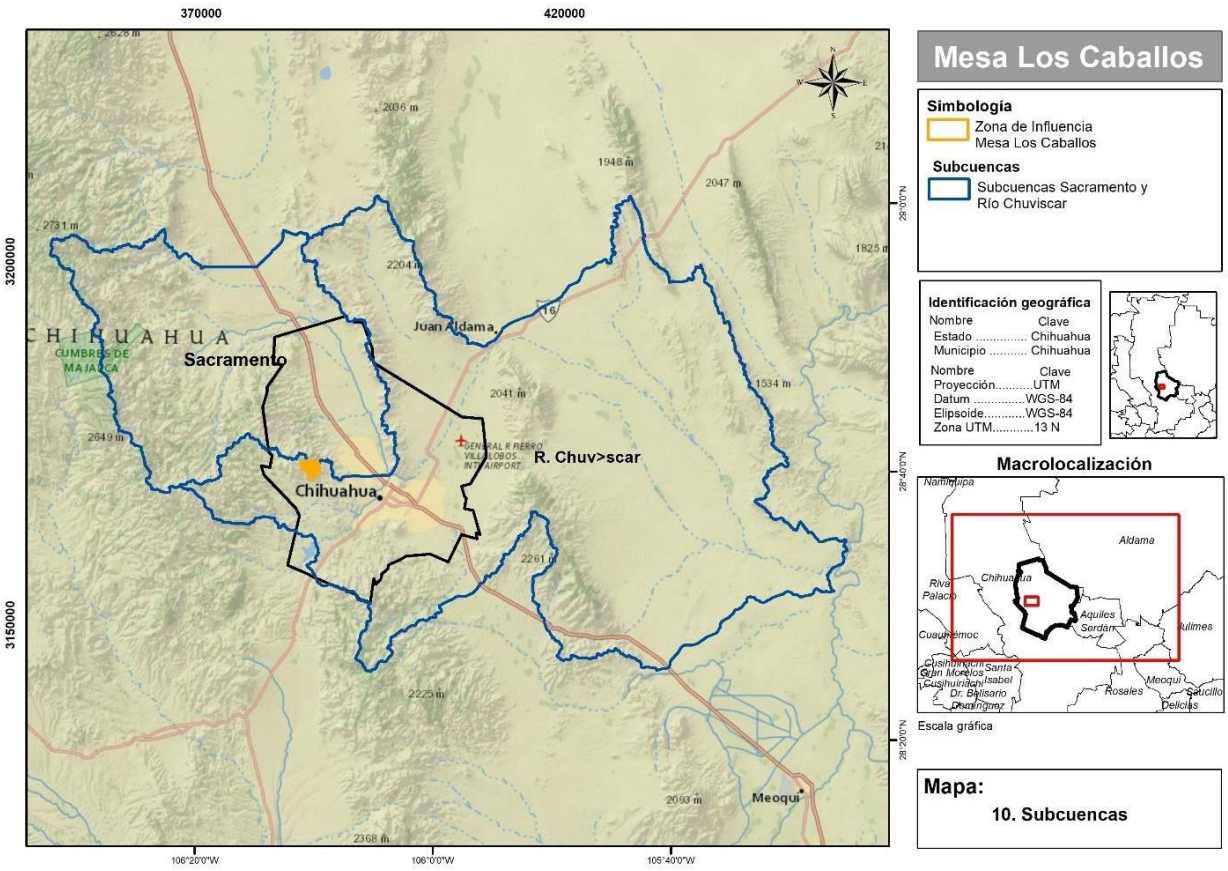


Figura 12. Subcuencas Sacramento y Río Chuvíscar.

En cuanto a la hidrografía de menor escala, el área de estudio intersecta con dos microcuencas (Figura 13). La primera es la Microcuenca Granjas del Valle (24-094-01-022), una unidad de drenaje que forma parte del sistema hidrológico de la Subcuenca Sacramento, donde predominan los escurrimientos intermitentes asociados a eventos de precipitación. Sin embargo, la mayor parte del área de estudio se encuentra dentro de la Microcuenca de Chihuahua (24-094-01-038), la cual constituye un sistema de drenaje más consolidado que capta los escurrimientos provenientes de otras elevaciones cercanas. Esta microcuenca es importante en la regulación del flujo hídrico en la zona, controlando los procesos de infiltración y escurrimiento superficial que afectan directamente tanto a la disponibilidad de agua como a los riesgos de erosión y sedimentación.

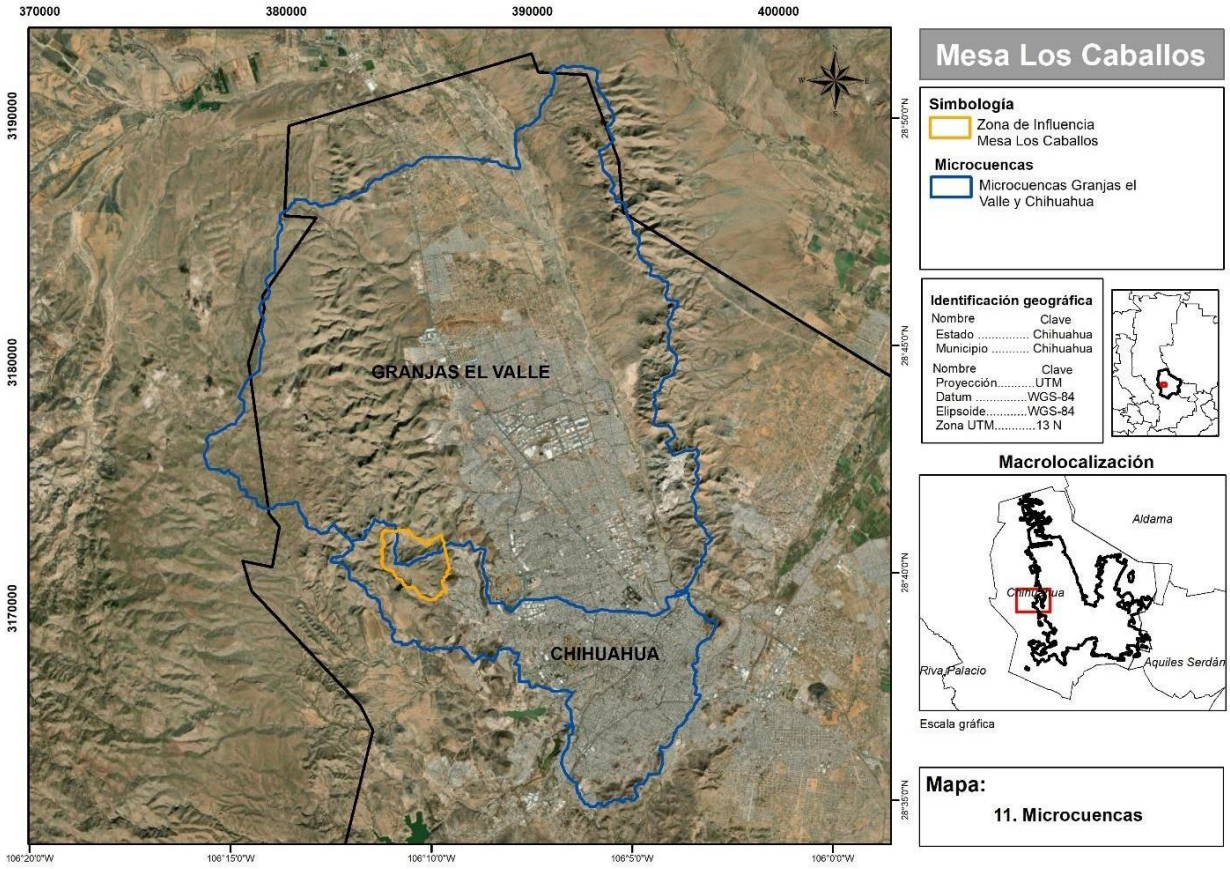


Figura 13. Microcuencas Granjas el Valle y Chihuahua.

Dentro del análisis hidrológico, se generaron microdrenajes, para el área de estudio. Se utilizó el MDE con resolución de 5 m en el software Global Mapper, aplicando un umbral de 7000 celdas/pixeles en la herramienta Stream Cell Count. La función Stream Cell Count define el número mínimo de celdas acumuladas necesarias para considerar la formación de un flujo de drenaje. La selección del umbral de 7000 celdas permitió equilibrar la detección de drenajes principales y secundarios, evitando la sobre-segmentación. Se probaron otros umbrales para la delimitación de los microdrenajes. Los umbrales por debajo de 7000 resultaron en demasiadas cuencas pequeñas que no son funcionales para nuestro interés, mientras que valores por arriba de 7000 omitían drenajes secundarios relevantes en la zona con microtopografía compleja. La delimitación de mircrodrenajes se muestra en la Figura 14. En el área de influencia de la MLC se encuentran 27 microdrenajes que tienen superficies que van de 6 ha hasta 85 ha.

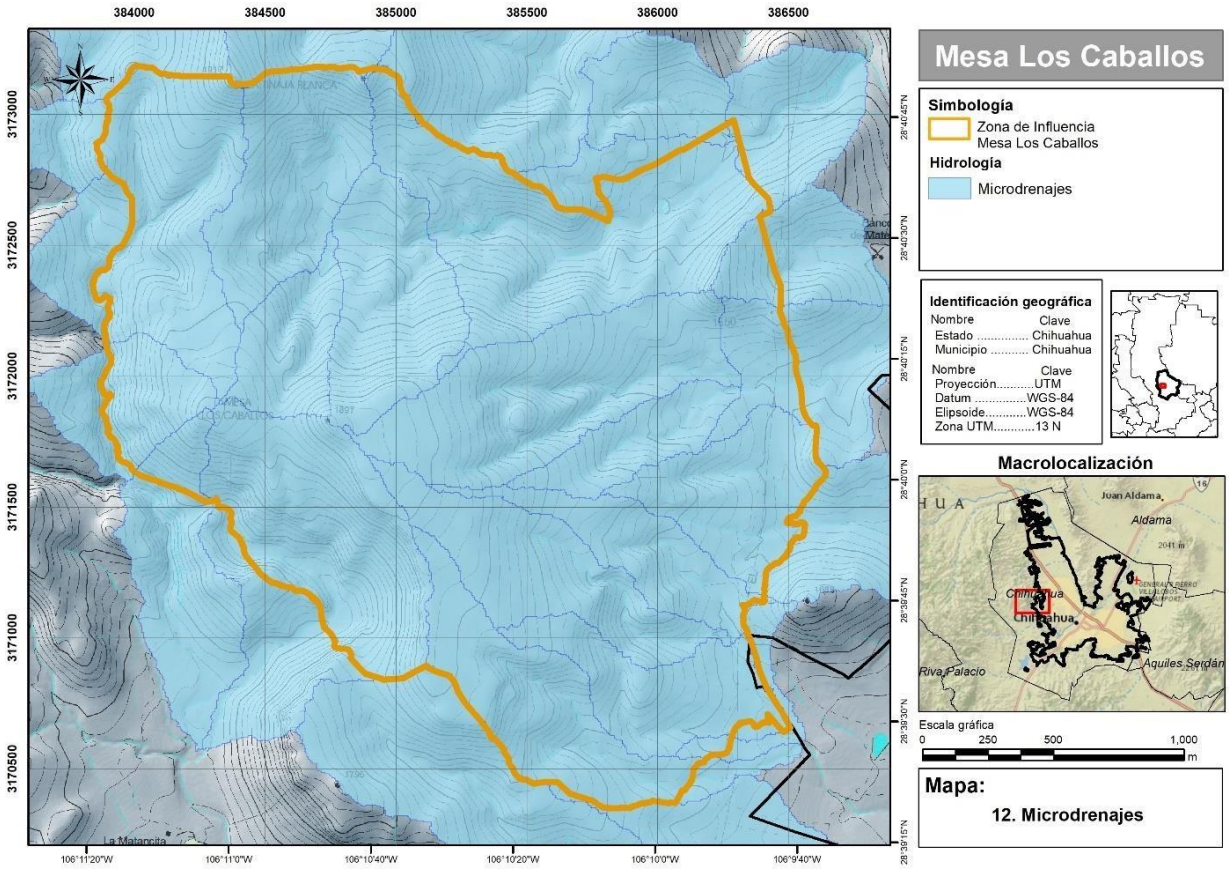


Figura 14. Microdrenajes de la MLC.

Lo anterior, además de ser una caracterización, es de utilidad para obtener las unidades hidrológicas del área de estudio. Una vez identificados los microdrenajes relevantes mediante el procesamiento del Modelo Digital de Elevación (MDE) con resolución espacial de 5 metros, esto permitió calcular diversos índices morfométricos, útiles para describir la forma, topografía y dinámica hídrica de cada microdrenaje. Como insumos principales para el calculó de los índices morfométricos se utilizó el MDE y la red hidrográfica derivada a partir del ordenamiento jerárquico Strahler, lo cual permitió identificar la jerarquía de los cauces, el punto de salida y la topología interna de cada sistema de drenaje.

Entre los indicadores o índices morfométricos obtenidos se encuentran:

- Índice de compacidad: relaciona el perímetro y el área de la cuenca, indicando su eficiencia en el escurrimiento.
- Elevación media: obtenida a partir de estadísticas altitudinales de cada polígono

de cuenca.

- Tiempo de concentración: estimado con fórmulas empíricas basadas en la longitud del cauce principal, pendiente media y rugosidad del terreno.
- Densidad de drenaje: calculada como la relación entre la longitud total de la red de drenaje y el área de la cuenca, indicando el grado de disección del relieve.

En total, se obtuvieron 52 parámetros morfométricos mediante el uso de la herramienta Watershed Morphometric Analysis, disponible a través del repositorio oficial de complementos de QGIS (QGIS Plugins Home, 2025). Estos índices proporcionan información detallada sobre la geometría, el relieve y las características de drenaje de los microdrenajes analizados. La descripción completa para cada uno de los parámetros puede consultarse en el Anexo 2.

- **Parámetro compuesto**

Con el propósito de establecer una jerarquización objetiva de los microdrenajes del área de estudio en función de su susceptibilidad morfológica e hidrológica a la erosión, se construyó un parámetro compuesto (*Pc*). Esta metodología, la cual ha sido implementada anteriormente (Chandniha, y Kansal, 2017; Dhanush et al., 2024), se basó en la integración del conjunto de parámetros morfométricos, lo cual permitió condensar la información cuantitativa derivada de múltiples variables en un solo índice, facilitando así la priorización espacial de las unidades de drenaje con base en criterios morfológicos, funcionales e hidrológicos.

El *Pc* se construyó a partir del cálculo de 52 parámetros morfométricos por microdrenaje, los cuales fueron seleccionados por su relevancia en la caracterización de la dinámica del relieve y del escurrimiento superficial. Todos estos valores fueron generados previamente para las 27 microcuencas identificadas en el territorio de estudio, a partir del procesamiento de un modelo digital de elevación y del análisis espacial realizado en ambiente SIG.

Una vez obtenidos los valores de cada parámetro por microdrenaje, se procedió a su jerarquización relativa mediante un esquema de rangos. Este procedimiento consistió en ordenar los valores de cada parámetro y asignarles un rango jerárquico de 1 a 27. Para aquellos parámetros cuya magnitud incrementa la vulnerabilidad del sistema, se asignó rango 1 al valor más alto, indicando mayor prioridad de intervención. Por el

contrario, en los parámetros cuya magnitud está asociada a condiciones más estables o favorables (como el índice de elongación o el índice hipsométrico), se asignó el rango 27, al valor más bajo. Esta jerarquización se aplicó de manera individual a cada uno de los parámetros morfométricos, generando una matriz de rankings relativa para cada microdrenaje, donde se normalizó la influencia de los distintos indicadores. Esta jerarquización se aplicó individualmente para cada parámetro morfométrico con la siguiente lógica:

$Rango_{ij}$ = posición ordenada del valor absoluto del parámetro *j* en la microcuenca *i*

Posteriormente, se sumaron los rangos obtenidos en todos los parámetros por cada microdrenaje, obteniendo así un valor total acumulado que refleja su comportamiento morfológico relativo respecto a las demás unidades.

$$Pc_i = \sum_{j=1}^{n} Rango_{ij}$$

donde Pc_i es el valor compuesto para la microcuenca *i*, y *n* es el número total de parámetros considerados.

Este valor total fue reclasificado ordinalmente para asignar el valor definitivo del Pc, comprendido entre 1 y 27. De esta manera, $Pc = 1$ corresponde a la microcuenca con mayor prioridad de intervención, por presentar condiciones morfométricas más críticas, mientras que $Pc = 27$ representa el microdrenaje más estable en términos relativos, con menor urgencia de manejo correctivo, resultando en un índice final con valores de $Pc \in [1, 27]$.

- **Aguas subterráneas**

El área de influencia de la MLC, se encuentra en el acuífero Chihuahua-Sacramento Figura 15. En términos regionales, el acuífero colinda con los acuíferos, El Sauz Encinillas, Laguna El Diablo, Laguna de Hormigas, Tabalaopa-Aldama, Villalba y Alto Río San Pedo. En particular, y con base en la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2024), el acuífero Chihuahua- Sacramento abarca una superficie de 1889 km^2. Su delimitación hidrogeológica considera tanto criterios físicos (como topografía, geología y condiciones de flujo subterráneo) como administrativos. En términos de disponibilidad, el volumen de agua subterránea comprometido a través de concesiones es significativo. La recarga media anual se estima en 56.6 hm^3/año, mientras que el volumen total de extracción concesionado asciende a 112.5 hm^3/año, mostrando una

sobreexplotación del acuífero. La disponibilidad media anual calculada por CONAGUA es de –65.9 hm^3/año, lo que indica un déficit sostenido en el balance hídrico subterráneo. La sobreexplotación del acuífero ha propiciado problemas como abatimiento de niveles piezométricos, pérdida de calidad del agua y reducción de caudales base en cuerpos superficiales. A ello se suma el incremento en la presión territorial por expansión urbana y uso intensivo del suelo. Se considera entonces que existe una condición de estrés hídrico subterráneo. La presencia de un acuífero sobreexplotado subraya la necesidad de promover estrategias de conservación, eficiencia en el uso del agua, protección de zonas de recarga y regulación del desarrollo urbano, con base en principios de sostenibilidad hidroambiental.

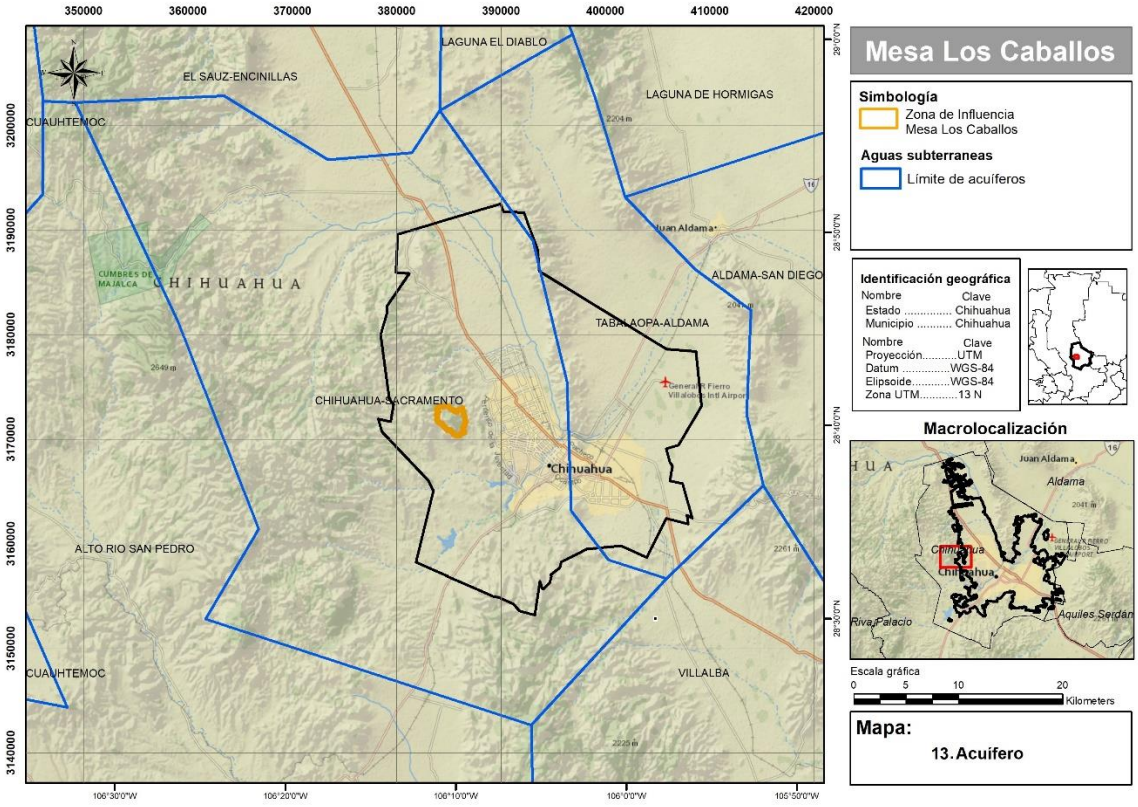


Figura 15. Ubicación de la MLC en el acuífero Chihuahua-Sacramento.

Además, otros de los acuíferos colindantes muestran dinámicas similares. Por ejemplo, el acuífero El Sauz-Encinillas presenta una recarga media anual de 62.4 hm^3, con extracciones cercanas a 120.54 hm^3/año, lo que resulta en una disponibilidad negativa de aproximadamente −58.14 hm^3/año. Otro caso es Tabalaopa-Aldama, con una recarga de 76.5 hm^3/año y extracciones similares, lo que deja poca holgura para atender

demandas adicionales sin poner en riesgo el balance hídrico.

- **Clima**

El clima, se describe mediante el climograma que se muestra en la Figura 16. El climograma presentado combina las variables climáticas de precipitación media anual (en milímetros) y temperatura media anual (en grados Celsius) de 1980 a 2020, representadas mediante barras y una línea respectivamente, para cada mes del periodo de 40 años. La información se descargó del servidor de la NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources Data Access Viewer (NASA, 2025). A continuación, se realiza una descripción de las variables climáticas.

- Precipitación Media Anual (barras azules).

Máximos niveles de precipitación: Se registran en los meses de julio, agosto y septiembre, con valores superiores a 90 mm, alcanzando el pico más alto en julio. Esto indica un periodo de lluvias intensas, probablemente asociado a la temporada de verano y el fenómeno de monzones o lluvias estacionales típicas de la región.

Mínimos niveles de precipitación: De noviembre a abril, los niveles son muy bajos, inferiores a 10 mm, siendo el mes de febrero el de menor precipitación. Este patrón sugiere una estación seca prolongada en los meses fríos y de primavera.

- Temperatura Media Anual (línea roja).

Máximas temperaturas: Se observan en los meses de junio, julio y agosto, con valores que superan los 25 °C, alcanzando el máximo en julio, coincidiendo con el periodo de lluvias.

Mínimas temperaturas: Ocurren en diciembre y enero, con valores cercanos a los 10 °C o menos, correspondientes al periodo invernal.

El climograma refleja un clima estacional típico de regiones áridas o semiáridas con influencia monzónica, caracterizado por una estación lluviosa y cálida que se concentra en verano (junio a septiembre), con lluvias significativas y altas temperaturas, y una estación seca y fría que se extiende de otoño a primavera (octubre a abril), con precipitaciones bajas y temperaturas moderadas o frías; este patrón climático, propio de zonas con un marcado gradiente estacional, implica que los recursos hídricos son más abundantes durante los meses lluviosos pero limitados en la estación seca, lo que repercute en la vegetación, fauna y actividades antrópicas de la región.

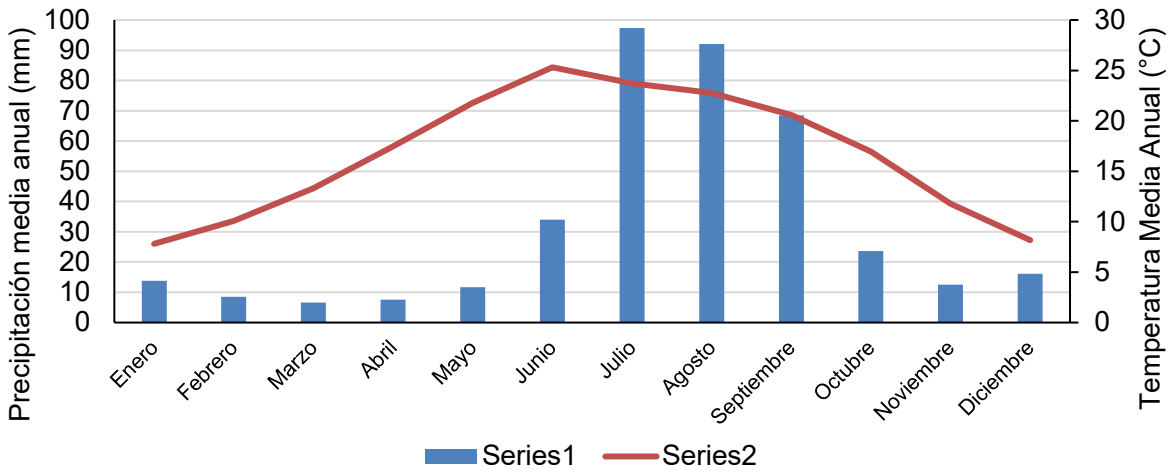


Figura 16. Climograma de la Mesa de Los Caballos de 1981 a 2020 (Series1= precipitación, Series2= temperatura).

Por otro lado, la Figura 17 muestra la serie de tiempo de la precipitación media anual registrada entre 1981 y 2020, junto con una línea de tendencia que muestra la evolución general de este parámetro climático a lo largo de cuatro décadas. La figura muestra una variabilidad en la precipitación media anual, con años de precipitaciones muy altas (a finales de los 80 y principios de los 2000) y otros con valores considerablemente bajos (años 90 y 2010). La línea de tendencia punteada indica un descenso general en la precipitación media anual a lo largo del periodo analizado, lo que sugiere una posible disminución de la disponibilidad de agua por lluvia en la región.

Los picos altos de precipitación se observan con precipitaciones notables, como 1989 y 1993, en los que los valores superan los 25 mm. Por otro lado, los periodos secos se muestran en 1994 y 2011 donde se presentan precipitaciones muy bajas, cercanas a los 5 mm, destacando como periodos particularmente secos. Desde 2010, aunque la precipitación muestra variaciones, se aprecia una reducción en los picos extremos en comparación con las décadas anteriores, con una tendencia aún hacia la baja.

La figura refleja no solo la variabilidad natural de la precipitación en la región, sino también una posible reducción en las lluvias promedio, que podría atribuirse a fenómenos como la variabilidad climática o el cambio ambiental global. Esta tendencia descendente podría tener implicaciones importantes para la disponibilidad de recursos hídricos, la agricultura, y los ecosistemas locales, sugiriendo la necesidad de estrategias de manejo y conservación para afrontar escenarios futuros de menor disponibilidad hídrica.

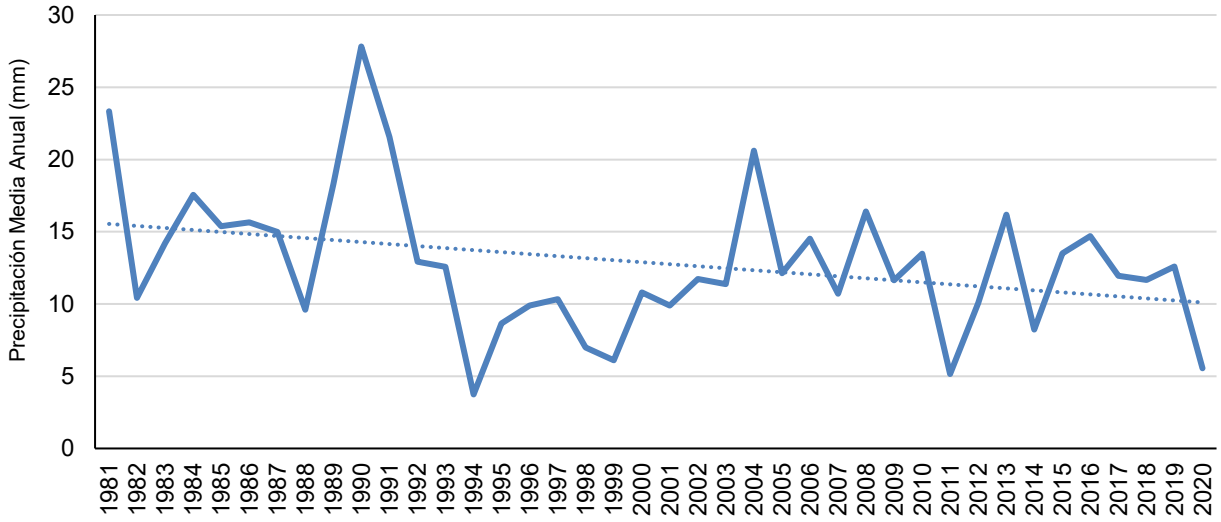


Figura 17. Series de tiempo de Precipitación Media Anual de 1981 a 2020.

En cuanto a la temperatura media anual, la Figura 18 presenta la serie de tiempo registrada entre 1981 y 2020, acompañada de una línea de tendencia que muestra la evolución del comportamiento térmico a lo largo de este periodo.

La línea de tendencia punteada indica un incremento progresivo de la temperatura media anual desde 1981 hasta 2020, lo que sugiere un calentamiento sostenido en la región. Además, se observan fluctuaciones en la temperatura de un año a otro, con ciertos periodos de descenso temporal, aunque la tendencia general sigue al alza.

En particular, se observa un incremento gradual desde valores cercanos a 15.5°C en los años 80 hasta alcanzar aproximadamente 18°C en 2020, lo que representa un cambio significativo en el régimen térmico. En cambio, a inicios de los años 90, se evidencia una disminución abrupta de la temperatura, alcanzando valores cercanos a 14.5°C, para luego recuperarse rápidamente en los años siguientes. Desde el 2000, se observa una mayor estabilidad con tendencia al alza, con algunos picos notorios en los años 2011, 2017 y 2020, cuando la temperatura media anual supera los 18°C.

La figura sugiere una tendencia de calentamiento en la región, lo que puede estar asociado tanto a cambios climáticos locales como a la influencia del cambio climático global. Este aumento progresivo de la temperatura puede generar impactos en los ecosistemas y las actividades humanas, afectando la disponibilidad de agua, la productividad agropecuaria y la biodiversidad. La combinación de esta tendencia con la reducción en la precipitación observada en la Figura 15 reforzaría la idea de un clima más

cálido y seco, lo que podría representar un desafío en términos de adaptación y mitigación de los efectos climáticos a futuro.

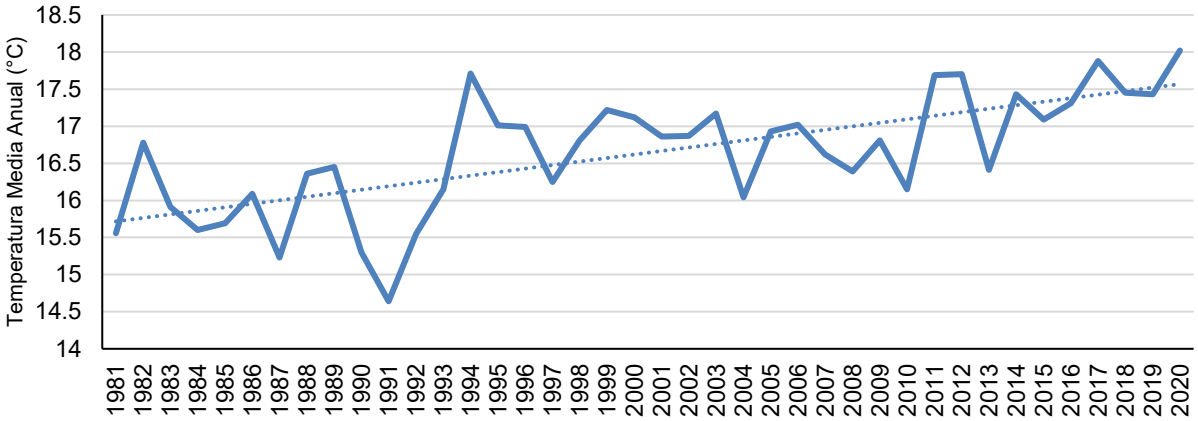


Figura 18. Series de tiempo de Temperatura Media Anual de 1981 a 2020.

La serie de tiempo de precipitación media anual muestra una tendencia descendente, lo que indica una disminución progresiva en la cantidad de lluvia a lo largo de las décadas. Además, la variabilidad interanual sugiere la presencia de años extremadamente secos alternados con picos de precipitación, lo que puede estar relacionado con la intensificación de eventos climáticos extremos, como sequías prolongadas y lluvias torrenciales. Esta reducción de la precipitación impacta directamente la recarga de acuíferos, el caudal de los arroyos y la disponibilidad de agua para la agricultura y los ecosistemas naturales.

En contraste, la temperatura media anual muestra una tendencia ascendente con un incremento sostenido desde la década de los 80 hasta la actualidad. La temperatura ha aumentado de manera gradual, con valores que han superado los 18°C en los años más recientes, lo que representa un calentamiento significativo del ambiente. Este fenómeno puede tener múltiples repercusiones, como el incremento en la evapotranspiración, el agotamiento de la humedad remanente del suelo, y el aumento de la aridez en la región.

El cruce de ambas tendencias resalta un escenario climático preocupante, donde la reducción de las precipitaciones, combinada con temperaturas en aumento, genera un proceso de aridización progresiva (Allen *et al*., 1998; Change, 2019; Lee, 2023). Esta condición puede derivar en mayor estrés hídrico, afectando la productividad agropecuaria, la disponibilidad de agua para el consumo humano y la resiliencia de los

ecosistemas naturales.

Además, la mayor incidencia de temperaturas elevadas en los meses de julio a septiembre, cuando las lluvias alcanzan su punto máximo, puede influir en la eficiencia de la infiltración del agua, ya que el aumento en la evaporación reduce la cantidad de agua efectiva que se incorpora al suelo y a los cuerpos de agua superficiales o flujos de agua subsuperficiales.

Los cambios observados en la zona pueden estar asociados a diferentes factores climáticos y antropogénicos, entre ellos:

- Variabilidad climática natural, donde ciclos como El Niño y La Niña influyen en la disponibilidad de lluvias.
- Cambio climático global, derivado del aumento en la concentración de gases de efecto invernadero, lo que, junto con la recurrencia y duración de los sistemas de alta presión atmosférica, podría estar intensificando los patrones de sequía y las olas de calor en la región.
- Pérdida de cobertura vegetal y cambios en el uso del suelo, que alteran los microclimas locales y afectan la capacidad de retención de humedad en el suelo.

Para una mejor apreciación, ambas series históricas se muestran en la siguiente Figura (Figura 19).

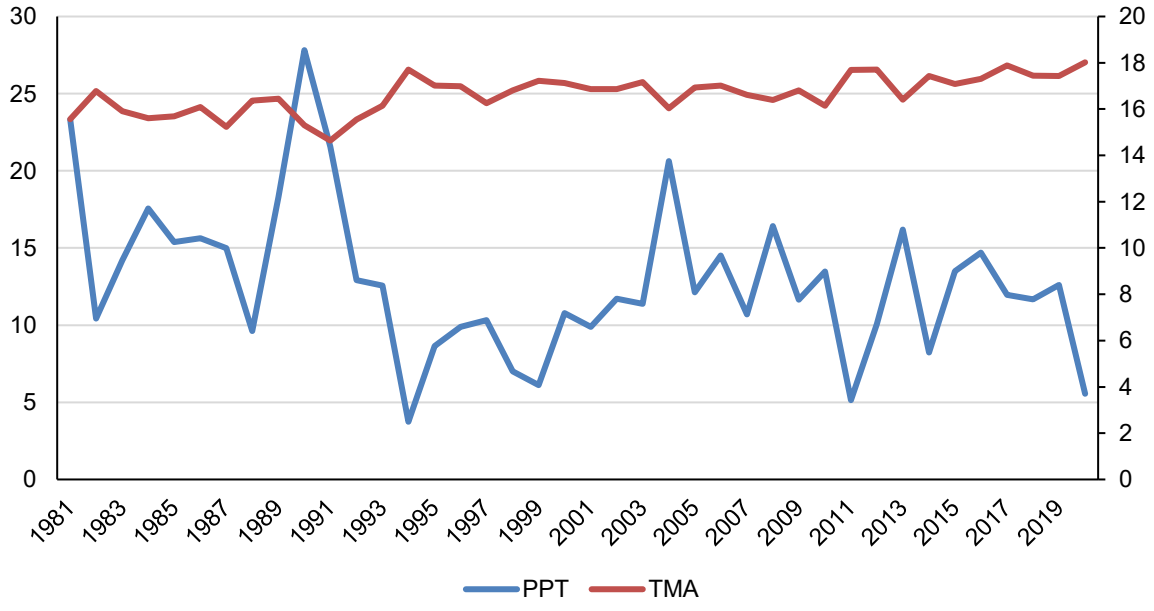


Figura 19. Series de tiempo de Temperatura Media Anual (TMA) y Precipitación Media Anual de 1981 a 2020.

- **Geología**

El área de estudio cuenta con una litología clasificada acorde al Servicio Geológico Mexicano, acorde a la carta H13-10 (SGM, 2025), proporcionando información sobre sus características geológicas y estratigráficas. La era geológica a la que pertenece es el Cenozoico, un periodo de la historia de la Tierra que abarca los últimos 66 millones de años y que se caracteriza por una intensa actividad tectónica y volcánica (Centeno-García, 2017). Dentro de esta era, el área corresponde específicamente al Terciario, un periodo en el que ocurrieron importantes procesos geodinámicos que moldearon el relieve y la composición del subsuelo.

La edad geológica asignada a la unidad es el Eoceno, un intervalo que abarca entre 56 y 34 millones de años atrás (Ferrari *et al*., 1999). Durante este tiempo, predominaban condiciones climáticas cálidas y una fuerte actividad volcánica que generó extensos depósitos de rocas volcánicas en diversas regiones. Estas características se reflejan en la litología del área, compuesta principalmente por toba riolítica, un tipo de roca volcánica de origen extrusivo formada por la consolidación de cenizas y fragmentos piroclásticos expulsados durante erupciones explosivas. Las tobas riolíticas suelen estar asociadas a magmas ricos en sílice y a eventos volcánicos de gran magnitud, lo que sugiere un entorno geológico dinámico y de alta energía en el pasado.

La unidad estratigráfica se identifica como parte de la Formación Loma del Toro, la cual agrupa depósitos volcánicos generados durante el Eoceno. Esta formación evidencia una actividad volcánica significativa en la región, relacionada con los procesos tectónicos que dominaron el Terciario (Del Pilar-Martínez *et al*., 2021). La clave estratigráfica "TeTR" asignada a la unidad, según el Servicio Geológico Mexicano, permite identificar de manera estandarizada sus características geológicas dentro del sistema de clasificación nacional.

La presencia predominante de toba riolítica indica que el área estuvo sometida a una fuerte actividad volcánica explosiva en el Eoceno, lo que influyó en la conformación del relieve y en la composición del suelo (Figura 20). Estas rocas suelen estar vinculadas con eventos de gran magnitud que modificaron el paisaje y dieron origen a una cubierta volcánica extensa, similar a la que se encuentra en otras regiones del norte de México. La Formación Loma del Toro proporciona evidencia de un ambiente de deposición

volcánica activo, lo que resulta importante para el estudio estructural, paleogeográfico y de los posibles recursos minerales presentes en la zona.

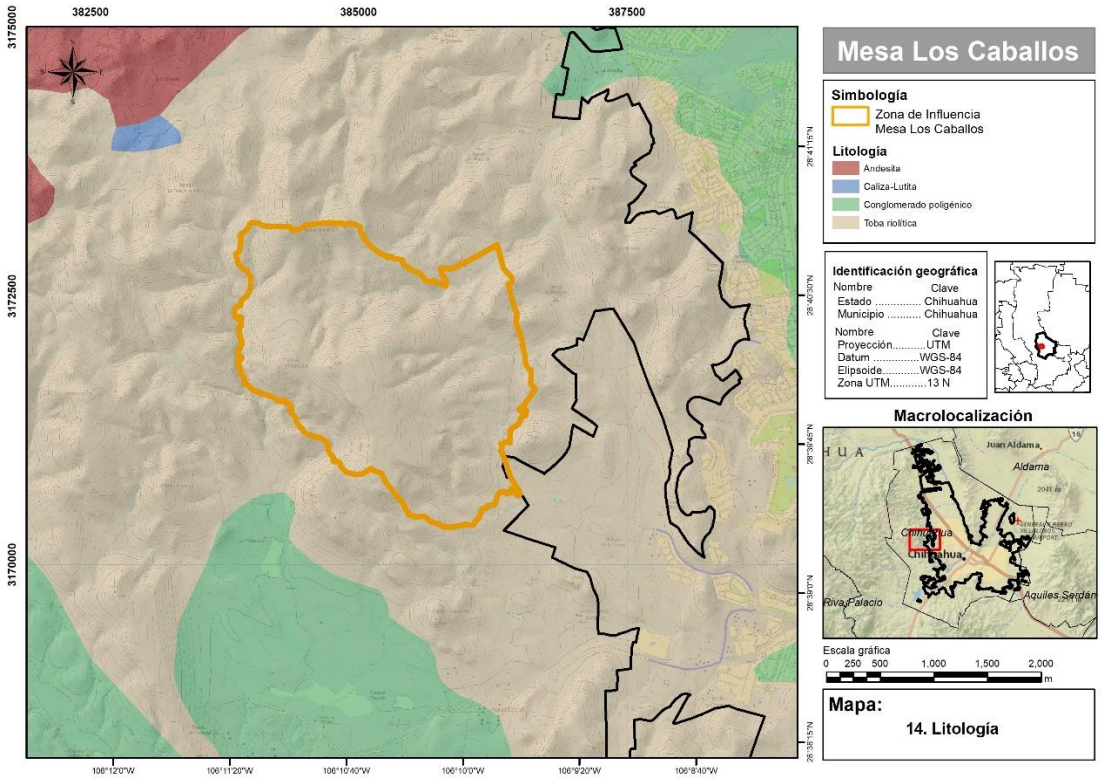


Figura 20. Litología del área de estudio.

- **Edafología**

El área de estudio presenta una clasificación edafológica acorde a la Serie III Edafológica del INEGI (2021), donde el tipo de suelo predominante es el Leptosol. Este tipo de suelo se caracteriza por su escaso desarrollo edafológico, con un horizonte superficial muy delgado y limitado por la presencia de roca a poca profundidad. Los Leptosoles son comunes en regiones con relieve accidentado, pendientes pronunciadas y una alta susceptibilidad a la erosión.

Dentro de la clasificación detallada, el suelo es identificado como Leptosol esquelético y lítico (Figura 21). La condición esquelética indica una alta proporción de fragmentos gruesos, como grava y piedras, lo que limita su capacidad de retención de agua y su aptitud agrícola. Por otro lado, el término lítico hace referencia a la presencia de un substrato rocoso continuo a poca profundidad, generalmente a menos de 10 cm, lo que restringe aún más el desarrollo radicular de la vegetación y dificulta su manejo para actividades agrícolas o de reforestación.

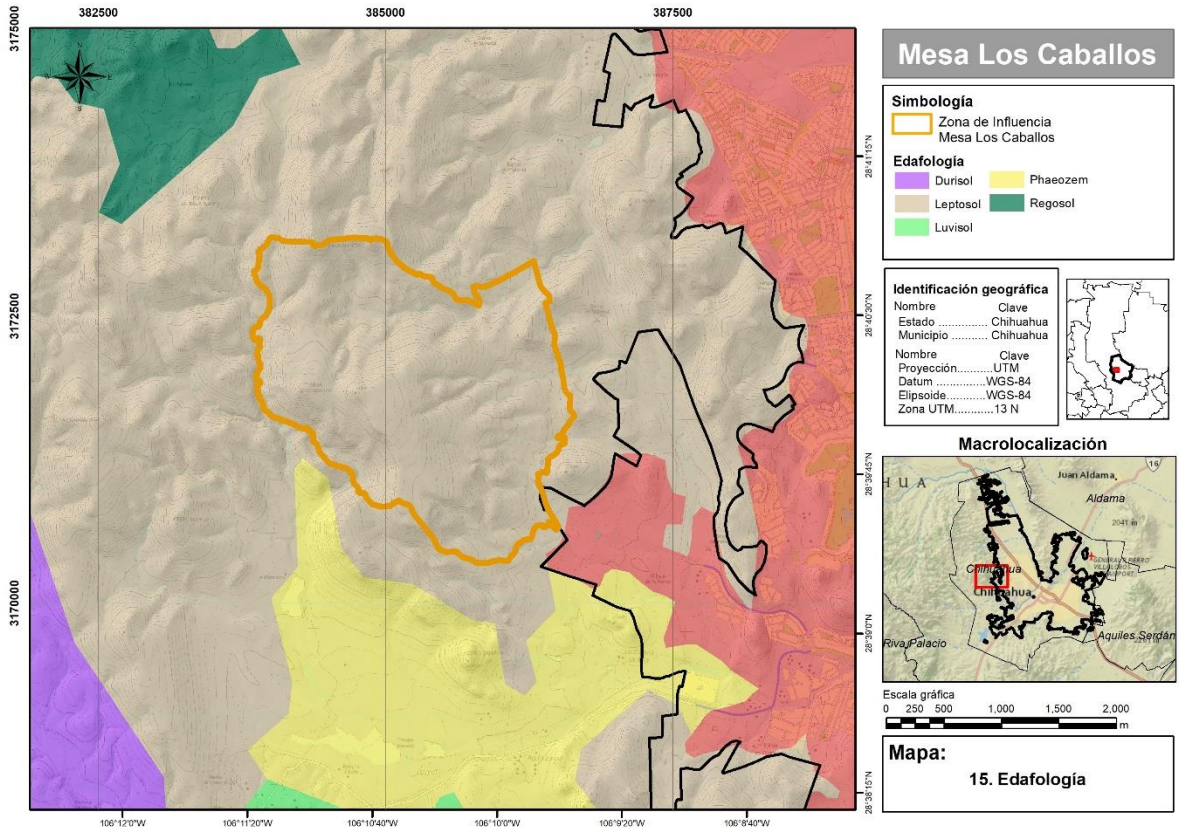


Figura 21. Unidades edafológicas.

En cuanto a la textura, se clasifica como media, lo que sugiere una composición equilibrada de arena, limo y arcilla, aunque la presencia de fragmentos rocosos puede influir en su estructura y capacidad de infiltración de agua. Además, la descripción superficial indica que el suelo tiene una fase pedregosa, lo que implica una cobertura significativa de piedras en la superficie, lo que puede representar una barrera física para el crecimiento de las plantas y para el desarrollo de actividades agropecuarias (Schad *et al.,* 2023).

En términos generales, los Leptosoles esqueléticos y líticos con fase pedregosa son suelos de baja fertilidad, con una capacidad limitada para el almacenamiento de agua y con un uso restringido principalmente a la vegetación natural y actividades de conservación ambiental.

El conjunto de características geológicas y edafológicas indica que el área presenta una interacción activa, donde la toba riolítica no solo da forma al relieve, sino que también condiciona la formación y evolución de los suelos. Este tipo de paisaje es

característico de regiones volcánicas semiáridas, donde la erosión y los factores climáticos determinan la escasa profundidad de los suelos y su baja capacidad de uso agropecuario. En términos ecológicos, estos suelos limitan el desarrollo de especies vegetales con altas demandas hídricas, favoreciendo comunidades adaptadas a suelos delgados y con alta exposición al estrés hídrico.

La interacción entre la litología volcánica del Eoceno y la presencia de Leptosoles líticos y esqueléticos da como resultado un paisaje donde predominan terrenos pedregosos, con suelos someros de baja fertilidad y una marcada influencia de procesos erosivos. Esta combinación de factores determina las posibilidades de uso del suelo, favoreciendo la conservación ambiental y el uso para vegetación natural, más que su aprovechamiento agrícola intensivo.

- **Comportamiento espectral de la vegetación**

Para analizar el comportamiento de la vegetación, se utilizaron datos del satélite Landsat OLI 8 mediante el índice espectral NDVI. Se ha documentado, que el NDVI ha evidenciado o ayuda a evidencias la relación entre cambios de NDVI y eventos ambientales como sequías, incendios o estrés térmico (Liu *et al*., 2024; Yang *et al*., 2023; Yao *et al*., 2024), los cuales muestran que episodios de baja precipitación y temperaturas extremas generan caídas del NDVI, reflejo de la pérdida de cobertura vegetal o de la actividad fotosintética reducida.

Para obtener el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) se utilizó la plataforma Google Earth Engine (GEE, https://earthengine.google.com/) (Gorelick *et al*., 2017), una herramienta de procesamiento en la nube que permite el análisis de grandes volúmenes de datos geoespaciales. Se emplearon imágenes del sensor Landsat OLI 8 Top of Atmosphere (TOA), abarcando el periodo de septiembre de 2013 a noviembre de 2024, con el objetivo de evaluar la evolución del comportamiento de la vegetación en la MLC. Los productos TOA presentan una mayor consistencia y cobertura a lo largo de la serie temporal mencionada, lo cual es importante en regiones áridas o semiáridas donde otros productos, como los de la reflectancia de superficie pueden presentar limitaciones debido a las condiciones atmosféricas locales. Por otro lado, el propósito del análisis fue evaluar la dirección y magnitud del cambio del NDVI a lo largo del tiempo (pendiente), sin hacer énfasis en los valores absolutos, por lo que los

productos TOA resultan adecuados para identificar tendencias relativas de vegetación.

El primer paso consistió en la selección y preprocesamiento de los datos satelitales. Para ello, se definió el área de estudio mediante un polígono digitalizado dentro de GEE. Posteriormente, se filtró la colección de imágenes Landsat OLI 8 (LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA), aplicando un filtro espacial, que seleccionó únicamente imágenes dentro del área de interés, y un filtro temporal, restringiendo la serie de imágenes al periodo comprendido entre 2013 y 2024. Adicionalmente, se aplicó un filtro estacional, limitando el análisis a los meses de septiembre a noviembre, con el propósito de reducir la variabilidad intra-anual y centrarse en el periodo post-lluvias, cuando la vegetación tiende a alcanzar su máxima expresión.

Una vez obtenida la colección de imágenes, se procedió al cálculo del NDVI para cada imagen seleccionada. El NDVI se obtuvo mediante la expresión matemática:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{Nir + Red}$$

donde: NIR es la reflectancia del infrarrojo cercano (NIR) y la del rojo (Red). El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) es ampliamente utilizado como un indicador indirecto del comportamiento de la vegetación, ya que permite evaluar de manera indirecta la actividad fotosintética y la densidad de la cubierta vegetal a partir de imágenes satelitales. Este índice se basa en la relación entre la reflectancia del infrarrojo cercano (NIR) y la del rojo (Red), donde valores más altos indican una mayor biomasa y vigor vegetativo, mientras que valores bajos sugieren suelos sin cobertura, cuerpos de agua o vegetación en deterioro. Aun que es ampliamente utilizado, se hace mención del NDVI en este apartado, ya que se utilizará durante el estudio.

Se obtuvieron tres métricas estadísticas con datos del NDVI, las cuales fueron: tendencia, desviación estándar y coeficiente de variación.

La tendencia del NDVI es un análisis temporal del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) que permite evaluar cambios en la cobertura vegetal a lo largo del tiempo. Se obtiene a partir de una serie temporal de imágenes satelitales, aplicando un modelo de regresión lineal o métodos de análisis de tendencias para identificar si la vegetación en una determinada área ha mostrado un incremento, estabilidad o disminución en su cobertura de actividad fotosintética. Para evaluar la tendencia del NDVI de 2013-2024, se implementó una regresión lineal pixel a pixel. En

primer lugar, se extrajo la fecha de adquisición de cada imagen, generando una banda temporal que permitió modelar la variación del NDVI en función del tiempo. Posteriormente, se aplicó un ajuste de regresión lineal mediante el método ee.Reducer.linearFit(), utilizando como variables la banda de tiempo y la banda de NDVI. El coeficiente de pendiente (scale) obtenido en esta regresión indica la tasa de cambio del NDVI en el tiempo, donde valores positivos (+) representan un incremento en la cobertura vegetal, mientras que valores negativos (-) sugieren una pérdida de vegetación o degradación del ecosistema.

El análisis de tendencia se llevó a cabo mediante la aplicación de un modelo de regresión lineal simple a cada píxel, con la siguiente ecuación:

$$NDVI_t = \beta_0 + \beta_1 \times t + \varepsilon$$

donde: $NDVI_t$ es el valor del NDVI en el año t, β_0 es la ordenada al origen (valor estimado al inicio del periodo), β_1 es la pendiente de la recta, que indica la tasa de cambio del NDVI por año, la cual indica si existe un incremento ($\beta 1>0$) o decremento ($\beta 1<0$) de la vegetación, t es el tiempo expresado en años y ε es el error aleatorio.

Para visualizar los resultados, se generó un raster de tendencia del NDVI, utilizando una paleta de colores que permitió diferenciar las zonas con cambios significativos. En la visualización, las áreas con tendencia negativa (disminución del NDVI) se representaron en tonos rojos, indicando posibles procesos de degradación, deforestación, o cambio de uso de suelo. Las zonas neutrales, sin cambios significativos, se mostraron en tonos amarillos, mientras que las áreas con tendencia positiva (incremento del NDVI) se representaron en tonos verdes, reflejando posibles procesos de recuperación vegetal.

Los valores del raster resultante representan la pendiente (β_1) de la regresión lineal aplicada al NDVI a lo largo del tiempo, por cada píxel de la imagen satelital. Este coeficiente indica el cambio promedio anual del índice de vegetación durante el periodo analizado (2013–2024). Por ejemplo, el valor de 0.0097 significa que el NDVI ha mostrado una tendencia positiva, incrementándose aproximadamente 0.0097 unidades por año, lo que implica un aumento acumulado de alrededor de 0.11 unidades a lo largo de 11 años. Este patrón sugiere una mejora en la cobertura o vigor de la vegetación en esa zona. Por el contrario, un valor de -0.018 refleja una disminución anual del NDVI, con una pérdida

acumulada cercana a 0.20 unidades, lo cual se puede interpretar como un proceso de degradación o pérdida de vegetación. En términos generales, valores positivos de la pendiente indican tendencias de recuperación o incremento vegetativo, mientras que valores negativos representan procesos de deterioro o pérdida de cobertura vegetal. Valores cercanos a cero reflejan condiciones de estabilidad en la vegetación durante el periodo evaluado.

La Figura 22 muestra la distribución espacial de la tendencia del NDVI en la zona de estudio, representada con una escala de colores donde el verde indica valores positivos 0.0097 (incremento del NDVI) y el rojo representa valores negativos -0.018 (disminución del NDVI). Este análisis permite evaluar los cambios en la vegetación a lo largo del tiempo, identificando áreas con posible regeneración o degradación de la cobertura vegetal.

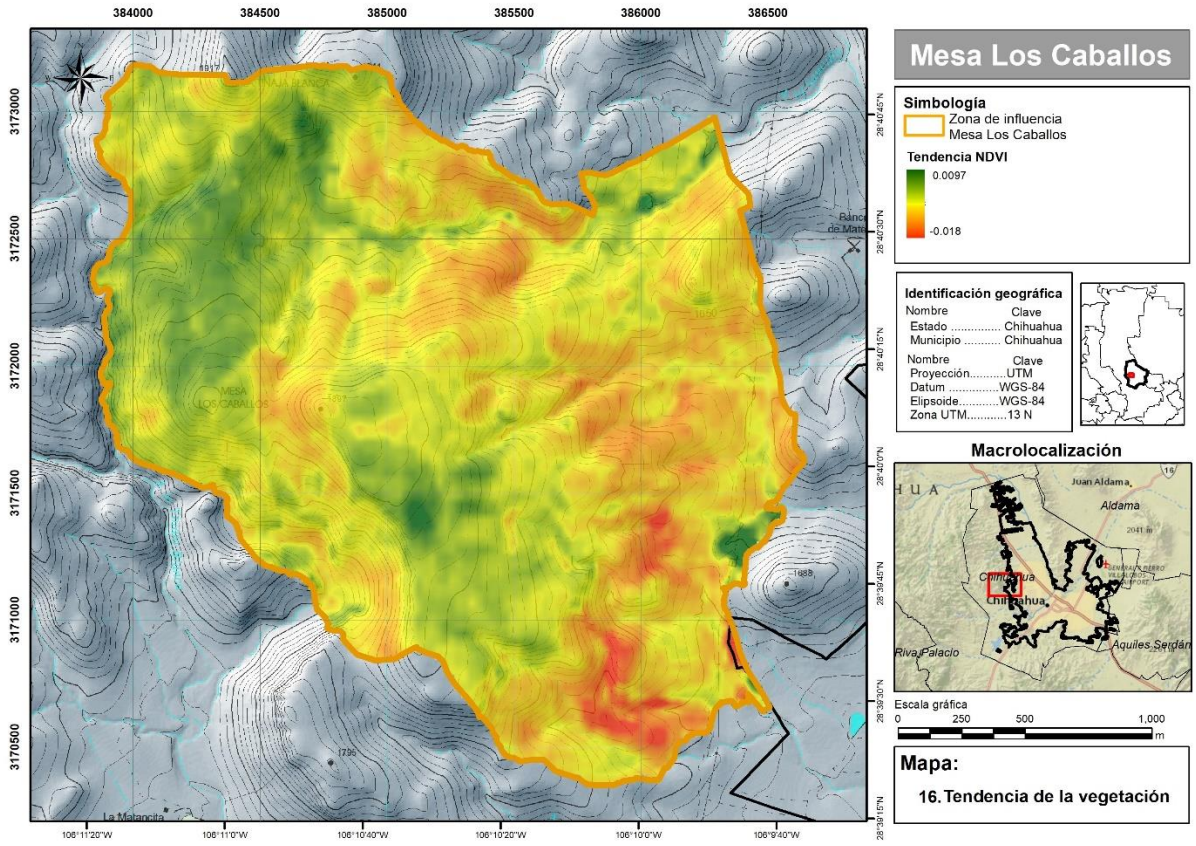


Figura 22. Tendencia del NDVI de 2013-2024.

En términos espaciales, las zonas con incremento en el NDVI, representadas en verde, se encuentran principalmente en la zona oeste y centro-sur de la región. Estas

áreas muestran una tendencia positiva en la cobertura vegetal, lo que indica un posible proceso de regeneración o conservación de la vegetación. Esto podría estar asociado a factores como una mayor retención de humedad, menor presión antrópica o esfuerzos de conservación.

Por otro lado, la mayoría del territorio presenta tendencias moderadas, en color amarillo. En estas zonas, la vegetación puede estar recuperándose de impactos previos o beneficiándose de condiciones ambientales más favorables, al menos en los últimos 11 años. Sin embargo, también pueden ser zonas que se encuentran en proceso de deterioro o aridización.

Las zonas en tonos naranja y rojo, sugieren una disminución de la vegetación. Estas áreas, especialmente en la zona centro norte y este, podrían estar experimentando procesos de degradación, deforestación o pérdida de cobertura vegetal. Esta tendencia puede estar relacionada con factores como erosión del suelo, disminución de la humedad, sobrepastoreo o expansión de actividades humanas que han reducido la capacidad de regeneración de la vegetación.

La superposición con curvas de nivel en la imagen también permite evaluar la influencia del relieve en la variabilidad del NDVI. En zonas con pendientes pronunciadas, la vegetación puede ser más susceptible a la erosión y pérdida de suelo, lo que podría explicar la disminución del NDVI en algunas áreas. En contraste, en las zonas más alejadas del efecto antrópico, se muestran áreas con posible acumulación de humedad, donde los valores de NDVI pueden ser más estables o incluso mostrar una tendencia positiva.

La tendencia general del NDVI en la zona de estudio muestra un patrón mixto, con predominancia de vegetación con tendencia moderada (tonos amarillos) y de pérdida de vegetación en varias áreas (rojo y naranja), pero con algunos sectores en recuperación (verde). Estos resultados resaltan la importancia de considerar factores como uso del suelo, hidrología y cambio climático para comprender las causas de la variabilidad en la vegetación.

Por otra parte, se generó un raster de desviación estándar (SD) del NDVI (Figura 23). El propósito de este procedimiento fue identificar patrones espaciales de variabilidad interanual en la vegetación y determinar áreas con cambios en la productividad

fotosintética. La desviación estándar es un estadístico que mide la dispersión de los valores respecto a su media y se calculó para cada pixel en toda la serie temporal 2013-2024. La fórmula general utilizada para su cálculo fue:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(NDVI_i - \overline{NDVI})^2}$$

donde σ es la desviación estándar del NDVI en un píxel dado, $NDVI_i$ es el valor del índice en el tiempo i, $\overline{NDVI}$ es el valor medio del NDVI en ese píxel a lo largo de la serie, y n es el número total de observaciones temporales. Este análisis permite identificar zonas con comportamiento estable (valores bajos de SD) o altamente variable (valores altos de SD), lo cual es importante para detectar áreas sensibles al cambio climático, disturbios ecológicos o dinámicas de uso del suelo. Este procedimiento permitió identificar qué tanto fluctuó el NDVI en cada punto del área de estudio.

Los valores obtenidos en el raster oscilaron entre 0.07 y 0.20, lo que indica que, en promedio, la variación del NDVI fue moderada. Las zonas con desviaciones estándar cercanas a 0.07 reflejan un comportamiento más estable de la vegetación a lo largo del tiempo, posiblemente asociado a coberturas más homogéneas o permanentes, sin grandes variaciones en la cobertura fotosintética En contraste, las áreas con valores cercanos a 0.20 presentan alta variabilidad, lo que puede estar asociado a eventos climáticos extremos, impactos antrópicos o cambios estacionales marcados de dinámicas de vegetación de tipo herbáceo o de rápida respuesta estacional.

El análisis de la desviación estándar del NDVI ayuda a detectar zonas de estabilidad y cambio en la vegetación, permitiendo identificar áreas en proceso de degradación ecológica o de regeneración natural. Asimismo, este indicador es útil para evaluar la influencia de factores climáticos y antrópicos en la dinámica de la vegetación, facilitando la identificación de zonas prioritarias para conservación o restauración.

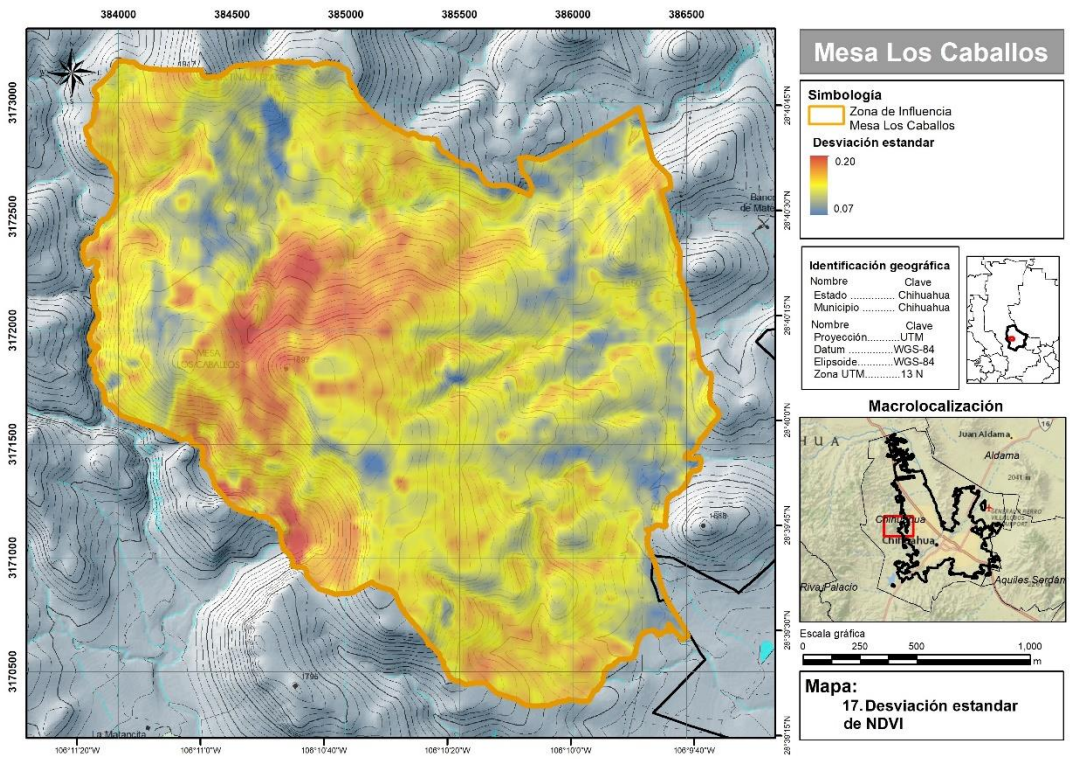


Figura 23. Desviación estándar de NDVI de 2013-2024.

Finalmente, se obtuvo el coeficiente de variación (CV%) del NDVI de 2013 a 2024, con el objetivo de reducir la variabilidad estacional, el análisis se restringió a los meses de septiembre a noviembre de cada año, representando un periodo post-lluvias caracterizado por el crecimiento máximo de la vegetación en la región.

El Coeficiente de Variación del NDVI es una métrica que ayuda a evaluar la variabilidad relativa de la vegetación en el tiempo, ya que combina la media y la desviación estándar del NDVI. Este índice permitió identificar zonas con comportamientos inestables, reflejando áreas donde la vegetación presenta fluctuaciones a lo largo del periodo analizado (2013-2024). El coeficiente de variación se calcula mediante la siguiente formula:

$$CV\% = \left(\frac{\sigma}{\mu}\right) \times 100$$

donde: σ es la desviación estándar del NDVI, μ es la media del NDVI durante el periodo, y el resultado del CV se expresa como porcentaje. Esta métrica permitió identificar con

mayor claridad aquellas zonas del área de estudio donde la vegetación presentó comportamientos inestables a lo largo del tiempo. Un CV elevado indica una alta variabilidad relativa del NDVI, lo que puede asociarse a perturbaciones recurrentes, cambios en el uso del suelo, actividad ganadera, o variaciones en la cobertura vegetal. Por el contrario, un CV bajo sugiere mayor estabilidad ecosistémica o una vegetación más permanente. Esta métrica complementa la interpretación del promedio y la desviación estándar, brindando un panorama más completo sobre la dinámica espacio-temporal de la vegetación en la región de estudio.

Las áreas con valores altos de CV (37%) indican que la vegetación ha experimentado cambios constantes, lo que puede estar asociado a eventos extremos como, sequías recurrentes, deforestación o sobrepastoreo. Estos sectores requieren un monitoreo especial, ya que su inestabilidad los hace más vulnerables a los efectos del cambio climático. Además, la presencia de un CV elevado puede sugerir que el área ha sido sujeta a cambios en el uso del suelo, como expansión agrícola o urbana, lo que puede influir en la pérdida de cobertura vegetal (Figura 22).

Por otro lado, los valores bajos de CV (22%) de la zona reflejan una vegetación más estable y resiliente, lo que indica que esas áreas han mantenido una cobertura vegetal constante durante el periodo de análisis. Estas zonas pueden representar áreas con menor impacto de factores externos o con mejores condiciones ambientales para sostener una vegetación estable (Figura 24).

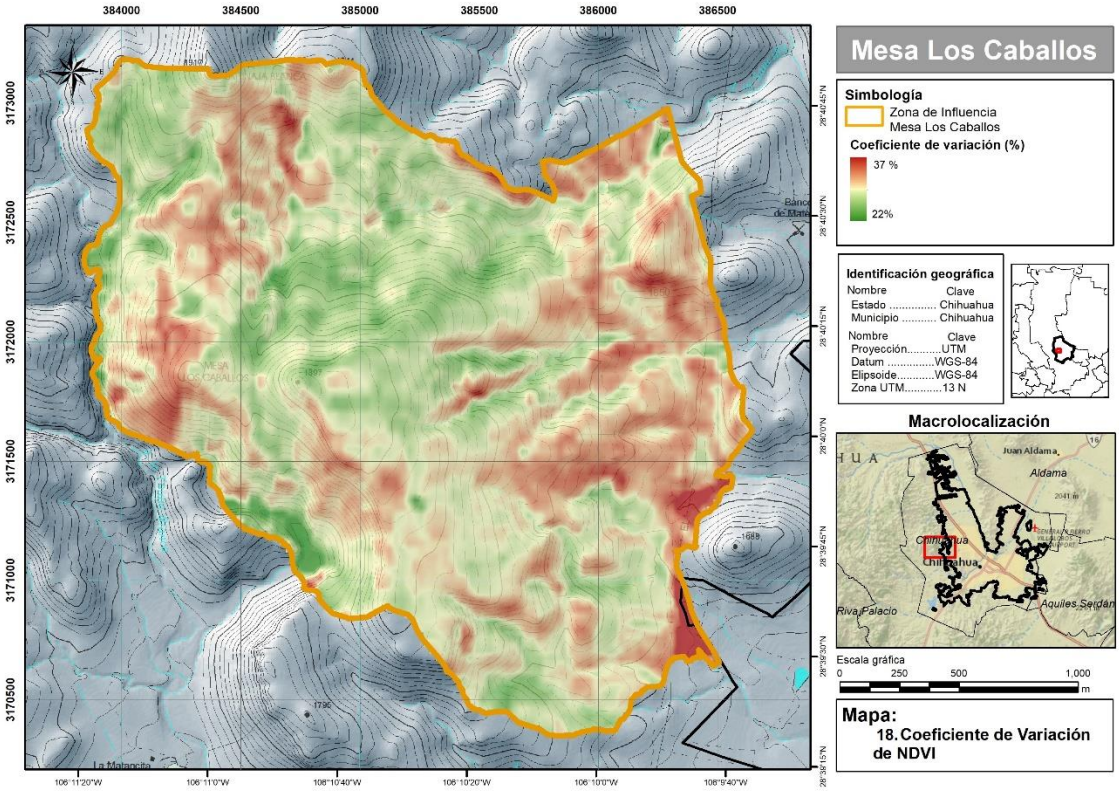


Figura 24. Coeficiente de variación (%) de NDVI de 2013-2024.

Las zonas con tendencia negativa y alta variabilidad (alta desviación estándar y alto coeficiente de variación) representan focos de degradación ecológica, probablemente por disturbios recurrentes como pastoreo intensivo, erosión, incendios o cambio de uso del suelo. Las zonas con tendencia positiva y baja variabilidad relativa son áreas prioritarias para conservación, ya que mantienen resiliencia ecológica y estabilidad estructural en la cobertura vegetal. En particular, en la zona noroeste y oeste de la zona de estudio, se muestra una tendencia positiva del NDVI que indica, en promedio, la vegetación en esa zona ha mostrado una mejora o recuperación en el vigor fotosintético durante el periodo analizado. Sin embargo, en esta misma zona, el alto coeficiente de variación (CV), representado por colores rojos, sugiere que esa tendencia positiva no ha sido constante, sino que ha ocurrido con alta variabilidad relativa entre años. La zona podría estar respondiendo positivamente a años con lluvias excepcionales o eventos de recuperación, pero también presenta años muy secos o degradantes, lo que aumenta la

variabilidad. El incremento promedio del NDVI no es uniforme ni continuo, sino puntual o intermitente.

Con relación a los tres productos derivados del análisis de series temporales del NDVI, tendencia, desviación estándar y coeficiente de variación, se realizó una reclasificación de valores para facilitar su interpretación y representar los mapas continuos mediante categorías interpretables (colores: verde, amarillo y rojo). Aunque los mapas se muestran en escalas continuas por criterios estéticos y de representación cartográfica, las estadísticas de superficie categorizada permiten cuantificar y describir espacialmente los patrones de comportamiento de la vegetación (Cuadro 1).

La tendencia del NDVI (β_1) mostró la evolución del comportamiento fotosintético en el tiempo. Las zonas con mayor estabilidad o ligera recuperación (valores positivos o cercanos a cero, representados en verde) abarcan aproximadamente 61.19 ha. Por otro lado, las áreas con tendencias negativas moderadas a severas (zonas amarillas y naranja-rojas, con valores de -0.0188 a -0.0018) suman 475.25 ha, indicando un proceso generalizado de pérdida de vigor vegetal en la mayoría del territorio.

En cuanto a la desviación estándar del NDVI, aquí se refleja la variabilidad absoluta de la vegetación a lo largo del periodo analizado. Las zonas con menor variación interanual (colores azulados a verde-amarillos), cuya desviación estándar se encuentra entre 0.0697 y 0.1216, abarcan un total de 187.02 ha. Las áreas de mayor variabilidad (zonas rojas y naranja) corresponden a una desviación entre 0.1344 y 0.2006, y representan 188.47 ha, lo que sugiere inestabilidad estacional o respuesta a perturbaciones ambientales.

El coeficiente de variación (CV%), normaliza la variación con respecto a la media, permitiendo identificar zonas donde el comportamiento de la vegetación ha sido más inestable. Las áreas con menor CV% (entre 12.8% y 24.0%, tonos verdes) suman 31.92 ha, mientras que aquellas con alta inestabilidad relativa (valores de 27.9% a 37.5%, tonos rojo-anaranjados) representan 212.68 ha. Estas últimas áreas son prioritarias para investigación adicional, ya que su alta variabilidad puede deberse a cambios en el uso de suelo, incendios o alteraciones climáticas.

Cuadro 1. Superficies categorizadas según la tendencia, desviación estándar y coeficiente de variación del NDVI (2013–2024)

Tendencia NDVI (β_1)	Superficie (ha)	Desviación Estándar	Superficie (ha)	CV(%)	Superficie (ha)
-0.0188 - -0.0087	29.92	0.0697 - 0.1067	60.39	0.1281 - 0.2406	31.92
-0.0087 - -0.0063	142.68	0.1067 - 0.1216	126.63	0.2406 - 0.2619	126.39
-0.0063 - -0.0041	165.66	0.1216 - 0.1344	160.92	0.2619 - 0.2794	165.41
-0.0041 - -0.0018	136.99	0.1344 - 0.1488	132.41	0.2794 - 0.2978	146.60
-0.0018- 0.0097	61.19	0.1488 - 0.2006	56.06	0.2978 - 0.3754	66.08

- **Serie histórica de datos NDVI**

Para evaluar la dinámica de la vegetación en el área de estudio, se generó una serie temporal de NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) utilizando imágenes satelitales de Landsat 8 OLI en el periodo comprendido entre enero de 2013 y diciembre de 2024. Los datos se extrajeron de Google Earth Engine (GEE). La serie temporal de NDVI obtenida permite analizar tendencias en la cobertura vegetal, identificar cambios en la dinámica del ecosistema y evaluar posibles impactos ambientales en la región.

Con el propósito de mejorar la calidad del análisis y evitar distorsiones en los valores de NDVI, se aplicó un filtro de nubes basado en la banda QA_PIXEL, eliminando los píxeles contaminados con nubosidad y sombras. Posteriormente, se calculó el NDVI para cada imagen. Este índice permite evaluar la presencia y vigor de la vegetación, ya que valores cercanos a 1 indican alta actividad fotosintética, mientras que valores negativos reflejan la presencia de agua, suelo desnudo o áreas degradadas.

Para obtener una representación general del comportamiento del NDVI en el área de estudio, se calculó el valor medio de NDVI en cada imagen de la serie temporal. Esto se realizó mediante la función reduceRegion() en GEE, que permitió extraer un valor promedio de NDVI dentro del polígono de estudio. Este procedimiento minimizó la influencia de valores extremos y facilitó el análisis de tendencias en la vegetación a lo largo del tiempo.

Los valores de NDVI fueron extraídos en intervalos de tiempo correspondientes a la disponibilidad de imágenes en Landsat OLI 8, generando una base de datos con las siguientes variables: fecha de adquisición de la imagen y valor medio de NDVI en el área de estudio. Posteriormente, la serie temporal de NDVI se exportó a Google Drive en

formato CSV utilizando la función Export.table.toDrive().

El análisis de la serie temporal de NDVI es una herramienta para el monitoreo ambiental y la gestión de recursos naturales. A través de esta información, es posible detectar tendencias de degradación o recuperación de la vegetación, evaluar impactos climáticos y antrópicos en la cobertura vegetal y analizar cambios a largo plazo en la productividad del ecosistema. Estos datos proporcionan información clave para la toma de decisiones en conservación, restauración ecológica y planificación territorial, asegurando un manejo sustentable de los recursos naturales en la región.

La Figura 25 representa una serie temporal de NDVI desde el 2013 hasta el 2024, mostrando la variabilidad del índice de vegetación a lo largo del tiempo. Se observa que el NDVI presenta fluctuaciones considerables, con picos de valores altos y descensos pronunciados en distintos periodos. Estos picos podrían estar asociados a momentos de máxima cobertura vegetal, como en épocas de mayor precipitación, mientras que los descensos podrían reflejar épocas de sequía, perturbaciones ambientales o cambios en la cobertura del suelo.

La línea punteada representa la tendencia de la serie temporal, la cual muestra una inclinación negativa, lo que sugiere una disminución en la cobertura vegetal a lo largo del periodo analizado. También, se aprecia una alta variabilidad interanual, con incrementos y caídas abruptas, lo que podría indicar que la vegetación en el área de estudio está influenciada por factores climáticos extremos, cambios estacionales o impactos antrópicos (Figura 25).

Particularmente, se identifican altos valores de NDVI en los años 2013 = 0.46, 2014 = 0.5, 2016 = 0.47, 2017 = 0.45, 2021 = 0.57 y 2022 = 0.52, lo que podría estar asociado a eventos favorables para la vegetación, como años con mayor precipitación. En contraste, se observan momentos de valores extremadamente bajos (2021 =0.02, 2023 = 0.03 y 2024 = 0.01), lo que podría reflejar eventos de estrés ambiental, incendios, sequías o cambios en el uso del suelo. La marcada oscilación entre máximos y mínimos también sugiere que la región presenta una alta sensibilidad a factores climáticos o antrópicos, lo que debe ser considerado en estrategias de manejo y conservación.

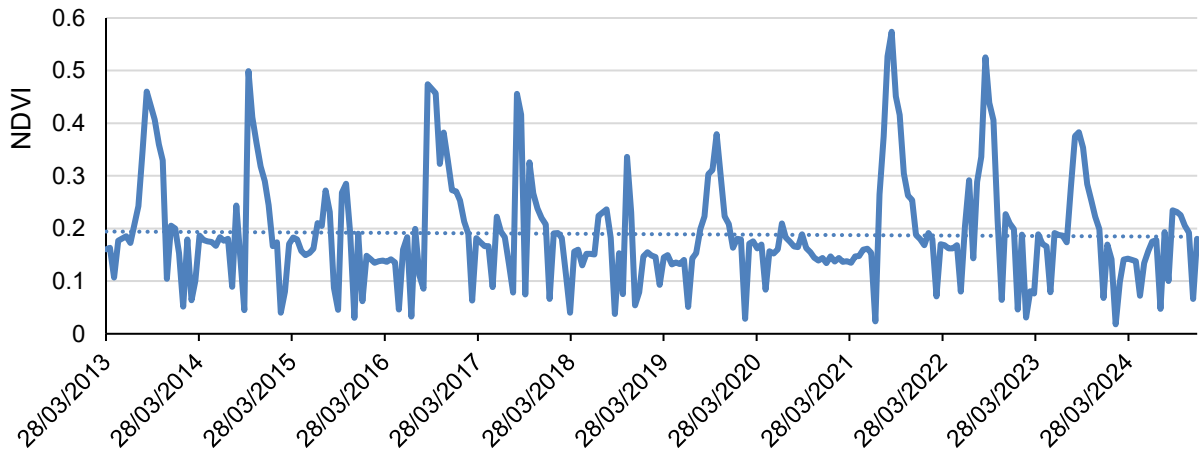


Figura 25. Serie temporal de NDVI de 2013 a 2024.

Caracterización de la Vegetación

La caracterización del paisaje vegetal en el área de estudio se basó en la clasificación oficial del INEGI (Serie VI, escala 1:250,000) y fue complementada mediante observaciones directas durante las visitas de prospección. A partir de este análisis se identificó que el tipo de vegetación predominante corresponde al Matorral Desértico Micrófilo (MDM), una formación típica de zonas áridas con predominancia de especies arbustivas pequeñas adaptadas a condiciones de alta aridez.

Este tipo de vegetación fue validado en campo con base en su fisonomía, estructura y cobertura, permitiendo delimitar áreas homogéneas y establecer una base para el análisis ecológico y funcional del sitio.

- **Levantamiento de flora y fauna**

Como parte del reconocimiento ecológico del área de influencia, se realizó un levantamiento de flora y fauna, con el objetivo de complementar la caracterización del ecosistema y detectar elementos clave de biodiversidad. El trabajo se desarrolló durante las visitas de campo, mediante recorridos sistemáticos en puntos estratégicos previamente definidos por tipo de cobertura y accesibilidad. El levantamiento fue observacional y no exhaustivo. Para la flora, se documentaron las especies dominantes y acompañantes en cada tipo de vegetación, registrando su nombre común, nombre científico, así como estatus. En el caso de la fauna, se utilizó observación directa, registros acústicos y evidencia indirecta (huellas, excretas, madrigueras) para identificar especies de mamíferos, aves y reptiles.

Los registros obtenidos permiten generar una línea base sobre la diversidad biológica del sitio, así como identificar especies con valor ecológico, de conservación o potencial de conflicto con el desarrollo del entorno.

- **Descripción del tipo de vegetación.**

Matorral Desértico Micrófilo (MDM). Este tipo de vegetación se encuentra presente en el total de la superficie del proyecto. Este tipo de matorral se caracteriza por tener una distribución en zonas áridas y semiáridas, se encuentra formado por arbustos de hoja o foliolo pequeño. Se desarrolla principalmente sobre terrenos aluviales más o menos bien drenados y puede estar formado por asociaciones de especies sin espinas, con espinas o mezclados; asimismo pueden estar en su composición otras formas de vida, como cactáceas, izotes o gramíneas.

Análisis de la vegetación

Además, de las métricas estadísticas del NDVI (tendencia, desviación estándar), comportamiento temporal, y el avance en trabajo de campo, se generará una clasificación supervisada de la zona, combinando imágenes Landsat multiespectrales Landsat OLI 8 y 9, correspondientes al año 2024. El procedimiento incluyó la generación de compuestos multibanda para la discriminación de coberturas. Posteriormente, se definieron firmas espectrales representativas de las principales clases de cobertura vegetal y uso del suelo presentes en el área de estudio, con apoyo de información auxiliar. La clasificación resultante permitirá diferenciar categorías como vegetación natural, áreas perturbadas, suelos desnudos y superficies artificializadas. El producto generado consiste en un mapa temático y archivo vectorial de cobertura vegetal y uso del suelo a escala 1:60,000, que proporciona una base actualizada para evaluar el estado de la vegetación, apoyar procesos de monitoreo ambiental y servir de insumo para la delimitación de unidades ambientales y la zonificación ecológica del territorio.

- **Clasificación**

Para generar la cartografía de cobertura de suelo/uso del suelo, se trabajó con una escena satelital del sensor Landsat OLI-8, correspondiente a la trayectoria con columna

33 y fila 41 (33/41). La imagen, se encuentra en formato raster y cuenta con una resolución espacial de 30 metros por píxel, la cual fue adquirida del portal del GloVis del USGS (https://glovis.usgs.gov/). Para la selección de la imagen se consideró la presencia de poca o nula nubosidad (<10%). El sensor OLI cuenta con múltiples bandas espectrales que cubren el espectro visible e infrarrojo. Para este análisis, se utilizaron las bandas del visible (bandas 2, 3 y 4) y del infrarrojo cercano y medio (bandas 5, 6 y 7).

El uso de las bandas del visible (2, 3 y 4) y del infrarrojo cercano y medio (5, 6 y 7) en el análisis de la vegetación es de gran utilidad por su capacidad para captar diferentes propiedades biofísicas de la cobertura terrestre y, en particular, de la vegetación.

Las bandas visibles (banda 2: azul, banda 3: verde, banda 4: rojo) permiten distinguir colores y reflejos característicos de distintos tipos de cobertura. Por ejemplo, la banda roja es especialmente útil para detectar la absorción de clorofila, lo que la convierte en un componente esencial del índice NDVI (implementado anteriormente), al compararse con el infrarrojo cercano.

La banda 5 (infrarrojo cercano) es sensible a la estructura interna de las hojas y al contenido de agua, lo que la hace ideal para identificar vegetación sana y fotosintéticamente activa, ya que refleja fuertemente en este rango del espectro.

Las bandas 6 y 7 (infrarrojo medio) ayudan a detectar estrés hídrico, contenido de humedad en el suelo y vegetación seca o degradada, debido a su sensibilidad a la reflexión de la humedad en la vegetación y el suelo.

Las bandas ayudan a discriminar entre distintos tipos de vegetación, detectar cambios fenológicos, estimar niveles de vigor vegetativo y diferenciar áreas perturbadas o degradadas, lo que resulta útil para generar mapas de cobertura y uso del suelo, así como para monitorear la salud del ecosistema.

- **Corrección radiométrica**

Antes de la clasificación, se llevó a cabo una corrección radiométrica de la imagen para convertir los valores digitales (DN) en reflectancia de superficie. Se utilizó el método DOS1 (Dark Object Subtraction 1), el cual estima y elimina la influencia de la dispersión atmosférica con base en píxeles que representan objetos oscuros (agua, sombra o vegetación densa). Esta corrección se implementó a través del Complemento de

Clasificación Semiautomática (SCP, por sus siglas en inglés) de QGis v.3.30, permitiendo ajustar la reflectancia mediante el cálculo de parámetros como distancia tierra-sol, ángulo cenital solar y radiancia espectral.

- **Composición de bandas y análisis preliminar**

Se llevo a cabo un apilamiento de las bandas de la 2 a la 7, denominado layerstack, el cual permite realizar diversas composiciones en color para analizar la distribución de los tipos de vegetación. Con el layerstack se generaron múltiples combinaciones en color, para resaltar diferencias espectrales entre coberturas. Estas combinaciones permiten una mejor discriminación entre tipos de vegetación.

- **Clasificación supervisada**

La clasificación supervisada se realizó mediante el algoritmo Random Forest (RF), implementado con el paquete randomForest del lenguaje estadístico R (versión 4.4.3). Este método ha mostrado alta precisión en la discriminación de coberturas al considerar tanto las relaciones espectrales como espaciales entre los píxeles. Se definieron 3 clases temáticas, que incluyen: matorrales, pastizales y zona de bosque de encino. Como resultado, se generó un mapa vectorial de cobertura y uso del suelo correspondiente al año 2024, el cual servirá como base para los siguientes apartados.

Modelo de calidad del hábitat

La expansión de las actividades humanas ha provocado una transformación significativa del uso del suelo, caracterizada por fenómenos como la deforestación, la fragmentación del hábitat y la construcción de infraestructura, los cuales afectan directamente la integridad ecológica del paisaje y contribuyen a la pérdida de biodiversidad. En este contexto, uno de los principales desafíos en conservación es mantener la calidad del hábitat frente a las amenazas antropogénicas persistentes. Por ejemplo, el desarrollo de caminos puede actuar como disparador de procesos de degradación, no solo al fragmentar físicamente el hábitat, sino al facilitar el acceso humano, intensificar disturbios y obstaculizar el movimiento natural de especies silvestres.

Para cuantificar geoespacialmente el hábitat, en particular la calidad del hábitat, el modelo de calidad del hábitat del programa InVEST constituye una herramienta diseñada para evaluar la distribución y grado de perturbación del hábitat en función de las distintas

coberturas del suelo y su exposición a amenazas. Este modelo permite identificar las áreas más sensibles y degradadas, ofreciendo un diagnóstico inicial útil para la planeación de acciones de conservación o restauración. Aunque la biodiversidad no se modela directamente como un servicio ecosistémico en InVEST, el enfoque reconoce su importancia al suponer que existe una relación directa entre la calidad del hábitat y la riqueza biológica. Asimismo, se parte de que la calidad del hábitat refleja la cantidad y calidad de los recursos disponibles, y que esta disminuye conforme aumenta la influencia de usos de suelo de origen antrópico, aunque la intensidad de esta disminución varía según el tipo de uso.

Para la implementación del modelo de calidad del hábitat, se utilizaron los siguientes insumos:

- Cartografía de cobertura y uso del suelo.
- Mapas geoespaciales que representan fuentes de amenaza (área urbana, zonas impactadas, caminos, senderos, líneas de transmisión eléctrica (Figura 26-29).
- Una tabla de sensibilidad por tipo de cobertura, donde los valores van de 0 a 1, indicando qué tan vulnerable es cada tipo de cobertura ante distintas amenazas.
- Una tabla de amenazas, donde se define la distancia de influencia de cada amenaza y su impacto relativo, modelado mediante funciones de decaimiento lineal o exponencial.

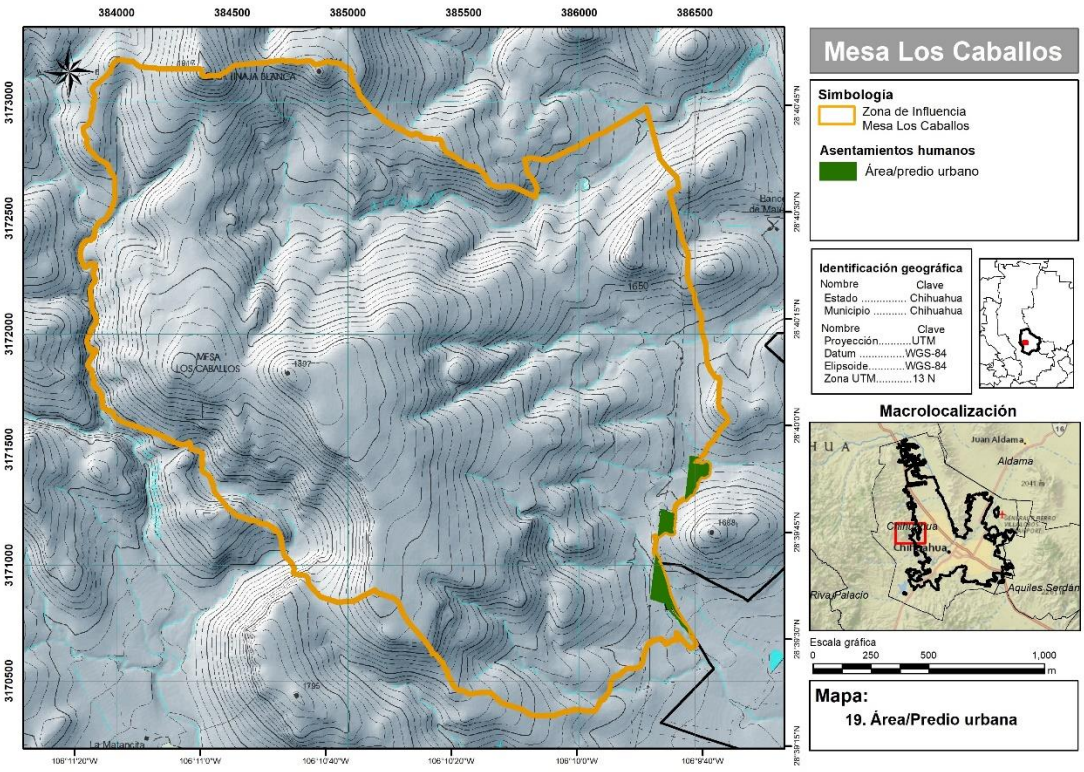


Figura 26. Área/predio urbano.

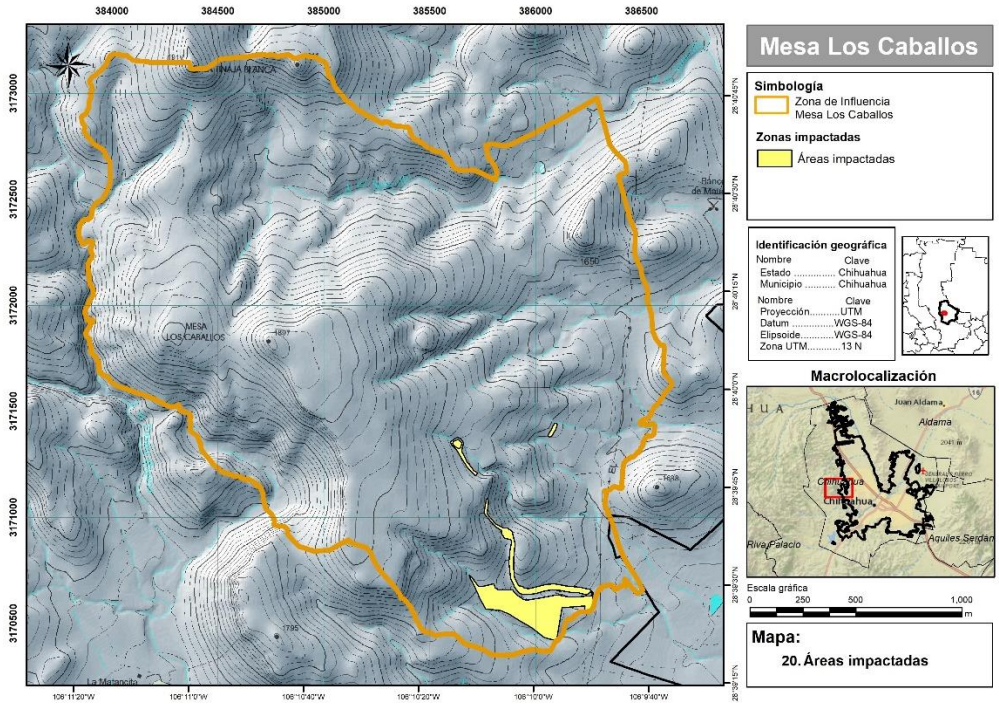


Figura 27. Áreas impactadas por cambio de uso de suelo.

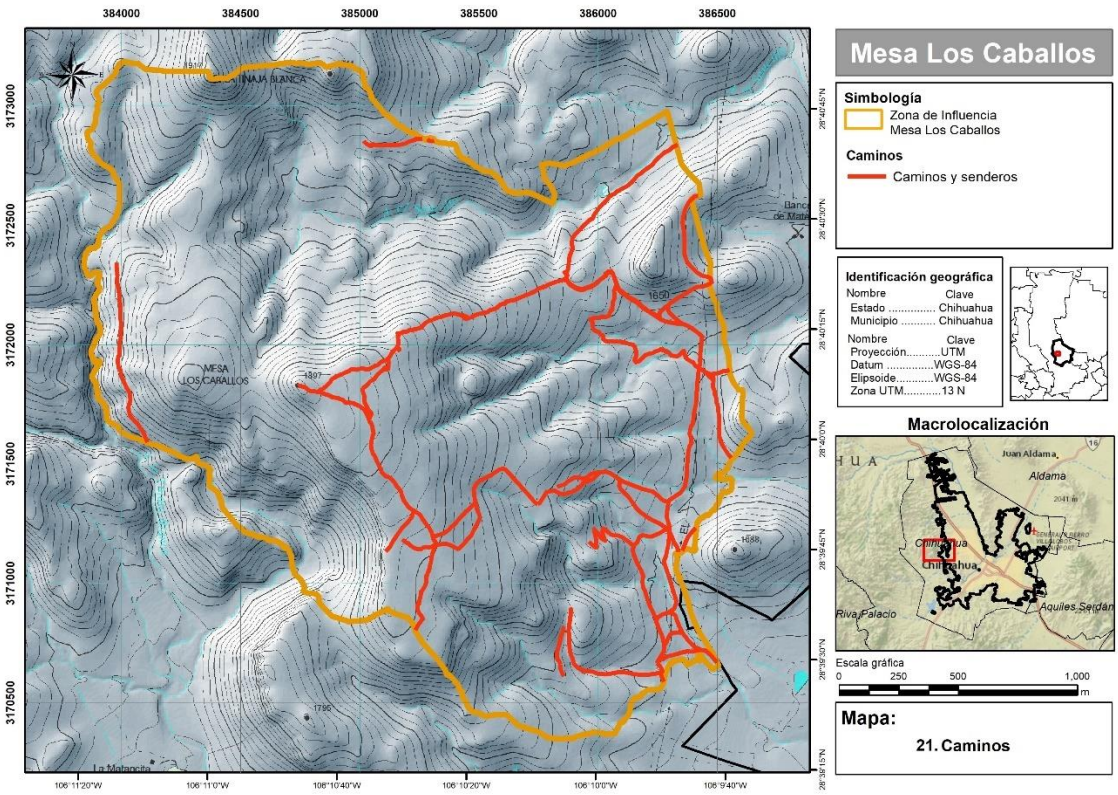


Figura 28. Caminos y senderos

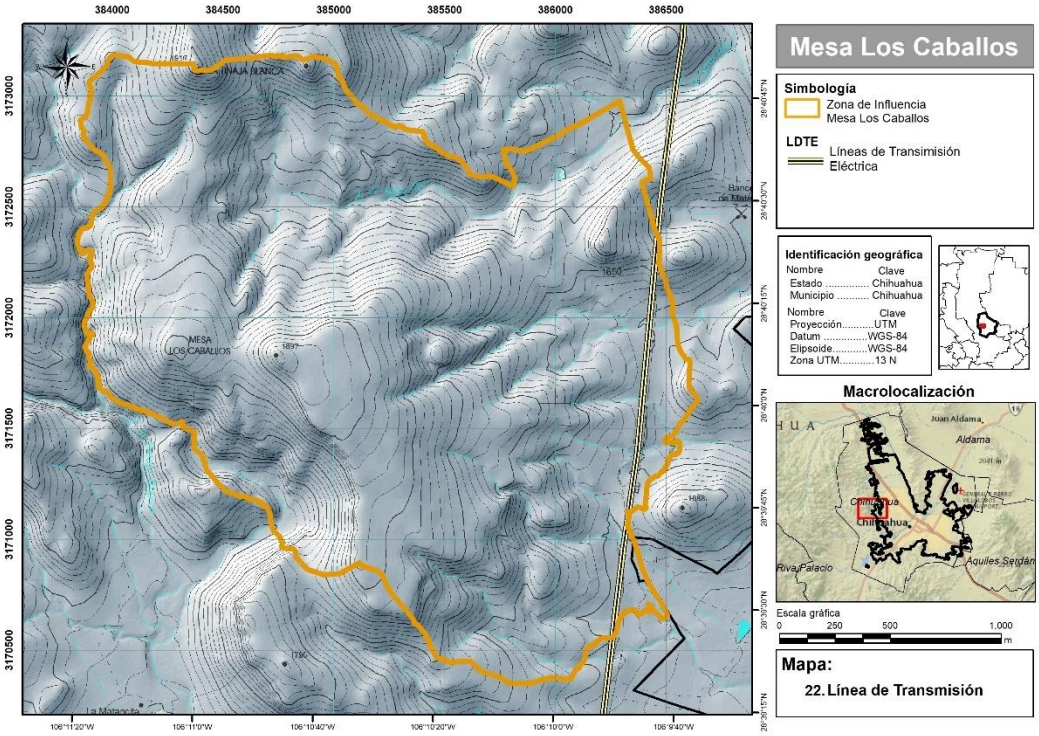


Figura 29. Líneas de transmisión eléctrica.

Las coberturas sin vegetación natural, como asentamientos humanos, fueron asignadas con valores de sensibilidad cercanos a 0, mientras que coberturas naturales (bosques, matorrales, pastizal) recibieron valores cercanos a 1. La intensidad del impacto disminuye con la distancia desde la fuente de amenaza, siguiendo una curva de decaimiento (lineal o exponencial) definida con base en literatura (Aneseyee et al., 2020; Wang et al., 2023), y calibrada en función de condiciones locales mediante observaciones de campo y análisis del contexto regional.

Como salida, el modelo generó un raster de calidad del hábitat y otro de degradación, donde cada píxel representa un valor continuo que refleja la condición relativa del entorno en términos ecológicos. Estos productos permiten identificar zonas críticas para conservación, áreas bajo presión antrópica y posibles corredores biológicos, apoyando la toma de decisiones para la gestión del paisaje.

Como parte del análisis integrado del paisaje, se generó un índice denominado Índice de Importancia del Hábitat, cuyo propósito fue identificar zonas clave que combinan baja presión antrópica con alta productividad vegetal. Este índice se diseñó como una herramienta espacial para priorizar áreas de conservación, restauración o manejo diferenciado dentro del área de estudio. La fórmula empleada para calcular el índice fue:

$$Índice\ de\ Importancia = (1 - \frac{Calidad\ del\ Hábitat}{Calidad\ Máxima}) \times NDVI$$

donde: Calidad del Hábitat representa el valor del píxel derivado del modelo InVEST, Calidad Máxima es el valor máximo de calidad en toda la superficie, NDVI es el índice promedio de vegetación normalizada.

Esta fórmula permitió resaltar zonas con alta cobertura vegetal y bajo nivel de intervención humana. El resultado fue una superficie continua que refleja la importancia ecológica funcional del hábitat, integrando estructura y función ecosistémica.

Modelo de Calidad Escénica del Paisaje

El componente visual del paisaje cumple un papel como servicio ecosistémico en la experiencia humana, ya que está estrechamente ligado al bienestar individual y colectivo. Diversos estudios han documentado cómo el contacto visual con entornos naturales puede generar beneficios psicológicos, emocionales y sociales, además de reflejarse en una mayor preferencia social por paisajes no alterados. En muchas comunidades, las vistas panorámicas y naturales no solo forman parte de la identidad cultural, sino que también influyen en el valor económico del territorio, ya que la calidad

visual del entorno puede aumentar el valor de las propiedades y potenciar el turismo escénico, generando ingresos locales y empleo.

Para generar un modelo espacialmente explicito, se trabajó con el módulo de calidad escénica de InVEST, el cual fue diseñado para cuantificar espacialmente los beneficios visuales que los paisajes proporcionan a las personas, considerando la interacción entre el relieve, la visibilidad y los elementos que afectan la percepción estética. Este modelo calcula qué áreas del paisaje son visibles desde los puntos donde vive o transita la población, y evalúa cómo ciertos objetos (como infraestructura urbana o vial) reducen la calidad visual del entorno. A partir de esta lógica, se generan mapas de calidad escénica que ayudan a identificar qué zonas ofrecen mayor valor visual y cuáles están más expuestas a impactos visuales negativos por nuevos desarrollos.

En este estudio, se aplicó el módulo de InVEST para evaluar cómo la presencia de zonas urbanas, caminos, área urbana y nuevos desarrollos afectan visualmente el área de la zona MLC. La intención fue detectar zonas de alta sensibilidad visual, con el fin de aportar evidencia para la planificación territorial, la conservación del patrimonio escénico y la orientación de actividades turísticas.

Para su implementación, el modelo utilizó los siguientes insumos:

- La delimitación del área de influencia de la MLC.
- Un MDE de alta resolución para calcular la visibilidad según la topografía.
- Un conjunto de objetos u obstáculos visuales (área urbana, caminos, líneas de transmisión eléctrica) que afectan la experiencia escénica.
- Un raster de población, que indica desde dónde se valora visualmente el paisaje.
- El tamaño de celda se definió en 5 metros, en concordancia con el resto de insumos raster del proyecto.
- Un coeficiente de refractividad atmosférica, que permite simular la distorsión visual generada por condiciones atmosféricas estándar.

El modelo genera un mapa raster con valores continuos de calidad escénica, en el que cada celda refleja el grado en que el paisaje es valorado visualmente desde ubicaciones pobladas o transitadas. Estos resultados permiten identificar paisajes prioritarios para la conservación visual, planear el trazado de caminos escénicos que no interfieran con la experiencia del visitante, y evaluar el impacto visual de futuras

infraestructuras en zonas de alta sensibilidad.

La calidad escénica no solo se considera un componente estético del paisaje, sino también un atributo funcional que incide en la calidad de vida, la identidad territorial y la economía local. Por tanto, su análisis resulta relevante en estrategias integrales de ordenamiento ecológico y gestión del paisaje.

El modelo de calidad escénica de InVEST genera dos productos principales: visibilidad paisajística y calidad visual, los cuales ofrecen distintas formas de representar la visibilidad del paisaje y su impacto en la calidad visual. Aunque ambos productos derivan del mismo proceso de análisis espacial, difieren en su tipo de información, su escala de medición y su utilidad analítica.

La visibilidad paisajística es un producto de tipo continuo, en el cual cada celda contiene un valor numérico que representa la cantidad total de estructuras o elementos visualmente impactantes que son visibles desde ese punto específico del paisaje. Es decir, este raster cuantifica directamente la visibilidad acumulada, permitiendo identificar las zonas con mayor o menor exposición visual. Por ejemplo, una celda con valor 120 indica que desde ese punto se observan 120 estructuras que afectan la calidad visual. Este tipo de raster es especialmente útil para análisis comparativos entre escenarios, evaluación técnica de presión visual o como insumo cuantitativo dentro de modelos de evaluación multicriterio.

Por otro lado, la calidad visual es una representación categórica, diseñada para facilitar la interpretación cualitativa del paisaje. A diferencia del anterior, no muestra la cantidad exacta de estructuras visibles, sino que clasifica cada celda del paisaje en una de cinco categorías ordinales: no afectado (valor 0), alta calidad visual (1), calidad media (2), baja calidad (3) y muy baja calidad escénica (4). Esta clasificación se realiza con base en los cuartiles de los valores de visibilidad paisajística, lo que permite generalizar los patrones de visibilidad en términos de impacto visual. Como resultado, la calidad visual es particularmente útil para la elaboración de mapas temáticos, propuestas de zonificación visual, y como herramienta de comunicación para tomadores de decisiones, ya que sintetiza información compleja en una escala fácilmente interpretable.

Identificación de impactos y jerarquización

Para evaluar los impactos ambientales en el área de estudio, se realizaron visitas a campo accediendo por la entrada ubicada entre el Instituto Superior de Arquitectura y Diseño y el Fraccionamiento Valle de Mercia, Durante el recorrido, se identificó que uno

de los puntos de mayor elevación (1897 m) es comúnmente referido por la ciudadanía como Cerro del Caballo (Mesa de los Caballos), siendo un sitio frecuentado para actividades recreativas como senderismo y trote (Figura 30). Sin embargo, un análisis cartográfico más detallado reveló una discrepancia en la asignación del nombre, ya que la verdadera ubicación de la Mesa de Los Caballos (MLC) se encuentra más al oeste de la zona marcada en Google Maps (https://maps.app.goo.gl/qU6B69uN9oQ6FgrP6).

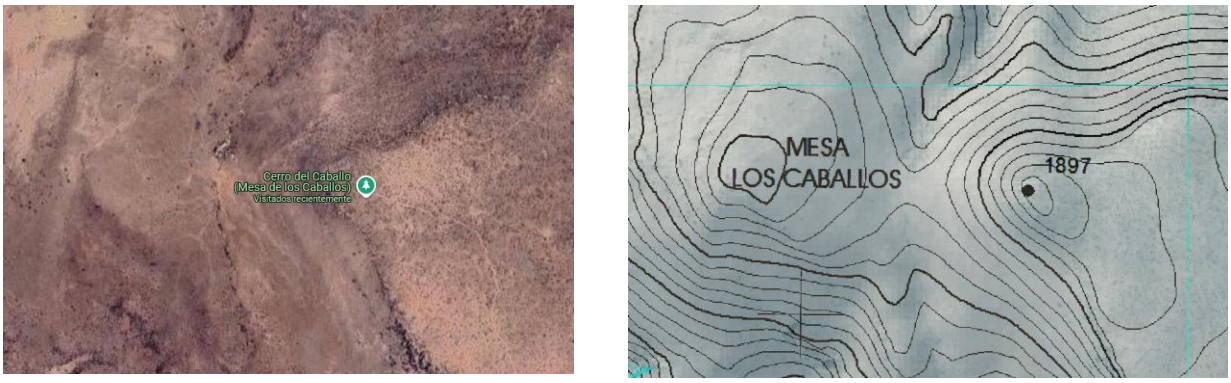


Figura 30. Error de asignación de nombre. Izquierda Google Maps, Derecha Carta Topográfica INEGI 1:20,000.

Durante la inspección en campo, se registraron fotográficamente diversos impactos ambientales en el área de influencia de la MLC, los cuales afectan la estabilidad ecológica y la conservación del ecosistema. Los principales impactos identificados fueron los siguientes:

- Incendios

  Se documentó la afectación de diversas especies de vegetación, incluyendo cactáceas, encinos y yucas, las cuales presentaban signos de daño severo por incendios. La recurrencia de estos eventos puede estar asociada a prácticas humanas, condiciones climáticas extremas y acumulación de material combustible, lo que incrementa el riesgo de degradación del ecosistema.

- Caminos y Senderos

  Se observó la modificación del terreno natural debido a la apertura de senderos y caminos, lo que fragmenta la cobertura vegetal y facilita procesos erosivos. La falta de planificación en la construcción de estos accesos puede acelerar la degradación del suelo y aumentar el impacto sobre la biodiversidad local.

- Contaminación

  Se identificaron residuos sólidos incluyendo materiales de construcción, lo que

representa un riesgo para la fauna silvestre y la calidad del suelo. La contaminación en espacios naturales no solo degrada el paisaje, sino que también afecta los ciclos ecológicos y la funcionalidad del ecosistema.

- Vehículos Abandonados

  La presencia de vehículos abandonados contribuye a la contaminación visual y de suelos, ya que estos pueden liberar sustancias tóxicas como aceites y metales pesados, generando impactos negativos en la calidad del suelo y el agua.

- Tala Clandestina

  Se detectaron evidencias de extracción ilegal de madera, lo que pone en riesgo la regeneración natural del bosque y afecta el equilibrio ecológico de la zona. La tala no controlada altera los servicios ecosistémicos, como la captura de carbono y la conservación del suelo, además de afectar a las especies que dependen del bosque como hábitat.

- Zonas de Castigo por Actividad Ganadera

  Se identificaron áreas afectadas por el sobrepastoreo, donde la vegetación ha sido severamente degradada debido a la presión ganadera. Estas "zonas de castigo" se caracterizan por la compactación del suelo, reducción de la cobertura vegetal y disminución de la biodiversidad, generando un desequilibrio en la estructura del ecosistema.

A partir de la inspección en campo, se estableció una propuesta de jerarquización de los impactos ambientales observados en función de su intensidad, alcance espacial, persistencia en el tiempo y tipo de afectación (ecológica, visual, funcional). Esta jerarquía se fundamentó en, la recurrencia del impacto y su relación con procesos de fragmentación, pérdida de cobertura, contaminación o degradación del suelo.

Zonificación Ambiental

Con un enfoque integrador, se llevó a cabo un proceso de zonificación morfológica-ambiental a partir de la síntesis de los principales resultados obtenidos en las distintas etapas del proyecto. El propósito fue delimitar zonas prioritarias para la conservación ecológica, el manejo sustentable y el uso restringido, con base en las condiciones físico-ambientales del territorio y en concordancia con los principios del ordenamiento ecológico y territorial establecidos en la normativa vigente.

Para ello, se implementó una evaluación multicriterio espacial (EMC) en ambiente

SIG, combinando de forma jerarquizada y ponderada el conjunto de insumos generados. Entre los criterios considerados se encuentran:

- Modelo morfológico: capas raster derivadas de pendiente, altitud, orientación y formas del terreno (landforms), que representan la estructura fisiográfica y permiten evaluar la susceptibilidad a procesos erosivos o de degradación.
- Microcuencas o microdrenajes: unidades hidrológicas generadas mediante análisis morfométrico (índice de compacidad, elevación media, densidad de drenaje), las cuales aportan información clave para la identificación de áreas con función reguladora o vulnerabilidad hídrica.
- Cobertura y uso del suelo: cartografía temática obtenida a partir de imágenes Landsat 8/9 OLI, clasificada en categorías como vegetación natural, cambio de uso, matorral, bosque y áreas desprovistas de vegetación.
- Calidad del hábitat: resultado del modelo de InVEST, que indica la condición ecológica relativa de cada celda, reflejando el grado de conservación y presión antrópica.
- Importancia del hábitat: índice derivado de la combinación entre el valor de calidad del hábitat y el NDVI promedio, utilizado para resaltar zonas con alta vitalidad ecológica y baja perturbación estructural.
- Visibilidad paisajística: producto generado con el módulo Scenic Quality de InVEST, que cuantifica el número de estructuras visibles desde cada punto del territorio, identificando zonas con mayor presión visual.
- Calidad visual: raster categorizado en niveles de 0 a 4, que clasifica la calidad escénica del paisaje según la acumulación de impactos visuales, útil para valorar atributos paisajísticos en procesos de planeación.

- Estandarización

Los insumos temáticos considerados en el análisis fueron reclasificados y estandarizados a una escala ordinal común de 1 a 5, con el propósito de homogenizar variables de distinta naturaleza. En esta escala, el valor 1 representa condiciones desfavorables para la conservación, asociadas a alta fragilidad, vulnerabilidad ambiental o elevado nivel de perturbación antrópica, mientras que el valor 5 corresponde a condiciones óptimas de conservación, con alta aptitud ecológica, integridad ambiental y bajo nivel de presión.

La estandarización se realizó dependiendo del tipo de variable, por ejemplo, para capas continuas como calidad del hábitat, se aplicaron rangos de cuantiles o intervalos naturales, mientras que, para capas categóricas, como el modelo morfológico o la cobertura de suelo se asignaron valores discretos en una escala ordinal del 1 al 5. En el caso de la cobertura de suelo, se aplicó una clasificación cualitativa que consideró tanto la función ecológica de cada tipo de cobertura como su grado de transformación antrópica. De esta manera, coberturas naturales como bosque y matorral se clasificaron en los niveles más altos por su aporte a la conservación y su baja intervención, mientras que los pastizales presentaron un valor intermedio al combinar funciones ecológicas relevantes con mayor susceptibilidad al uso humano. Por el contrario, las áreas urbanas o impactadas fueron ubicadas en las categorías más bajas, al reflejar un alto nivel de transformación y pérdida de funcionalidad.

Esta transformación fue un paso clave para la integración comparativa de los insumos en el modelo de evaluación multicriterio espacial, permitiendo su combinación bajo una lógica común en la que cada factor contribuye diferencialmente a la determinación de zonas prioritarias para conservación, restauración o manejo.

- **Ponderación y combinación**

Por otro lado, para integrar los insumos estandarizados dentro de un modelo de evaluación multicriterio espacial (EMC), se asignaron pesos relativos a cada uno de los criterios temáticos a través del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), propuesto por Saaty (1980). Esta metodología permite traducir juicios cualitativos en valores numéricos que reflejan la importancia relativa de cada factor en función del objetivo del estudio. Se construyó una matriz de comparaciones pareadas, en la cual cada par de criterios fue evaluado con base en su contribución relativa al objetivo, utilizando la escala de Saaty (valores de 1 a 9). Esta matriz (Anexo 3) fue evaluada, considerando aspectos funcionales, ecológicos y paisajísticos. A partir de esta matriz, se calcularon los vectores de prioridad normalizados (pesos), los cuales reflejan la importancia relativa de cada criterio dentro del modelo.

Estos pesos fueron posteriormente combinados en un modelo mediante un análisis de superposición ponderada (weighted overlay) en ambiente SIG, permitiendo generar la superficie integrada de zonificación ambiental con base en la jerarquía de

criterios y sus niveles de aptitud estandarizados. El valor del CR de la matriz de comparaciones fue de 0.079.

El resultado fue un mapa de zonificación ambiental-morfológico con tres clases principales:

- Zonas de conservación: áreas con alta sensibilidad ecológica, pendientes pronunciadas, alto valor de hábitat o escénico, y función hidrológica clave.
- Zonas de uso sustentable: sectores donde pueden desarrollarse actividades productivas o de aprovechamiento bajo criterios de manejo ambiental adecuado.
- Zonas de desarrollo restringido: espacios con condiciones limitantes o riesgos, donde se debe evitar o condicionar el desarrollo urbano, agrícola o de infraestructura.

Este producto consiste en un mapa vectorial de zonificación, que constituye una herramienta para toma de decisiones ambientales, y la elaboración de instrumentos de planeación local y regional. Su diseño se alinea con los principios de sustentabilidad, conservación de recursos.

Política Ambiental

Con el objetivo de integrar el marco normativo vigente y fortalecer el análisis territorial del área de estudio, se incorporó la Zonificación Secundaria correspondiente al Plan de Desarrollo Urbano (PDU) 2024, Séptima Actualización, proporcionada por el Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua (IMPLAN). Esta zonificación delimita y clasifica el uso de suelo con base en criterios de planificación urbana, estableciendo restricciones y lineamientos específicos para cada tipo de zona.

Se realizó la intersección espacial de dicha capa con el polígono delimitado del área de influencia de la Mesa de Los Caballos, con el fin de conocer las proporciones relativas de cada uso de suelo dentro del área de estudio. Se identificaron 11 clases de uso, entre las cuales destacan las categorías de “Preservación Ecológica” (PE) con 349.55 ha, “Equipamiento General” (EQM) con 61.01 ha, y “Habitacional H35” con 55.68 ha, entre otras (Figura 31).

La información se representó cartográficamente mediante simbología temática, generando un mapa que visualiza la distribución espacial de los usos del suelo al interior de la zona de influencia, permitiendo identificar posibles conflictos potenciales entre zonas de conservación ecológica y desarrollo urbano (Figura 32).

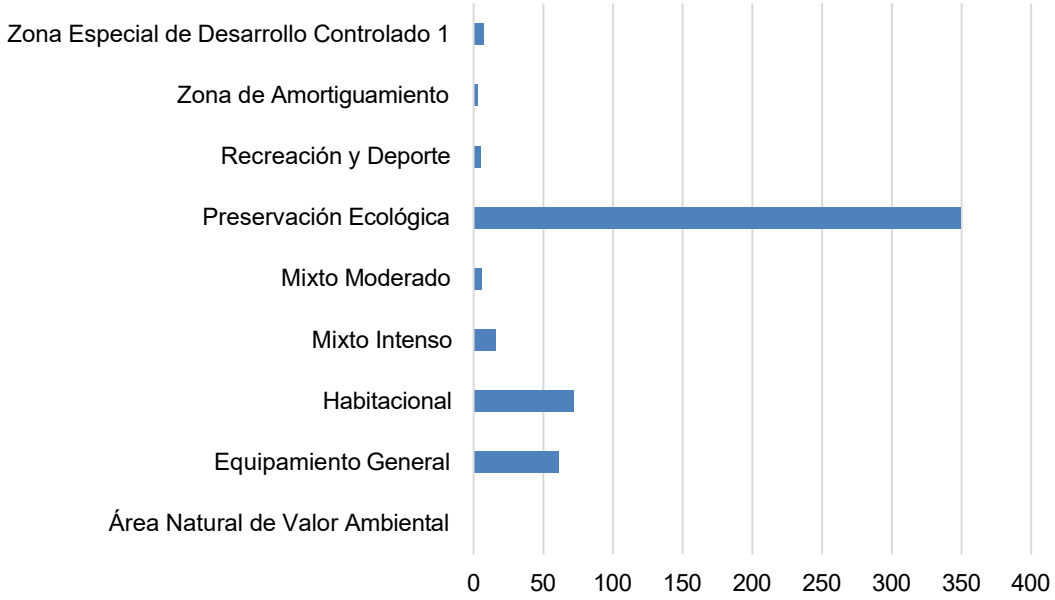


Figura 31. Superficies en hectáreas por uso de suelo, con base en la Zonificación secundaria del Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Chihuahua visión 2040, Séptima Actualización 2024.

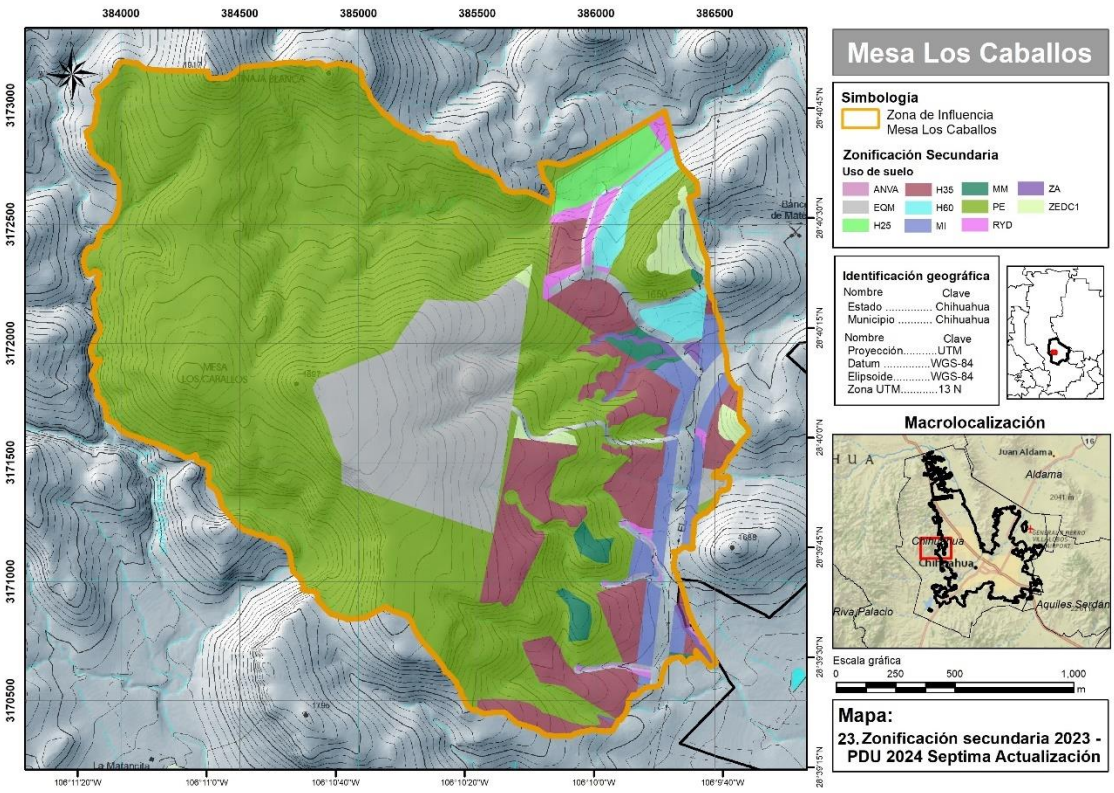


Figura 32. Zonificación Secundaria del Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Chihuahua visión 2040, Séptima Actualización 2024.

Evaluación de Conflictos entre Zonificación Ambiental Morfológica y Política de Uso de Suelo

Para identificar compatibilidades, contradicciones o conflictos entre la aptitud ecológica del territorio y las políticas actuales de ocupación del suelo, se implementó un análisis espacial cruzado entre la Zonificación Ambiental-Morfológica y la Política Ambiental Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Chihuahua visión 2040, Séptima Actualización 2024. Este procedimiento se desarrolló en tres etapas:

1. Cruce espacial de capas vectoriales

Se realizó una operación de sobreposición (Overlay Analysis) entre la cartografía raster de la zonificación ambiental morfológica, resultado de la evaluación multicriterio ponderada, la cual fue previamente convertida a formato vectorial, y el archivo vectorial del Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Chihuahua visión 2040, Séptima Actualización 2024. Esta operación permitió generar una nueva capa geoespacial con los atributos combinados de ambas capas, estableciendo la correspondencia espacial entre el potencial ecológico de cada celda y la designación normativa de uso de suelo.

2. Clasificación cualitativa de atributos

Para facilitar la interpretación, se clasificaron ambas capas temáticas bajo criterios cualitativos:

La Zonificación Ambiental-Morfológica se reclasificó en cinco niveles de idoneidad ecológica (Muy Baja, Baja, Moderada, Alta, Muy Alta), representando gradientes de fragilidad ambiental, aptitud ecológica y presión visual sobre el paisaje.

La Zonificación del PDU se organizó en cuatro grandes grupos funcionales:

a) Conservación (Preservación Ecológica, Área Natural de Valor Ambiental), las cuales, apoyan la protección de ecosistemas y servicios ambientales.
b) Transición (Recreación y Deporte, Zona de Amortiguamiento), ya que permiten cierto grado de aprovechamiento sin perder su papel ecológico y social.
c) Desarrollo (Habitacional, Mixto, Equipamiento), orientados a la consolidación urbana y crecimiento poblacional, con mayores niveles de transformación del paisaje.
d) Expansión (Zona Especial de Desarrollo Controlado), destinada a la urbanización futura según el PDU.

Esta clasificación permitió homogeneizar el análisis entre dos capas originalmente heterogéneas.

3. Matriz de compatibilidad

Se diseñó una matriz de compatibilidad cruzada entre las clases de Zonificación Ambiental-Morfológica y las categorías del PDU (Cuadro 2). La matriz asigna una condición cualitativa a cada combinación, identificando:

Cuadro 2. Matriz de compatibilidad cruzada.

ZAM / PDU	Conservación	Transición	Desarrollo	Expansión
Muy Alta (5)	Compatible	Bajo impacto	Conflicto alto	Inviable
Alta (4)	Compatible	Compatible	Conflicto medio	Alto impacto
Media (3)	Compatible	Compatible	Mitigación	Riesgoso
Baja (2)	Condicional	Compatible	Mitigación	Riesgoso
Muy Baja (1)	Restauración	Aceptable	Mitigación	Compatible

ZAM= Zonificación Ambiental-Morfológica

La descripción de las condicionantes se describe a continuación:

Compatible, se refiere a zonas donde el uso propuesto coincide con la vocación y aptitud ambiental del sitio, sin generar presiones sobre los ecosistemas. No obstante, esta compatibilidad no implica que sea indispensable someter futuros proyectos a revisión por parte de las instancias ambientales y de ordenamiento territorial correspondientes, así como elaborar estudios técnicos específicos, tales como evaluaciones de impacto ambiental, planes de manejo, análisis de conectividad ecológica o estudios hidrológicos. Su gestión debe orientarse a mantener o mejorar las condiciones actuales del entorno.

Aceptable, define áreas donde el uso del suelo propuesto puede ser viable bajo ciertas condiciones de manejo o mitigación, sin generar conflictos mayores, pero puede generar impactos moderados o requerir medidas de mitigación específicas. Su implementación debe estar sujeta a evaluación detallada, incluyendo la posible modificación del diseño, límites espaciales o intensidad de uso, y la presentación de estudios técnicos que demuestren la viabilidad ambiental y funcional de proyectos.

Condicional, zonas con compatibilidad parcial, donde la viabilidad del uso está sujeta al cumplimiento de criterios técnicos, normativos o de restauración. Estas áreas requieren la aplicación de medidas preventivas y correctivas antes de autorizar intervenciones, como revegetación, control de escorrentía o adecuaciones al diseño del

proyecto. El uso solo será posible si las acciones propuestas no comprometen la integridad ecológica ni el equilibrio funcional del paisaje.

Mitigación: Zonas ambientalmente transformadas que, donde deben gestionarse bajo un enfoque precautorio. La implementación de actividades está condicionada a la elaboración de evaluaciones de impacto ambiental, medidas específicas de restauración ecológica y estrategias de mitigación orientadas a reducir los efectos sobre la conectividad ecológica, la calidad escénica del paisaje y la estabilidad morfológica del terreno. Estas zonas requieren atención activa de las autoridades y deben formar parte de esquemas de planificación ambiental estratégica.

Restauración, indica áreas que, por su nivel de degradación o pérdida funcional, requieren ser recuperadas antes de asignar nuevos usos. El enfoque debe ser regenerativo. Estas áreas deben ser priorizadas en programas de recuperación ambiental, revegetación, control de erosión o mitigación de impactos pasados, entendidos como las acciones dirigidas a revertir o atenuar los efectos de actividades históricas, tales como la apertura de vialidades, la extracción de materiales, desmontes o cambios de uso de suelo no regulados. Cualquier intervención debe enfocarse exclusivamente en su recuperación funcional y paisajística.

Conflicto, áreas en las que el uso del suelo propuesto contradice la aptitud y funcionalidad ambiental identificadas. El desarrollo en estas zonas representaría una afectación severa a los procesos ecológicos, geomorfológicos o paisajísticos, explorar alternativas más sostenibles o bien excluir temporalmente su transformación hasta que se definan medidas integrales de ordenamiento y conservación.

Riesgoso, Zonas ambientalmente frágiles o físicamente vulnerables, donde el uso propuesto puede derivar en impactos significativos o irreversibles, aunque no sea incompatible por definición. Los riesgos pueden estar asociados a pendientes elevadas, visibilidad crítica, pérdida de cobertura vegetal o baja calidad del hábitat. Estas áreas deben ser objeto de evaluación detallada por parte de autoridades técnicas competentes, considerando los costos ambientales y sociales de su transformación, así como la necesidad de aplicar medidas de adaptación o cambio de uso.

Estas condicionantes permiten establecer niveles de prioridad, intervención y regulación, promoviendo un enfoque de planificación territorial integrado, que articule la conservación con un desarrollo urbano responsable.

Resultados

Modelo morfológico

Como resultado del análisis espacial integrado de las variables Geoformas, Pendiente, Exposición y Altitud, se generó una primera base compuesta por 219 combinaciones morfofísicas únicas, correspondientes a la intersección de estos cuatro factores del medio físico. Esta matriz de combinaciones representó con alto nivel de detalle la variabilidad topográfica y morfológica del área de estudio.

Luego de la generación de las 219 unidades morfofísicas se implementó un procedimiento de integración de variables clave del medio físico para generar unidades funcionales topográficas. La metodología partió de la concatenación en tabla de atributos de las cuatro variables extraídas a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE) y análisis morfométrico:

- Landform (Formas del terreno): se clasificaron en siete tipos representativos del área (como cañones, laderas abiertas, crestas, drenajes, mesetas, valles en U y cimas).
- Pendiente: reclasificada en cinco rangos (Muy plano, Plano, Moderadamente inclinado, Inclinado, Muy inclinado).
- Exposición (orientación solar): en cinco categorías cardinales (Norte, Sur, Este, Oeste y Zénit).
- Altitud: categorizada en cinco intervalos altitudinales derivados del MDE (desde 1569 hasta 1918 m.s.n.m.).

Con el fin de facilitar su interpretación y entender dicha complejidad en una herramienta de planificación, se procedió a reclasificar estas combinaciones en zonas funcionales del territorio. La reclasificación se implementó mediante programación en el módulo de cálculo de campos de ArcMap (Field Calculator), utilizando lenguaje VBScript, lo que permitió evaluar cada combinación específica con base en sus condiciones. Se sintetizaron las 219 combinaciones en ocho zonas funcionales principales topográficas, cada una con criterios específicos de manejo, conservación o regulación:

El resultado fue la delimitación de siete zonas funcionales morfofísicas, las cuales agrupan las combinaciones según su morfología, grado de pendiente, orientación de la ladera y altitud relativa. Las zonas obtenidas fueron:

- Zona de conservación ecológica: comprende principalmente cimas, mesetas y

laderas superiores en altitudes elevadas, con valor ecológico y potencial para conectividad biológica.

- Zona de protección por fragilidad: dominada por cañones y cauces profundamente encajonados con pendientes elevadas, que presentan susceptibilidad a procesos erosivos.
- Zona de conservación moderada: incluye laderas con pendiente intermedia y orientación favorable, ubicadas en altitudes medias, con potencial para conservación bajo criterios de manejo activo.
- Zona de regulación hídrica: integrada por drenajes de ladera con pendiente baja y altitud inferior, importantes para el manejo de escurrimientos y servicios hidrológicos.
- Zona de restauración: áreas localizadas en valles en forma de U y drenajes intervenidos, que presentan condiciones para procesos de recuperación del ecosistema.
- Zona de uso restringido: comprende crestas, colinas y relieves intermedios, de importancia ecológica y visual, donde el desarrollo debe limitarse.
- Zona de manejo especial por pendiente: territorios con pendientes inclinadas o muy inclinadas, que requieren intervención dirigida para control de erosión y conservación de suelo.

Estas siete zonas funcionales cubren la totalidad del área de estudio y reflejan la heterogeneidad del paisaje físico, permitiendo identificar áreas prioritarias para conservación, restauración, uso productivo o manejo especial. La representación cartográfica derivada de esta zonificación se muestra en la Figura 33.

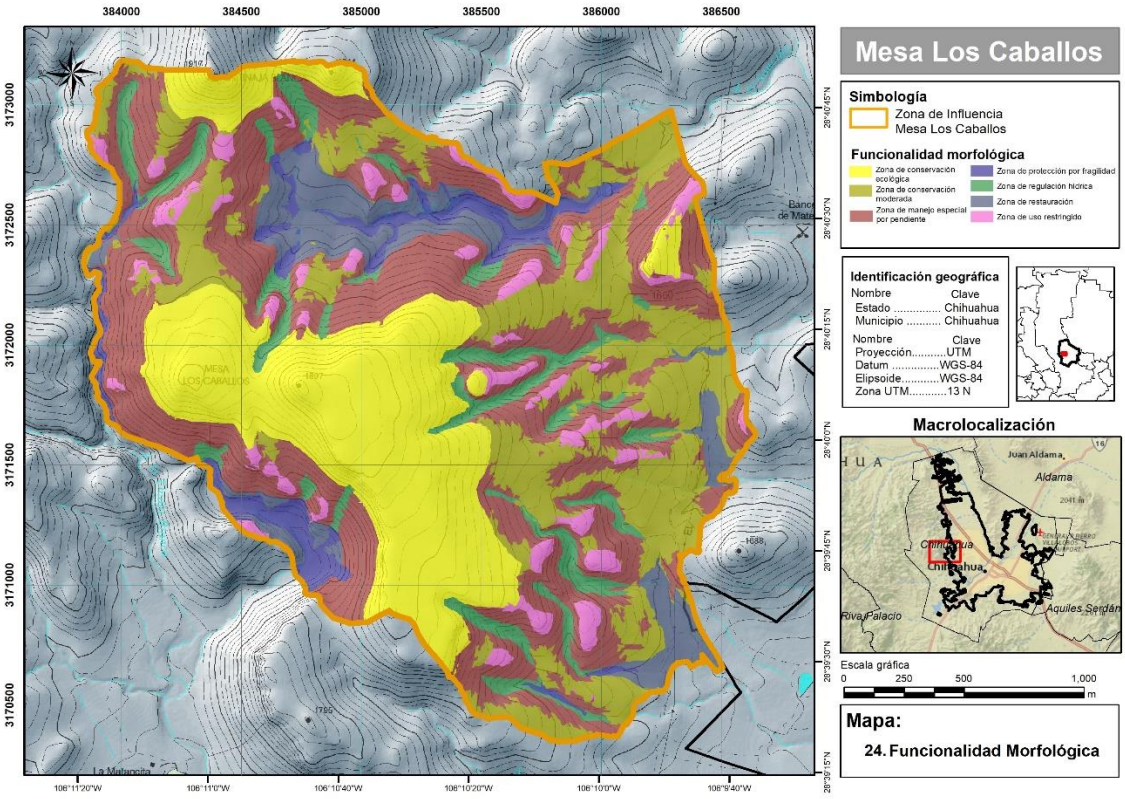


Figura 33. Funcionalidad morfológica

La funcionalidad del paisaje resultó en la delimitación de siete unidades morfológicas principales, cuya superficie refleja tanto la estructura del relieve como las condiciones físicas que influyen en su fragilidad o potencial ecológico. A continuación, se describe la distribución de superficie y su implicación:

Zona de manejo especial por pendiente (170.05 ha). Es la zona con mayor cobertura en el área de estudio. Su predominancia indica que una proporción significativa del territorio presenta pendientes marcadas, lo cual limita su aprovechamiento intensivo. Esta condición implica la necesidad de establecer medidas específicas de conservación de suelos, control de escorrentías y manejo para evitar procesos erosivos o degradación.

Zona de conservación ecológica (127.80 ha). Su extensión representa una oportunidad valiosa para la protección de servicios ecosistémicos. Estas áreas, mayormente ubicadas en altitudes elevadas o zonas estratégicas del paisaje, tienen alta relevancia en términos de biodiversidad, conectividad ecológica y regulación hídrica. Su gran superficie favorece la implementación de estrategias de conservación de gran escala o reservas naturales.

Zona de conservación moderada (109.69 ha). Esta zona intermedia en superficie agrupa áreas con condiciones físicas más estables. Su tamaño relativamente amplio indica un buen potencial para establecer usos sostenibles compatibles con la conservación, como ganadería extensiva, sistemas silvopastoriles o turismo de bajo impacto, siempre bajo esquemas de manejo.

Zona de restauración (39.03 ha). Aunque de menor extensión relativa, su presencia es significativa. Representa áreas degradadas o alteradas que pueden estar afectando funciones ecológicas clave. El tamaño de esta zona implica que existen oportunidades claras para aplicar proyectos de restauración y reconversión ecológica, especialmente en corredores fluviales o zonas transicionales.

Zona de regulación hídrica (37.01 ha). Su superficie está asociada a drenajes y áreas con funciones hidrológicas. Aunque no es la más extensa, su importancia no radica en el tamaño, sino en su función estratégica para el manejo del agua, control de escorrentía y protección de cuerpos de agua. Su delimitación permite orientar acciones de conservación hídrica y manejo de cauces.

Zona de uso restringido (27.68 ha). Su menor superficie refleja la naturaleza puntual de estas formaciones (crestas, colinas) que, aunque no extensas, tienen un papel importante como elementos de conectividad, visuales de paisaje o refugios de fauna. Su tamaño reducido no minimiza su importancia funcional ni su vulnerabilidad ante el cambio de uso de suelo.

Zona de protección por fragilidad (24.17 ha). Esta es la zona con menor superficie, pero de alta prioridad en términos de manejo. Su tamaño limitado refleja la naturaleza específica de estas unidades (como cañones o laderas abruptas), pero también su sensibilidad extrema. Cualquier intervención en estas zonas puede detonar procesos de degradación acelerada, por lo que su manejo debe ser altamente restrictivo y conservacionista.

La distribución de superficie no solo refleja condiciones morfológicas, sino también diferencias de sensibilidad ambiental y requerimientos de manejo. Las zonas más extensas no necesariamente son las de mayor prioridad ecológica, mientras que algunas de menor extensión pueden tener funciones críticas para la estabilidad del paisaje y los servicios ecosistémicos (Figura 34).

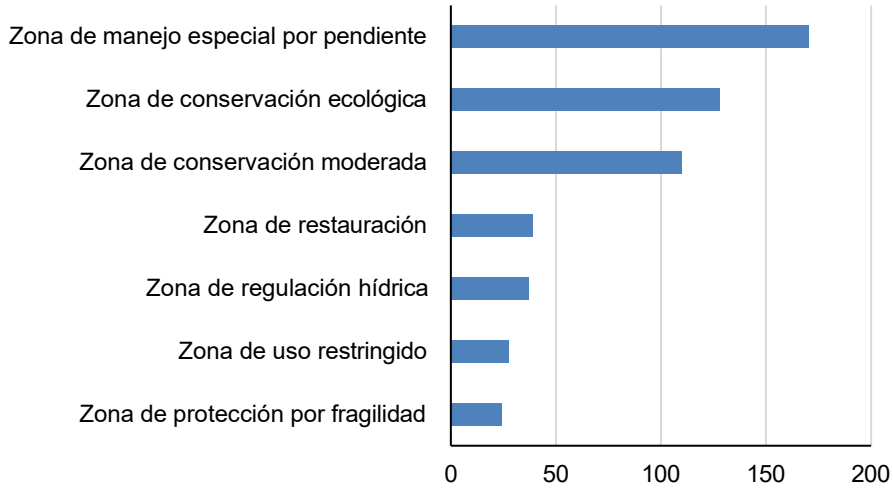


Figura 34. Superficies en hectáreas por zonas de funcionalidad morfológica.

Comportamiento hidrológico

La caracterización morfométrica de los microdrenajes dentro del área de estudio permitió identificar la heterogeneidad en términos de forma, tamaño, relieve y complejidad hidrológica, lo que refleja tanto la variabilidad natural del paisaje como los posibles efectos de transformación antrópica en zonas urbanas y periurbanas. En total, se evaluaron 27 microdrenajes con superficies que varían desde los 0.07 km^2 hasta 0.85 km^2, lo que indica la presencia de unidades de captación tanto pequeñas como relativamente extensas, capaces de generar escurrimientos localizados de distinta magnitud. El perímetro de las cuencas oscila entre 2.16 y 7.24 km, con morfologías en su mayoría alargadas, lo que implica diferencias en los tiempos de concentración y patrones de flujo interno.

El perímetro de los microdrenajes varía entre 2.16 km y 7.24 km, con una tendencia general a la morfología alargada, como lo indican los bajos valores en los índices de forma. Esta configuración implica tiempos de concentración más prolongados, lo cual puede favorecer la amortiguación de picos de escurrimiento superficial siempre que exista cobertura vegetal y suelos permeables. En condiciones alteradas, sin embargo, esta morfología puede derivar en flujos concentrados y erosivos que impacten negativamente tanto dentro como fuera del cauce. A su vez, los microdrenajes de formas más compactas, aunque menos frecuentes, podrían facilitar una mejor redistribución del flujo interno y una menor vulnerabilidad ante eventos extremos, si se encuentran en

estado conservado.

El relieve de las microdrenajes, que oscila entre 103 y 263 metros, representa uno de los principales determinantes de la energía del sistema y de los procesos erosivos potenciales. Las microcuencas con mayores pendientes presentan mayor capacidad de generar flujos con alta velocidad, lo cual puede traducirse en una mayor movilización de sedimentos y nutrientes, especialmente si la cobertura del suelo ha sido alterada. Este parámetro también condiciona la accesibilidad y la posibilidad de implementar prácticas de conservación, siendo los microdrenajes de mayor relieve más susceptibles a procesos de degradación, pero también potencialmente más relevantes en términos de regulación hídrica y biodiversidad. Uno de los hallazgos más relevantes es la alta densidad de drenaje observada en varias unidades, con valores que alcanzan hasta 26 cauces/km². Este indicador sugiere la presencia de una red de drenaje altamente fragmentada y reactiva, posiblemente compuesta por flujos intermitentes o temporales, comunes de ambientes semiáridos o degradados. Esta densidad también puede reflejar procesos de encajonamiento natural o inducido, y puede relacionarse con la litología superficial, uso del suelo o la presencia de microtopografías marcadas. Los microdrenajes con mayor densidad de drenaje tienden a una respuesta más rápida ante eventos de lluvia, reduciendo el tiempo de retención y aumentando el riesgo de escurrimientos torrenciales si no se cuenta con infraestructura verde adecuada.

El índice hipsométrico, que proporciona una aproximación al estado evolutivo del relieve, presenta en este análisis valores que van desde 0.018 hasta 0.235, lo que indica que muchos microdrenajes se encuentran en una fase madura. Estas condiciones pueden estar asociadas a superficies más erosionadas, con menor pendiente relativa y menor capacidad de almacenamiento natural de agua, limitando su funcionalidad ecosistémica. No obstante, los microdrenajes con valores intermedios aún conservan características propias de sistemas activos, lo que representa una oportunidad para restaurar procesos hidrológicos naturales mediante la revegetación, el control de escorrentías y la conexión con otras unidades funcionales del paisaje urbano.

El análisis morfométrico revela un sistema de microdrenajes urbano-periurbano marcado por una notable diversidad estructural y funcional, que refleja la interacción entre factores morfológicos naturales y procesos de transformación del paisaje impulsados por

el crecimiento urbano. Esta diversidad se manifiesta en una heterogeneidad de formas, pendientes y densidades de drenaje, lo que tiene implicaciones directas en la forma en que estas unidades captan, conducen, infiltran y descargan agua de lluvia. En otras palabras, los microdrenajes del área no responden de forma homogénea a los eventos hidrometeorológicos, sino que presentan distintas capacidades de regulación hidrológica, almacenamiento temporal, infiltración y control de sedimentos. Los resultados puntuales de los parámetros se pueden encontrar en el Anexo 4.

Priorización de microdrenajes a partir del parámetro compuesto (*Pc*)

La clasificación final de los 27 microdrenajes con base en el parámetro compuesto (*Pc*), derivado de la jerarquización y sumatoria de las variables morfométricas, permitió identificar con las zonas del territorio que presenta mayor vulnerabilidad morfológica y riesgo de erosión, así como aquellas que mantienen condiciones más estables. Esta jerarquía está representada visualmente en la Figura 35, mediante una escala cromática: el color rojo indica los microdrenajes con mayor prioridad de intervención (*Pc* más bajo), mientras que el azul identifica los de menor prioridad (*Pc* más alto).

Los microdrenajes con *Pc* localizadas principalmente en el noreste y sureste del área de estudio, representan las zonas más críticas. Estas unidades presentan combinaciones de alta pendiente, morfologías alargadas, baja capacidad de almacenamiento superficial, elevada densidad de drenaje y bajo índice hipsométrico, lo que las hace altamente susceptibles a procesos de erosión acelerada, escurrimientos concentrados y degradación estructural del suelo. Son microdrenajes prioritarios para el diseño e implementación de acciones urgentes de conservación del suelo, como sistemas de infiltración, revegetación estructural, terrazas de retención, manejo de cauces y reconversión de usos del suelo.

En una segunda categoría se encuentran los microdrenajes de prioridad alta, ubicadas en zonas periféricas (color naranja). Aunque no presentan las condiciones más extremas, sí manifiestan limitaciones morfológicas relevantes, como fragmentación de la red de drenaje, pendientes medias elevadas o estructuras de forma que favorecen el escurrimiento. Estos microdrenajes requieren intervenciones preventivas o restaurativas focalizadas, con enfoque en el control de escorrentía y recuperación funcional del sistema hídrico.

Los microdrenajes de prioridad media, representados en tonos amarillos, muestran condiciones más equilibradas, con relieve moderado, red de drenaje funcional y formas más compactas. Estas unidades ofrecen una oportunidad para acciones de conservación preventiva, como la consolidación de cobertura vegetal, creación de barreras vegetativas y protección de zonas de captación natural. Además, su ubicación en la parte central del sistema les otorga un papel relevante como zonas de amortiguamiento para microcuencas vecinas más vulnerables.

Por su parte, los microdrenajes en color azul claro, pueden considerarse como zonas de transición, donde los procesos erosivos son limitados y donde el relieve y la red de drenaje favorecen el almacenamiento y la infiltración. Estas áreas representan un potencial ecológico importante, ideal para restauración pasiva, monitoreo de calidad del agua y recuperación de conectividad ecológica.

Finalmente, los microdrenajes con *Pc* en tonalidades azul fuerte, se ubican principalmente en el centro-sur y suroeste del territorio, y corresponden a las unidades morfométricamente más estables. Estos microdrenajes presentan formas más regulares, pendientes suaves, red de drenaje menos fragmentada y mayor potencial de retención natural, lo cual las convierte en zonas estratégicas para la conservación activa, captación hídrica y fomento de infraestructura verde urbana.

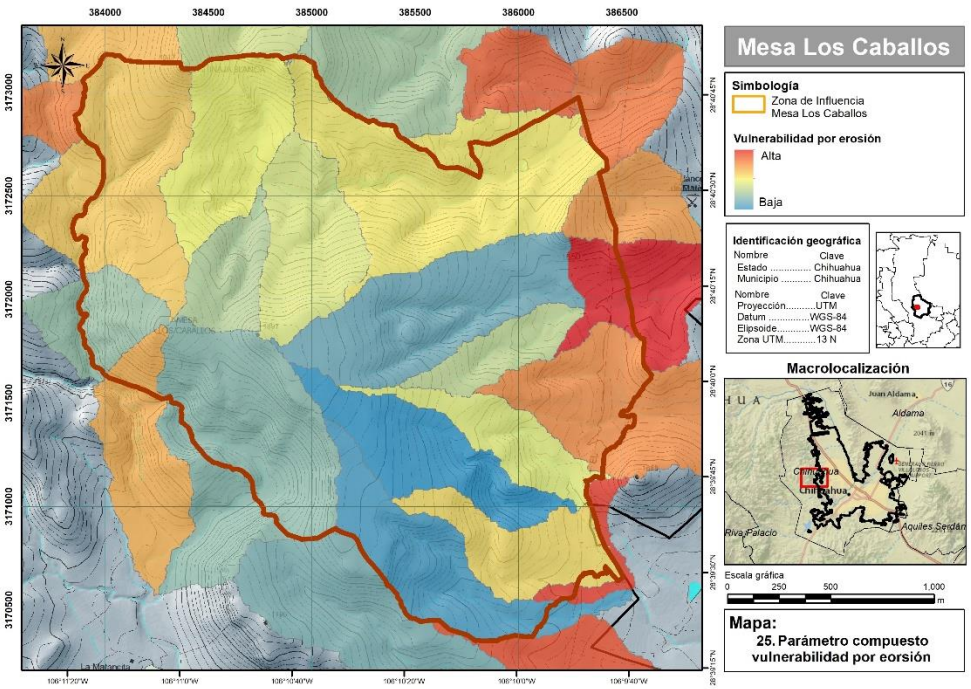


Figura 35. Parámetro compuesto con base en la vulnerabilidad a erosión.

Vegetación

Como resultado del procesamiento de imágenes satelitales y la aplicación de técnicas de clasificación supervisada, se generó el mapa de cobertura y uso del suelo para el año 2024, a escala de trabajo 1:60,000. Este insumo constituye uno de los elementos clave para poder alimentar los Módulos de Calidad del Hábitat y Calidad Escénica, dado que permite identificar y cuantificar las principales coberturas vegetales, y zonas de transformación antrópica en el área de estudio.

La imagen empleada, correspondiente al sensor Landsat 8 OLI (Path 33, Row 41), fue seleccionada por su alta calidad espectral y ausencia de nubosidad. Tras aplicar una corrección radiométrica mediante el método DOS1 en QGIS (v.2.18), la cual permitió eliminar el efecto de dispersión atmosférica y ajustar la reflectancia de superficie, se procedió a generar una composición multibanda (bandas 6-5-4) que facilitó la diferenciación visual de las coberturas.

El algoritmo de clasificación Random Forest, ejecutado mediante el paquete superClass en el entorno de RStudio, permitió integrar tanto relaciones espectrales como patrones espaciales de los píxeles. La clasificación logró discriminar de forma efectiva un total de nueve clases temáticas: bosques, matorrales, pastizales, cultivos, vegetación ribereña, vegetación dispersa, áreas sin vegetación aparente, zonas urbanas y cuerpos de agua.

Una vez concluida la clasificación, se aplicó un proceso de depuración cartográfica utilizando el criterio de Área Mínima Cartografiable (AMC). Este procedimiento permitió eliminar polígonos de tamaño inferior al umbral establecido, considerados como ruido cartográfico o unidades sin representatividad espacial significativa. La aplicación de esta etapa mejoró la limpieza visual del mapa y aumentó la coherencia espacial entre clases contiguas.

El producto final se estructuró como un mapa vectorial temático, cuya calidad visual y resolución espacial capturaron con claridad la estructura heterogénea del paisaje, resaltando patrones como la concentración de áreas sin vegetación en zonas erosionadas o con suelos expuestos, así como la presencia de vegetación ribereña en corredores fluviales intermitentes. Las zonas de uso antrópico se concentraron principalmente hacia los márgenes de acceso vial y áreas próximas a asentamientos

humanos.

El análisis de clasificación supervisada permitió delimitar cuatro clases principales de cobertura y uso del suelo en el área de estudio. La clase de mayor superficie fue la de pastizal, con un total de 244.33 hectáreas, representando zonas abiertas con vegetación herbácea dominante, aunque en algunos casos intercalada con arbustos dispersos. Le sigue en extensión la cobertura de matorral, que abarca 161.30 hectáreas, correspondiente a vegetación arbustiva que puede incluir espacios abiertos con pasto naturalizado o áreas de transición hacia formaciones de encino enano (Figura 36).

Por su parte, el bosque de encino ocupa aproximadamente 112.86 hectáreas, concentrado principalmente en las partes altas y con mayor humedad relativa. No obstante, es importante señalar que esta clase no representa un bosque puro o cerrado; se refiere a unidades donde predomina la cobertura arbórea de encino, pero con inclusión de elementos de pastizal o matorral bajo en el sotobosque, por lo que su composición es mixta.

La categoría denominada cambio de uso de suelo o área desprovista de vegetación cuenta con una extensión de 17.95 hectáreas, que representa áreas donde se han detectado transformaciones recientes de cobertura, como son apertura de caminos, construcción, y remoción de vegetación natural. Estas zonas son de interés prioritario para análisis de presión antrópica y monitoreo de degradación.

En conjunto, la distribución espacial refleja un mosaico de coberturas con transiciones graduales entre tipos de vegetación, lo que resalta la heterogeneidad estructural del paisaje (Figura 37).

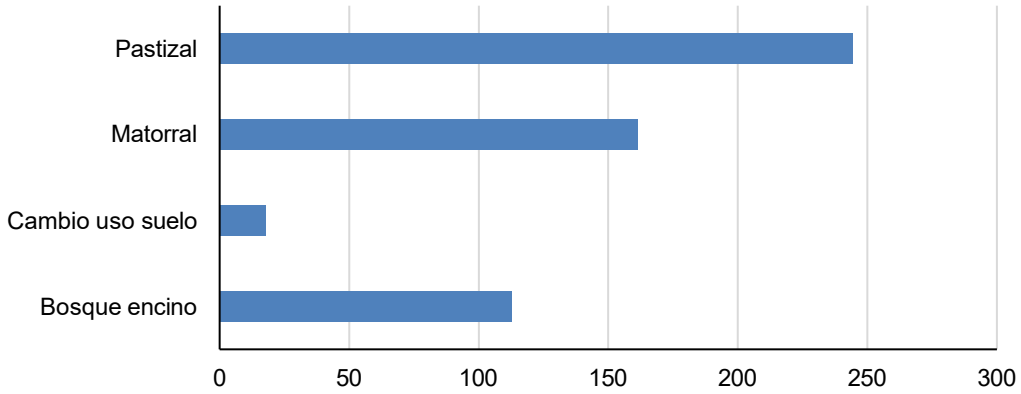


Figura 36. Superficie en hectáreas de las coberturas de suelo/uso de suelo.

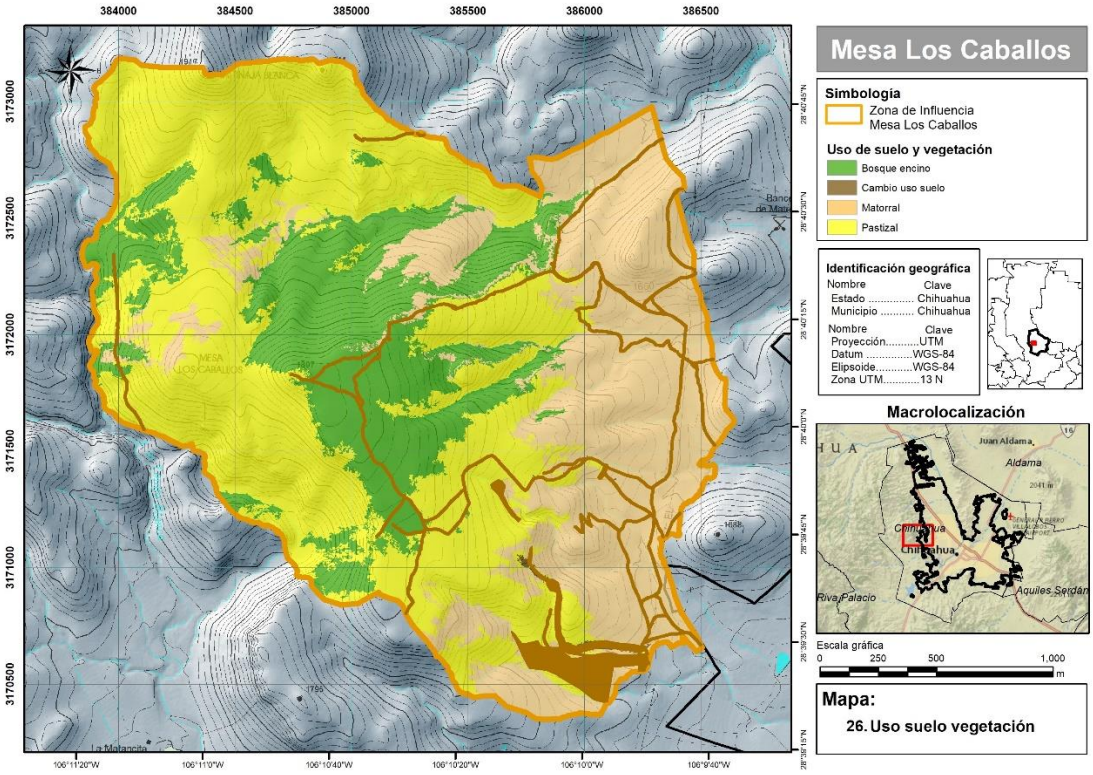


Figura 37. Distribución espacial de las coberturas de suelo/uso de suelo.

Inventario de flora y fauna

Con base en el inventario biológico realizado en la zona de la Mesa de Los Caballos, se identificaron un total de 45 especies de flora y 14 especies de fauna (Cuadro 3). Este levantamiento se efectuó mediante recorridos en campo y observaciones directas, integrando información relevante para conocer la composición ecológica del área.

En cuanto a la flora, el 93% de las especies (42 en total) se encuentran clasificadas como de Preocupación Menor (LC) según la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), mientras que 2 especies (4.4%) están catalogadas como Vulnerables (VU). Esta categoría indica que dichas especies enfrentan un riesgo elevado de extinción en su hábitat natural, por lo que su presencia en la zona es de especial relevancia para la conservación.

Respecto a la fauna, todas las especies observadas se encuentran también bajo la categoría de Preocupación Menor (LC), lo cual sugiere un estado de conservación estable dentro del contexto regional. La lista incluye principalmente aves como el halcón cola roja (*Buteo jamaicensis*), el cenzontle norteño (*Mimus polyglottos*) y el chipe

coronado (*Cardellina pusilla*), entre otros.

Los resultados permiten reconocer que, si bien la mayor parte de las especies no presentan un estatus crítico, la presencia de especies vulnerables y la diversidad registrada fortalecen la necesidad de promover estrategias de conservación y manejo ambiental orientadas a preservar la integridad ecológica de la región.

Cuadro 3. Inventario de especies de flora registradas en la zona de influencia de la Mesa Los Caballos.

Nombre común	Nombre científico	NOM-059-SEMARNAT-2010	CITES	UICN
Palo verde	*Parkinsonia aculeata*	No listada	No	LC
Blackfood Daisy	*Melampodium leucanthum*	No listada	No	LC
Velvetpod mimosa	*Mimosa dysocarpa*	No listada	No	LC
Hierba pegajosa	*Polanisia dodecandra*	No listada	No	LC
Salvia del desierto	*Tetraclea coulteri*	No listada	No	LC
Bledo lanoso	*Tidestromia lanuginosa*	No listada	No	LC
Zinnia de las llanuras	*Zinnia grandiflora*	No listada	No	LC
Encinilla	*Croton pottsii*	No listada	No	LC
Zinnia roja	*Zinnia peruviana*	No listada	No	LC
Dyssodia amarilla	*Thymophylla pentachaeta*	No listada	No	LC
Ortiguilla	*Cevallia sinuata*	No listada	No	LC
Quelite	*Amaranthus palmeri*	No listada	No	LC
Mezquite	*Prosopis glandulosa*	No listada	No	LC
Chaparrillo	*Quercus chihuahuensis*	No listada	No	LC
Maguey de Parry	*Agave parryi*	No listada	No	LC
Vara dulce	*Aloysia gratissima*	No listada	No	LC
Oreganillo	*Aloysia wrightii*	No listada	No	LC
Carátacua	*Baccharis pteronioides*	No listada	No	LC
Jarilla	*Baccharis salicifolia*	No listada	No	LC
Tecomblate	*Condalia warnockii*	No listada	No	LC
Biznaga tuberculosa	*Coryphantha tuberculosa*	Sujeta a protección especial (Pr)	Sí (Ap. II)	VU
Engordacabra	*Dalea bicolor*	No listada	No	LC
Sotol	*Dasylirion wheeleri*	Amenazada (A)	Sí (Ap. II)	LC
Alicoche	*Echinocereus pectinatus*	Sujeta a protección especial (Pr)	Sí (Ap. II)	LC
Alicoche arcoiris	*Echinocereus rigidissimus*	Sujeta a protección especial (Pr)	Sí (Ap. II)	LC
Canutillo	*Ephedra trifurca*	No listada	No	LC

Escobaria	*Escobaria chihuahuensis*	Sujeta a protección especial (Pr)	Sí (Ap. II)	VU
Quebradilla	*Eysenhardtia spinosa*	No listada	No	LC
Ocotillo	*Fouquieria splendens*	No listada	No	LC
Tabaco moro	*Nicotiana glauca*	No listada	No	LC
Sacahuistle	*Nolina texana*	No listada	No	LC
Nopal amarillo	*Opuntia engelmannii*	No listada	Sí (Ap. II)	LC
Nopal morado	*Opuntia macrocentra*	No listada	Sí (Ap. II)	LC
Nopal raqueta	*Opuntia robusta*	No listada	Sí (Ap. II)	LC
Mariola	*Parthenium incanum*	No listada	No	LC
Agrillo	*Rhus microphylla*	No listada	No	LC
Agrito	*Rhus virens*	No listada	No	LC
Carrozo	*Senna wislizeni*	No listada	No	LC
Tronadora	*Tecoma stans*	No listada	No	LC
Guillermito	*Trixis californica*	No listada	No	LC
Largoncillo	*Vachellia constricta*	No listada	No	LC
Matorralillo	*Viguiera stenoloba*	No listada	No	LC
Yuca madrense	*Yucca madrensis*	Amenazada (A)	Sí (Ap. II)	LC
Yuca de monte	*Yucca carnerosana*	Amenazada (A)	Sí (Ap. II)	LC
Zacate tres barbas	*Aristida adscensionis*	No listada	No	LC
Zacate banderita	*Bouteloua curtipendula*	No listada	No	LC
Zacate navajita	*Bouteloua gracilis*	No listada	No	LC
Ortiguilla	*Cevallia sinuata*	No listada	No	LC
Zacate africano	*Eragrostis lehmanniana*	No listada	No	LC
Zacate barba negra	*Heteropogon contortus*	No listada	No	LC
Tulipán del desierto	*Hibiscus denudatus*	No listada	No	LC
Zacate rosado	*Melinis repens*	No listada	No	LC
Rodadora	*Salsola tragus*	No listada	No	LC
Limoncillo	*Thymophylla pentachaeta*	No listada	No	LC
Diente de león enano	*Schkuhria pinnata*	No listada	No	LC
Helecho de Lindheimer	*Myriopteris lindheimeri*	No listada	No	LC
Halcón cola roja	*Buteo jamaicensis*	No listada	No	LC
Cenzontle norteño	*Mimus polyglottos*	No listada	No	LC
Gorrión pechirrayado	*Amphispiza bilineata*	No listada	No	LC
Chipe coronado	*Cardellina pusilla*	No listada	No	LC
Verdín	*Auriparus flaviceps*	No listada	No	LC
Perlita colinegra	*Polioptila melanura*	No listada	No	LC
Papamoscas gorjiclaro	*Myiarchus cinerascens*	No listada	No	LC
Codorniz escamosa	*Callipepla squamata*	No listada	No	LC

Cardenalillo del desierto	*Cardinalis sinuatus*	No listada	No	LC
Camaleón cornudo	*Phrynosoma hernandesi*	Sujeta a protección especial (Pr)	No	LC
Pinacate de cuello largo	*Eleodes longicollis*	No listado	No	LC
Huicol del pastizal	*Aspidoscelis uniparens*	No listada	No	LC
Desert Millipede	*Orthoporus ornatus*	No listada	No	LC
Chapulín	*Brachystola magna*	No listada	No	LC
Huico manchado de Chihuahua	*Aspidoscelis exsanguis*	No listada	No	LC
Culebra hocico parchado	*Salvadora sp.*	No listada	No	LC
Conejo de Holzner	*Sylvilagus holzneri*	No listada	No	LC
Canyon Towhee	*Melozone fusca*	No listada	No	LC
Zorro gris	*Urocyon cinereoargenteus*	No listada	No	LC

CITES= Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, IUCN= Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, LC= Least Concern / Preocupación menor, NOM-059-SEMARNAT-2010= NORMA Oficial Mexicana Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.

El conjunto de especies de flora y fauna identificado en el área de estudio refleja un ecosistema semiárido característico del Desierto Chihuahuense, con componentes clave que desempeñan funciones ecológicas para la estabilidad del paisaje.

Las especies vegetales registradas como *Prosopis glandulosa* (mezquite), *Parkinsonia aculeata* (palo verde), *Quercus chihuahuensis* (chaparro) y *Agave parryi* (maguey), fungen como productores primarios, captando energía solar y transformándola en biomasa que sustenta a la fauna local. Además, muchas de ellas contribuyen a la fijación de nitrógeno (por ej. mezquite), protección del suelo frente a la erosión, regulación hídrica mediante infiltración y mejora del microclima local. Varias de estas plantas son clave para la provisión de recursos tróficos, ya que producen néctar, polen, semillas o frutos que alimentan a aves, mamíferos e insectos polinizadores. Además, ciertas especies (como el *Agave parryi*) tienen una alta relevancia ecológica al ser plantas nodrizas o estructurantes en zonas pedregosas.

En cuanto a la fauna, el inventario incluye principalmente aves del estrato medio y alto, como *Buteo jamaicensis* (halcón cola roja), *Mimus polyglottos* (cenzontle norteño) y *Cardellina pusilla* (chipe coronado), especies que cumplen un papel importante como controladores de poblaciones de insectos y roedores, dispersores de semillas y vectores de polinización. Estas especies también indican la salud estructural del ecosistema, ya

que muchas requieren parches de vegetación madura y baja perturbación para anidar o alimentarse.

Aunque la mayoría de las especies se encuentran listadas como de "Preocupación Menor" (LC) según la UICN, su valor ecológico se sostiene en la conectividad funcional que ofrecen dentro del paisaje, al actuar como indicadores de hábitats conservados, y su papel como componentes clave en las redes tróficas.

Calidad del hábitat

El modelo de calidad del hábitat desarrollado con la herramienta InVEST – Habitat Quality permitió identificar espacialmente las condiciones ecológicas relativas del paisaje en función de la estructura de las coberturas del suelo y su exposición a amenazas antrópicas. Este enfoque integrador considera tanto la capacidad intrínseca de cada tipo de cobertura para sostener biodiversidad, como su vulnerabilidad ante disturbios externos, generando un índice espacial continuo de calidad del hábitat que varía entre 0 (degradado) y 1 (óptimo).

Para modelar la sensibilidad ecológica del paisaje, se clasificaron las coberturas en cuatro categorías: Bosque, Matorral, Pastizal e Sin cobertura vegetal. Las tres primeras se consideraron hábitat, con valores de sensibilidad diferentes frente a amenazas. El bosque mostró la mayor fragilidad, con sensibilidades altas frente a caminos (0.7), áreas impactadas (0.8) y zonas urbanas (0.9). El matorral y los pastizales presentaron sensibilidades moderadas, mientras que las zonas impactadas, definidas como áreas altamente degradadas, fueron excluidas del hábitat (valor 0), sin sensibilidad adicional a amenazas (Cuadro 4). Esto permitió que el modelo distinguiera entre zonas ecológicamente funcionales y áreas sin valor hábitat actual.

Cuadro 4. Intensidad de amenazas sobre la calidad del hábitat según uso y cobertura del suelo.

LULC	NAME	HABITAT	camino	aimpact	areaurb
1	Forest	1	0.7	0.8	0.9
2	Scrub	1	0.5	0.6	0.8
3	Grass	1	0.4	0.5	0.6
4	Impact	0	0.0	0.0	0.0

LULC=Código de la cobertura de suelo/uso de suelo, HABITAT=1 indica si es cobertura natural, 0 indica si es otro tipo de cobertura (antrópico), aimpact= áreas impactadas, areaurb= áreas urbanas.

Los valores asignados en las columnas de sensibilidad al camino (camino), áreas

impactadas (aimpact) y área urbana (areaurb) se definieron, considerando la fragilidad estructural y funcional de cada tipo de cobertura vegetal ante dichas amenazas.

El bosque fue identificado como la cobertura más sensible a las perturbaciones humanas, dadas sus características de alta biodiversidad, estructura vertical compleja y limitada resiliencia frente a la fragmentación. Por ello, se le asignaron valores de sensibilidad elevados: 0.7 frente a caminos, 0.8 frente a áreas impactadas y 0.9 frente a zonas urbanas. Estas cifras reflejan que incluso alteraciones moderadas en el entorno pueden comprometer gravemente su integridad ecológica. El matorral, aunque también funcional como hábitat, presenta una estructura menos compleja y una mayor capacidad de regeneración natural. Por esta razón, sus valores de sensibilidad son intermedios: 0.5 ante caminos, 0.6 ante áreas impactadas y 0.8 ante zonas urbanas. A pesar de su mayor tolerancia al disturbio, sigue requiriendo protección para evitar la pérdida de funcionalidad ecológica. Por su parte, los pastizales muestran una sensibilidad relativamente baja frente a las amenazas consideradas. Esta decisión se fundamenta en su alta resiliencia y capacidad de recuperación, características que permiten cierto grado de intervención sin perder completamente su función ecosistémica. Así, los valores asignados fueron de 0.4 para caminos, 0.5 para áreas impactadas y 0.6 para zonas urbanas. Finalmente, las zonas impactadas se definieron como aquellas donde la cobertura vegetal está severamente degradada o ha sido sustituida por usos intensivos como infraestructura, suelo desnudo o actividades extractivas. Estas áreas fueron excluidas del hábitat (valor 0), ya que no aportan calidad ecológica al modelo y no presentan sensibilidad adicional a nuevas amenazas.

En cuanto a las amenazas, se incluyeron tres fuentes de perturbación espacial: caminos, áreas impactadas y área urbana. Estas amenazas fueron representadas por capas rasterizadas con distinta intensidad y radio de influencia. El área urbana fue la amenaza más severa, con un peso de 0.95 y un alcance de hasta 1,500 metros, seguida por las áreas impactadas (0.70 y 1,000 m), mientras que los caminos se modelaron con un peso más bajo (0.30) y una distancia de 800 m (Cuadro 5). Este gradiente de presión permitió reflejar el efecto combinado de las amenazas sobre la calidad del hábitat, incluyendo tanto impactos puntuales como difusos.

Cuadro 5. Variables espaciales de presión sobre la calidad del hábitat.

Amenaza	Distancia Máxima	Peso	Decaimiento
Caminos	800	0.3	lineal
Áreas impactadas	1000	0.7	exponencial
Área urbana	1500	0.95	exponencial

Cada una de estas amenazas fue representada mediante capas rasterizadas, a las cuales se les asignaron valores específicos de peso, alcance espacial y forma de decaimiento, de acuerdo con su intensidad relativa y patrón de dispersión de efectos. El área urbana fue considerada la amenaza de mayor severidad ambiental, debido a su carácter permanente, alta intensidad de transformación del entorno, y amplia influencia sobre procesos ecológicos como la fragmentación del hábitat, alteración del microclima y propagación de especies exóticas. Por ello, se le asignó el mayor peso relativo (0.95), así como una distancia máxima de influencia de 1,500 metros, con una curva de decaimiento exponencial, que refleja cómo su efecto disminuye gradualmente, pero se extiende a una gran área. Esta configuración permite representar tanto el impacto directo de la urbanización como su huella ecológica difusa en el entorno. Las áreas impactadas, recibieron un peso intermedio de 0.70 y un alcance de hasta 1,000 metros, con lo recorrido en campo. También se aplicó una función de decaimiento exponencial, ya que estos impactos tienden a generar efectos persistentes más allá de su límite físico inmediato, afectando procesos como la infiltración, conectividad del hábitat y dispersión de especies.

Los caminos se modelaron como una amenaza con menor peso (0.30) y menor radio de influencia (800 metros), utilizando una curva de decaimiento lineal. Esta decisión se basó en que, aunque los caminos representan una fuente importante de fragmentación y mortalidad por atropellamiento, sus efectos disminuyen más rápidamente con la distancia, especialmente en caminos secundarios o de bajo tránsito. Además, su impacto depende en gran medida del contexto ecológico y de la conectividad del paisaje circundante.

Los resultados del modelo indican que las zonas de mayor calidad del hábitat se localizan en coberturas de bosque o matorral alejadas de centros urbanos, caminos o áreas impactadas. Estas zonas mantienen valores altos (0.005), y representan núcleos de conservación relevantes dentro del paisaje. Por otro lado, las áreas próximas a la

urbanización o dentro del radio de influencia de amenazas múltiples mostraron una reducción significativa en su calidad ecológica, alcanzando valores bajos (0.001) o incluso nulos en zonas no clasificadas como hábitat. Las zonas intermedias, como pastizales en transición o matorrales fragmentados, reflejan un nivel medio de calidad, representando áreas de manejo o monitoreo prioritario.

Este modelo de calidad del hábitat constituye una herramienta útil para el análisis espacial del territorio, permitiendo orientar estrategias de conservación, restauración y planificación territorial. Al integrar la estructura ecológica del paisaje con presiones humanas observadas, se facilita la toma de decisiones fundamentadas para la conservación de ecosistemas, especialmente en regiones periurbanas como la Mesa de Los Caballos.

La distribución espacial de la calidad del hábitat en la zona de estudio muestra un patrón heterogéneo influenciado por la combinación de las coberturas del suelo y la proximidad a fuentes de perturbación antrópica. Las áreas de mayor calidad del hábitat se concentran principalmente en las partes más elevadas y alejadas del núcleo urbano, donde predominan coberturas de bosque y matorral poco fragmentadas. Estas zonas se caracterizan por tener baja exposición a amenazas como caminos, zonas urbanas o áreas impactadas, lo que les permite mantener una alta integridad ecológica. En contraste, las zonas de menor calidad se localizan en la periferia urbana y en sectores donde convergen múltiples amenazas, especialmente al este y sur del área de estudio. En estas áreas, el hábitat presenta una notable fragmentación, degradación estructural y proximidad a infraestructura vial y usos intensivos del suelo. Los pastizales y otras coberturas con sensibilidad moderada a baja muestran una calidad intermedia, formando una matriz que rodea o conecta parcialmente las zonas núcleo. Este patrón espacial revela la existencia de gradientes de calidad ecológica que pueden ser utilizados para identificar corredores biológicos, núcleos de conservación y zonas prioritarias para acciones de restauración o control de impactos.

En particular, los parches de color más oscuro al oeste y suroeste destacan como núcleos de conservación potencial, pues combinan cobertura natural continua y baja interferencia humana. Por el contrario, las zonas más claras, localizadas en la periferia este y en torno a los corredores de infraestructura, representan áreas con calidad

ecológica comprometida, susceptibles de intervención para restauración o reconexión paisajística. La transición entre estos extremos ofrece oportunidades para establecer zonas de amortiguamiento o corredores biológicos que favorezcan la conectividad funcional dentro del mosaico de uso del suelo (Figura 38).

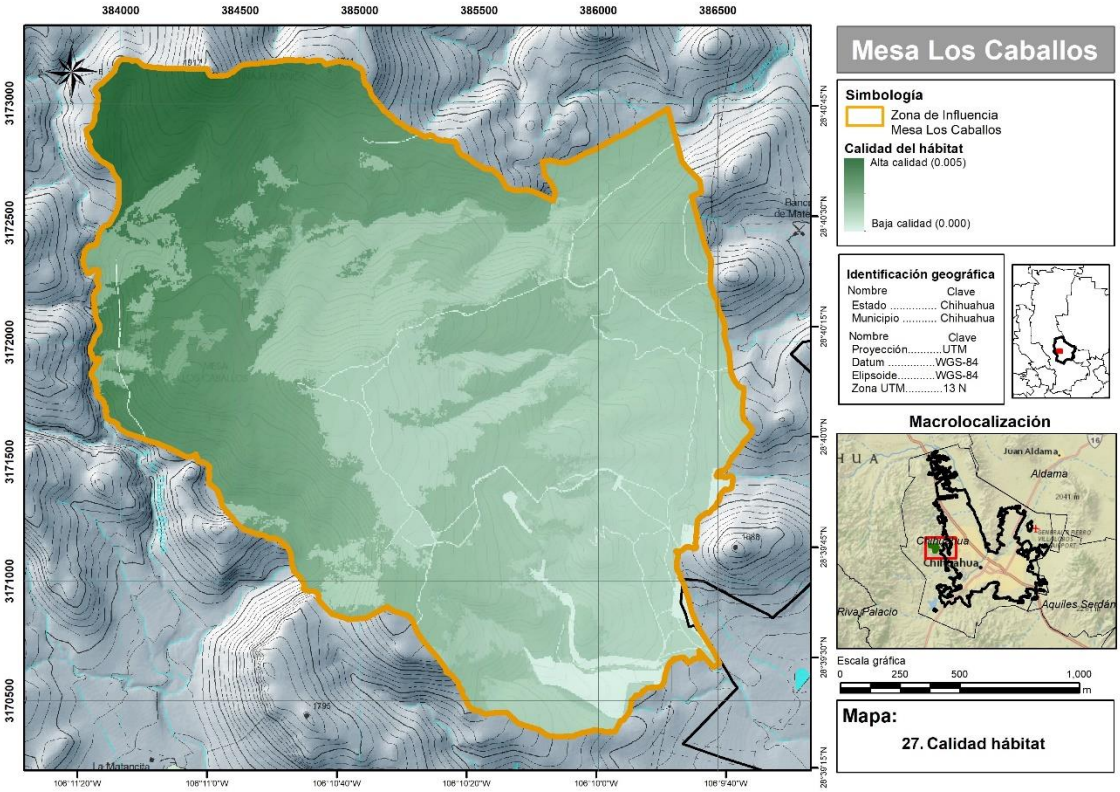


Figura 38. Modelo de calidad del hábitat.

Con el propósito de complementar el estudio, para identificar las zonas del paisaje con mayor valor ecológico funcional, se generó un índice denominado importancia del hábitat, a partir de la combinación del índice espectral NDVI promedio (como indicador de productividad vegetal) con el raster de calidad del hábitat estimado mediante el modelo InVEST. El resultado es una superficie continua que representa simultáneamente la condición estructural del ecosistema y su vitalidad biológica actual, destacando aquellas áreas que no sólo mantienen un bajo nivel de presión antrópica, sino que además presentan una alta cobertura vegetal activa.

La distribución espacial del índice revela un patrón contrastante entre el noroeste y el sureste del área de estudio. Las zonas con alta importancia del hábitat, representadas

en tonos verdes intensos, se localizan predominantemente en la porción noroeste, donde convergen coberturas vegetales densas, baja exposición a amenazas humanas, y condiciones topográficas favorables. Estas áreas funcionan como núcleos ecológicos clave y representan sectores prioritarios para la conservación de procesos ecosistémicos y biodiversidad local.

Por otro lado, las zonas del sureste y oriente muestran valores bajos del índice (tonos rojizos), reflejando regiones con calidad estructural y vegetativa degradada, donde se combinan impactos visuales, fragmentación del hábitat y reducción en la productividad fotosintética. Estas áreas podrían representar zonas de intervención prioritaria, ya sea para restauración pasiva, reforestación o establecimiento de corredores ecológicos que mejoren la conectividad con las zonas más conservadas.

El índice de importancia del hábitat ofrece una representación integrada del paisaje, útil para jerarquizar áreas de conservación, restauración o amortiguamiento (Figura 39).

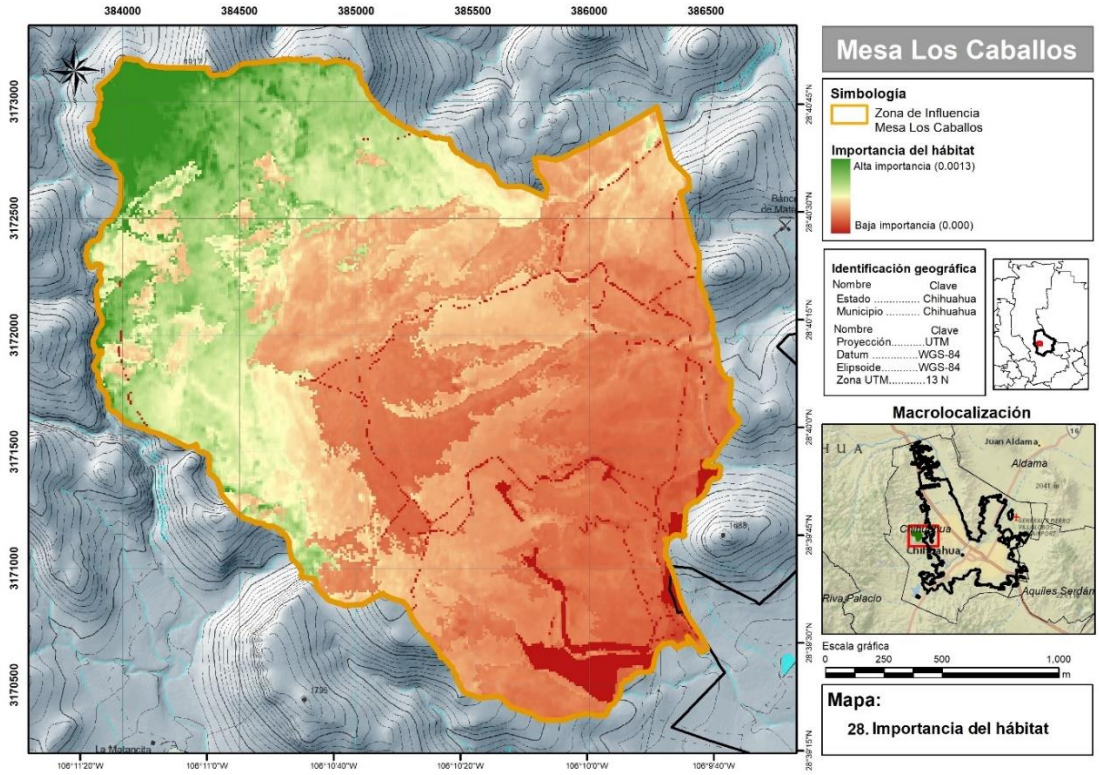


Figura 39. Modelo de importancia del hábitat.

Calidad escénica

El módulo de calidad escénica desarrollado con InVEST generó el modelo de visibilidad paisajística o exposición visual, el cual representa la visibilidad acumulada de elementos que impactan negativamente el paisaje desde cada celda/pixel del área de estudio. En este caso, los valores del modelo de visibilidad paisajística expresan el número de estructuras visibles desde cada punto del territorio. Los valores observados en el raster varían de 0 (baja exposición paisajística) a un máximo de 480 (alta exposición paisajística). Las zonas con valores cercanos a cero o baja exposición paisajística indican pixeles del paisaje desde las cuales no se visualiza ninguna de las estructuras identificadas como impactantes, lo que implica una alta calidad visual o un entorno visual no perturbado. Estas áreas están distribuidas principalmente en los sectores occidentales, suroccidentales y en algunas laderas orientadas al sur y sureste, protegidas por la topografía.

En contraste, las zonas con valores intermedios (de 6 a 60, colores rojos) reflejan áreas con visibilidad parcial hacia los elementos que degradan la calidad escénica. Estas se encuentran distribuidas de manera dispersa, generalmente en transiciones de relieve y en bordes de lomeríos donde la visibilidad se amplía moderadamente. Las áreas con valores superiores a 100 (morados) se concentran en las partes más expuestas del paisaje, sobre todo en el sector oriental y suroeste del área de estudio, donde se alcanza la máxima visibilidad acumulada (hasta 480). Estas regiones presentan una muy baja calidad visual, al estar altamente expuestas a múltiples estructuras, caminos o edificaciones visibles simultáneamente desde cada píxel.

El análisis espacial del modelo de visibilidad paisajística o exposición visual permite entonces identificar zonas con alta presión visual, útiles para orientar estrategias de mitigación de impactos escénicos, como revegetación o restricciones a nuevas estructuras. Asimismo, las zonas con baja visibilidad acumulada pueden ser priorizadas para conservación paisajística, turismo de naturaleza o integración con corredores visuales.

El modelo de visibilidad paisajística (Figura 40) ofrece una herramienta que es de utilidad para la evaluación de la visibilidad acumulada en el paisaje, facilitando la identificación de zonas con mayor o menor exposición visual a estructuras (bancos de material, áreas desmontadas, líneas de transmisión eléctrica, caminos) que afectan la

calidad escénica. Su utilidad radica en que permite evaluar de forma objetiva y espacialmente explícita cuántos elementos visualmente intrusivos son observables desde cada punto del territorio, lo cual es clave en la planeación ambiental, el diseño de infraestructura y la conservación del paisaje. Este modelo es particularmente útil en contextos donde se busca conservar o restaurar la integridad visual del entorno, como en áreas naturales protegidas, corredores escénicos o zonas de alto valor turístico. Además, al ser un modelo acumulativo, puede emplearse para comparar escenarios de desarrollo, simular el impacto visual de nuevos proyectos y proponer medidas de mitigación basadas en evidencia espacial.

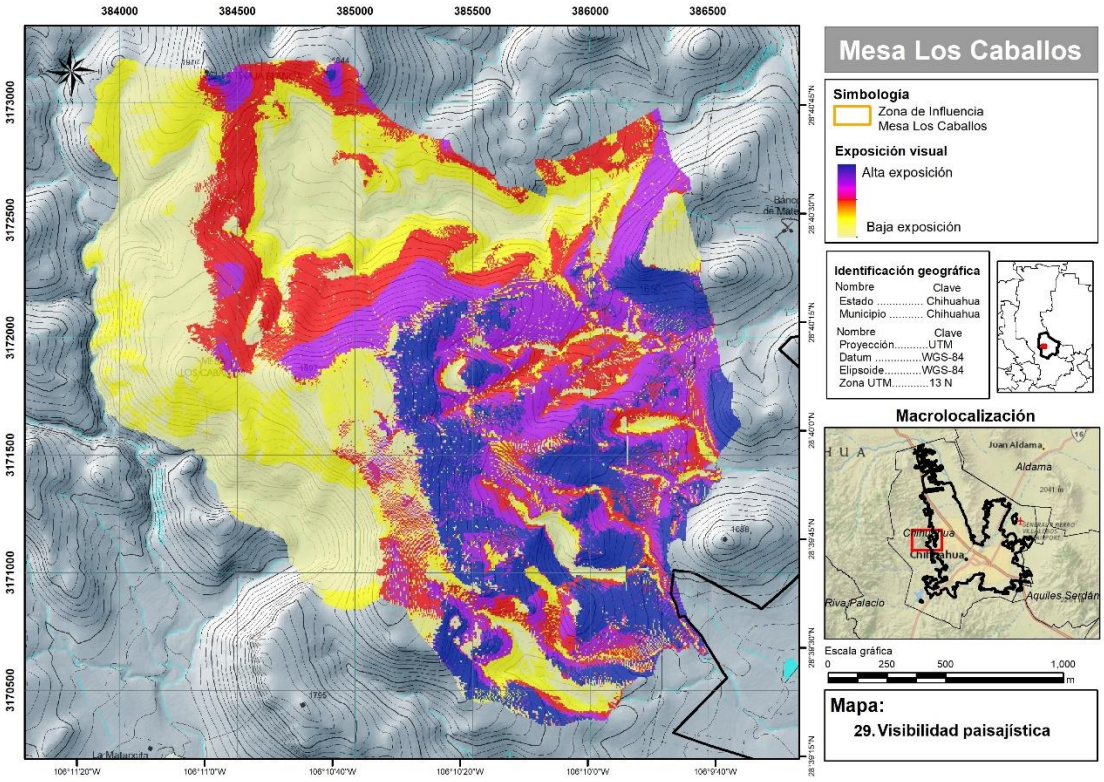


Figura 40. Modelo de visibilidad paisajística.

El modelo de calidad escénica también genera un archivo raster de calidad visual clasificado en cuatro niveles, en función de la visibilidad acumulada de estructuras impactantes, como caminos y zonas urbanas, utilizando una escala ordinal. Esta clasificación se basa en cuartiles, asignando valores que van de 0 a 4, donde 0 representa áreas no afectadas visualmente (sin estructuras visibles), y 4 corresponde a zonas con muy baja calidad escénica, resultado de una alta exposición visual a múltiples elementos

perturbadores.

Los resultados muestran que una proporción del área de estudio presenta alta o muy alta calidad escénica, concentrándose principalmente en las zonas centrales, orientales y del sureste, donde predominan relieves cerriles, lomeríos densamente vegetados y áreas protegidas topográficamente. Estas zonas, representadas en verde y verde, corresponden a valores de 0 y 1, lo cual indica una baja visibilidad de elementos antrópicos y, por lo tanto, un paisaje visualmente conservado.

En contraste, las zonas clasificadas como de baja y muy baja calidad visual (valores 3 y 4, representadas en gris y café) se concentran en los márgenes norte y este del área de estudio, así como en corredores visuales amplios donde el relieve permite la exposición directa a múltiples estructuras. Estas áreas presentan una mayor carga visual negativa y son candidatas prioritarias para acciones de restauración escénica, reforestación visual, o control de expansión urbana desordenada.

Las áreas clasificadas como de calidad visual media (valor 2, color amarillo) forman una franja de transición entre zonas protegidas visualmente y aquellas altamente expuestas, y podrían representar oportunidades para el diseño de zonas de amortiguamiento visual.

Este modelo facilita la delimitación espacial de zonas con valor paisajístico, así como la identificación de sectores impactados que podrían beneficiarse de estrategias de mitigación visual. Además, su estructura categórica facilita la integración con otros modelos territoriales, como los de calidad del hábitat, para establecer propuestas de conservación integral del paisaje (Figura 41).

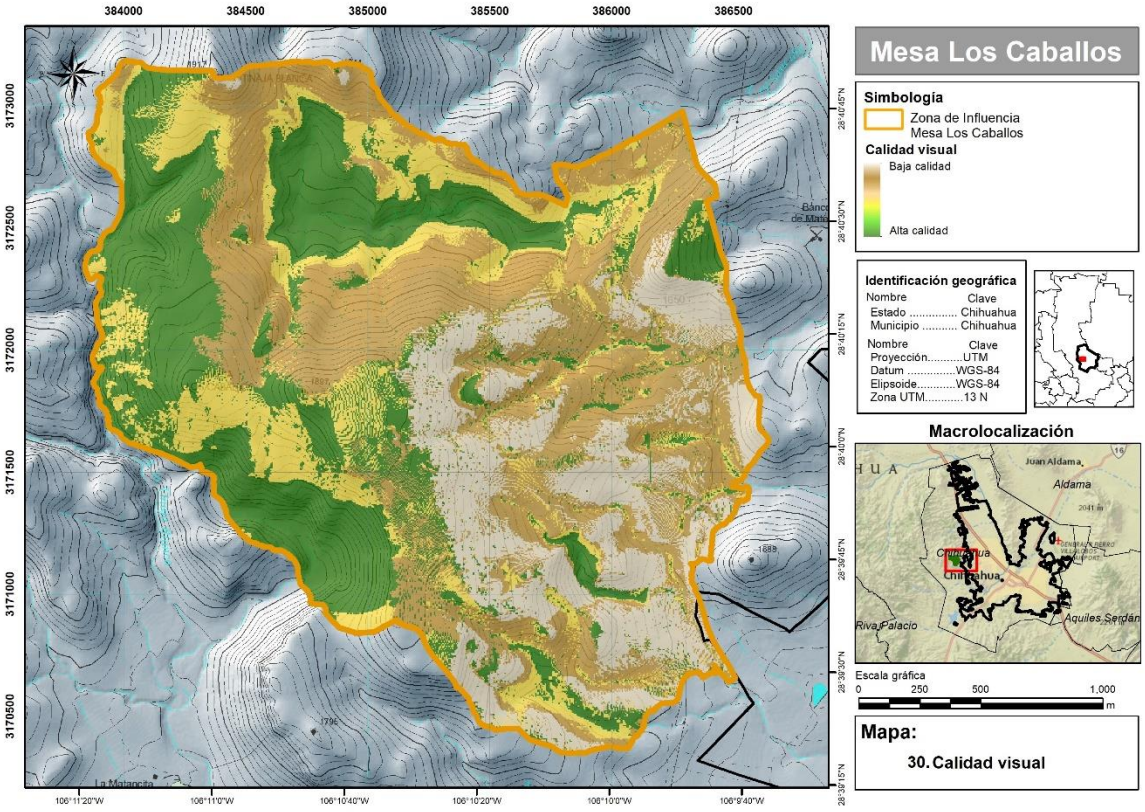


Figura 41. Modelo de calidad visual.

Descripción de impactos

Como parte del análisis espacial orientado a la evaluación de la calidad ecológica y escénica del paisaje en el contexto morfológico se identificaron y mapearon los impactos antrópicos dentro del área de estudio. Estos elementos, considerados como presiones sobre el sistema natural, fueron insumos para los modelos de calidad del hábitat y calidad escénica, al representar fuentes directas de fragmentación ecológica, alteración visual y pérdida de funcionalidad ecosistémica.

La identificación de impactos se llevó a cabo mediante una estrategia combinada que incluyó recorridos de campo y digitalización cartográfica con apoyo de imágenes satelitales e insumos cartográficos bases proporcionados por el IMPLAN, lo que permitió una caracterización georreferenciada de las principales áreas transformadas por actividades humanas. Durante el trabajo de campo, se documentaron visualmente zonas de urbanización, caminos principales y senderos, áreas con remoción significativa de

vegetación, zonas de almacenamiento o actividad extractiva, así como líneas de infraestructura eléctrica. La temporalidad de los recorridos de campo fue de febrero a julio de 2025.

Entre los elementos mapeados destacan cuatro categorías principales: áreas urbanas, áreas impactadas, red vial (caminos y senderos) y líneas de transmisión eléctrica. Las áreas urbanas corresponden a zonas consolidadas con edificación y servicios, que generan un fuerte impacto tanto visual como ecológico. Las áreas impactadas, por su parte, incluyen sitios de remoción de vegetación, terracerías, explanaciones y suelos visiblemente alterados. Los caminos y senderos, aunque de escala variable, actúan como corredores de fragmentación y aumentan la accesibilidad humana, lo cual intensifica la presión sobre los ecosistemas. Finalmente, las líneas eléctricas fueron consideradas por su efecto disruptivo sobre la continuidad visual y su influencia en la percepción escénica del paisaje.

Estos impactos fueron utilizados como capas vectoriales y rasterizadas de amenaza dentro del modelo de calidad del hábitat, asignándoles pesos y radios de influencia diferenciados según su intensidad y tipo de afectación. De igual forma, fueron incorporados como estructuras impactantes dentro del modelo de calidad escénica de InVEST, permitiendo evaluar su visibilidad desde diferentes puntos del terreno y su contribución a la degradación del paisaje visual.

La integración de estos datos permitió construir una caracterización más robusta de las presiones territoriales existentes, fortaleciendo la validez de los modelos espaciales y aportando evidencia para la priorización de zonas de conservación, restauración o mitigación en función de su exposición y fragilidad.

A continuación, se muestra evidencia evidencias de disturbios antrópicos y naturales en la Figura 42-54:



Figura 42. Impacto por incendio en cactáceas (izquierda) y vegetación de encino (derecha).

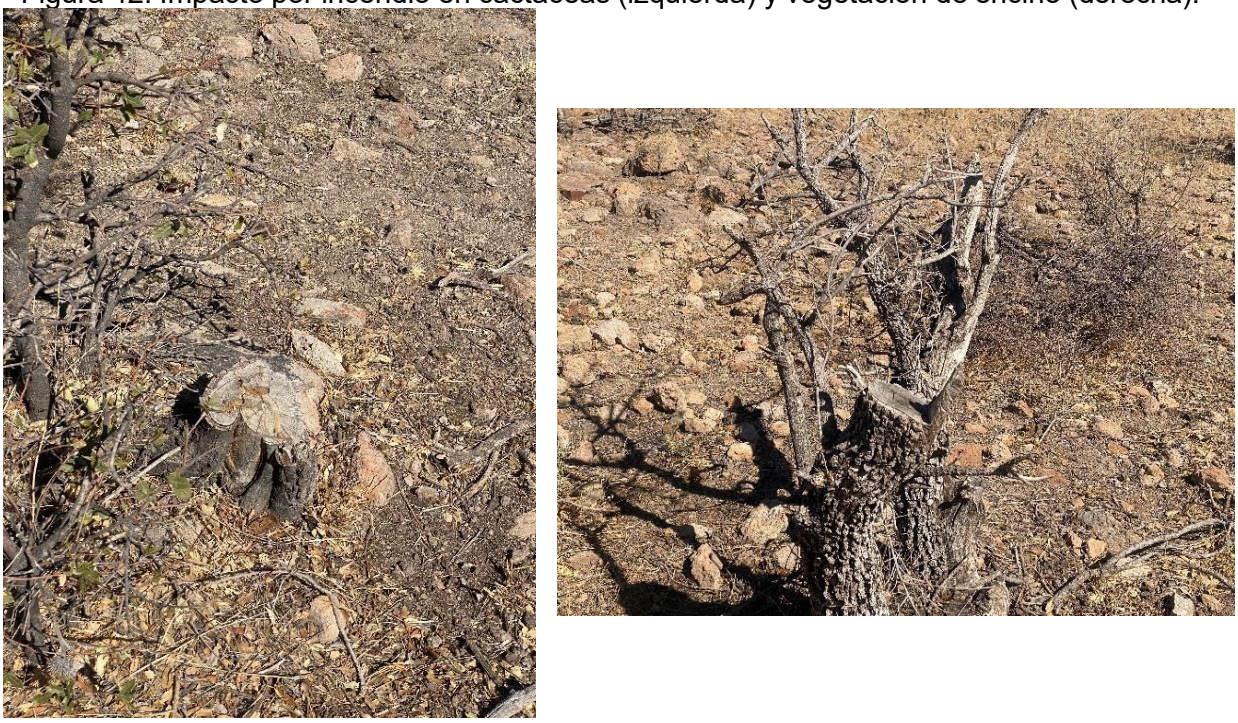


Figura 43. Evidencia fotográfica de tala clandestina.



Figura 44. Modificación del área por senderos (izquierda) y apertura de caminos con maquinaria (derecha).



Figura 45. Impacto sobre vegetación de cactáceas por apertura de caminos (izquierda) y zonas de castigo por actividad ganadera (derecha).



Figura 46. Impacto de incendio en Yuca (izquierda) y contaminación por residuos (derecha).





Figura 47. Vehículos abandonados y letreros de propiedad privada.

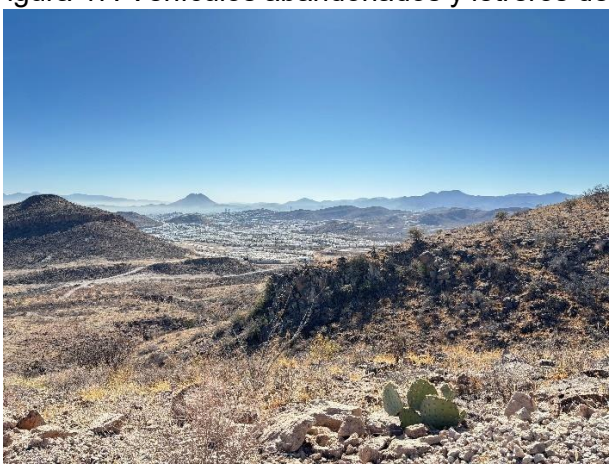




Figura 48. Impacto visual por el área urbana.





Figura 49. Cambio de uso de suelo por apertura de camino (izquierda) y bancos de material (derecha).



Figura 50. Áreas con residuos sólidos (izquierda) e incendios provocados (derecha).



Figura 51. Perdida de conectividad del paisaje por fragmentación en la zona este del área de estudio.



Figura 52. Perdida de conectividad del paisaje por fragmentación en la zona este del área de estudio.



Figura 53. Perdida de conectividad del paisaje por fragmentación en la zona este del área de estudio.



Figura 54. Perdida de conectividad del paisaje por fragmentación en la zona este del área de estudio.

Uno de los impactos más extensivos en el área de influencia de la Mesa de Los Caballos corresponde a la presencia de senderos y caminos, los cuales han sido digitalizados y comparados con la información obtenida en campo para evaluar su distribución y área afectada (Figura 42 y 54). Dentro del área de estudio, se registró una longitud total de 1,249.54 m de senderos y 423.08 m de caminos, representando una red de accesos que fragmenta el ecosistema. En términos de ancho promedio, los senderos presentan una anchura de aproximadamente 2 metros, mientras que los caminos tienen un ancho promedio de 3 metros.

Utilizando la calculadora de geometrías en ArcGIS, se estimó que los senderos abarcan una superficie impactada de 2,498.64 m^2, mientras que los caminos afectan un

área de 1,269.14 m^2. Estos valores reflejan la presión ejercida sobre el suelo y la vegetación, ya que la compactación del sustrato y la alteración de la cobertura vegetal pueden afectar la infiltración del agua, acelerar procesos erosivos y facilitar la fragmentación del hábitat. Además, la generación de estos accesos puede estar asociada a un incremento en el tránsito humano y vehicular, lo que intensifica la vulnerabilidad del ecosistema ante factores como el sobrepastoreo, incendios forestales y deposición de residuos sólidos.

Como parte del análisis de las presiones antrópicas sobre la Mesa de Los Caballos, se llevó a cabo una jerarquización de los impactos ambientales identificados en campo y mediante fotointerpretación, considerando su intensidad, persistencia, extensión espacial y grado de afectación ecológica y visual. Esta jerarquización permitió clasificar los impactos en cuatro niveles principales: muy alta, alta, moderada y baja amenaza ambiental.

Entre los elementos con mayor peso destacan las áreas urbanas y las zonas impactadas (remoción de vegetación, suelos sin cobertura), debido a su carácter permanente y al grado de transformación que generan en el ecosistema. Estos elementos representan núcleos de presión crítica, donde la funcionalidad ecológica ha sido comprometida significativamente. En segundo nivel, se ubican los caminos y senderos, la tala clandestina, el sobrepastoreo y los incendios forestales, que, si bien presentan cierta variabilidad espacial y temporal, generan fragmentación, pérdida de cobertura vegetal y degradación de hábitat. Finalmente, impactos como la presencia de vehículos abandonados y la acumulación de residuos sólidos fueron clasificados como de amenaza baja, por su carácter localizado, aunque no por ello menos relevantes (Cuadro 6).

Cuadro 6. Jerarquización de los impactos.

Categoría de Impacto	Nivel de Amenaza	Criterios considerados
Área urbana / urbanización	Muy Alta	Alta cobertura impermeable, pérdida total de hábitat, presión permanente.
Áreas impactadas (remoción de vegetación)	Alta	Alteración física del suelo, pérdida parcial de cobertura, mediano alcance espacial
Red vial (caminos y senderos)	Alta	Fragmentación ecológica, dispersión de especies

Categoría de Impacto	Nivel de Amenaza	Criterios considerados
		invasoras, erosión
Tala clandestina	Moderada	Pérdida de cobertura leñosa, pérdida de biodiversidad, pero de ocurrencia localizada
Sobrepastoreo / Zonas de castigo	Moderada	Compactación, pérdida de cobertura herbácea, alteración en regeneración natural
Incendios forestales	Moderada	Daño severo a especies, pero con posibilidad de regeneración en algunos casos
Vehículos abandonados	Baja	Contaminación visual y puntual, impacto limitado en espacio, pero persistente
Residuos sólidos	Baja	Contaminación localizada, principalmente visual y edáfica

Zonificación ambiental-morfológica

Con base en la cartografía temática integrada por los criterios de calidad del hábitat, importancia del hábitat, modelo morfológico, cobertura y uso de suelo, microdrenajes (*Pc*), visibilidad paisajística y el índice escénico-ecológico, se desarrolló un análisis espacial combinado, orientado a proponer una zonificación morfológica-ambiental para la región de la Mesa de Los Caballos.

Como parte del proceso de estandarización y ponderación de criterios para la zonificación ambiental-morfológica del área de estudio, se aplicó el método Analytic Hierarchy Process (AHP), el cual permitió jerarquizar la importancia relativa de siete variables clave, en función de su contribución al objetivo general de evaluar la fragilidad ambiental y la susceptibilidad del paisaje ante impactos antrópicos.

La estandarización de los criterios constituyó una etapa clave para la integración de variables ambientales heterogéneas en el modelo de evaluación multicriterio espacial (EMC). Todos los insumos temáticos fueron transformados a una escala ordinal común del 1 al 5, con el propósito de homogenizar su interpretación espacial bajo un mismo marco conceptual de aptitud o fragilidad ambiental.

En dicha escala, el valor 1 representa condiciones desfavorables para la conservación, con alta vulnerabilidad ambiental o baja aptitud ecológica, mientras que el valor 5 identifica condiciones óptimas para la conservación, con alta integridad ecológica,

funcionalidad ambiental o bajo nivel de perturbación.

Cada capa fue reclasificada con base en sus umbrales propios (Cuadro 7):

1. Modelo morfológico: se asignaron niveles de idoneidad considerando factores como pendiente, orientación y forma del relieve, asociando valores bajos a zonas de alta susceptibilidad a procesos erosivos o limitaciones físicas, y valores altos a relieves estables y de bajo riesgo.
2. Microdrenajes (Parámetro compuesto): se reclasificaron en función del desempeño hidrológico (densidad de drenaje, compacidad, elevación media), priorizando microcuencas con mejores condiciones de regulación hídrica y menor exposición a impactos.
3. Cobertura y uso de suelo: se evaluó la composición vegetal y grado de transformación, otorgando mayor valor a coberturas naturales como bosques y matorrales conservados, y menor puntuación a zonas con evidencias de cambio de uso del suelo.
4. Calidad del hábitat: los valores continuos derivados del modelo InVEST fueron agrupados en cinco clases, donde los valores más altos reflejan ecosistemas con menor presión antrópica y mayor funcionalidad ecológica.
5. Importancia del hábitat: se integró información de calidad del hábitat y productividad primaria (NDVI), para identificar áreas que combinan buen estado estructural y alta actividad biológica, clasificando de forma ascendente el valor de conservación.
6. Visibilidad paisajística: se utilizaron valores de visibilidad acumulada (módulo Visual Quality de InVEST), clasificando como menos favorables aquellas celdas desde las cuales se observa un mayor número de estructuras artificiales.
7. Calidad visual: se empleó una escala ordinal derivada de cuartiles, donde el valor 0 representa áreas sin afectación visual y el valor 4 aquellas con muy baja calidad escénica.

Cuadro 7. Estandarización de los criterios para zonificación.

Idoneidad	Modelo morfológico	Microdrenajes (Pc)	Cobertura de suelo	Calidad del hábitat	Importancia del hábitat	Visibilidad paisajística	Calidad visual
Muy Baja (1)	Zona de aprovechamiento controlado	1-5	Cambio de uso de suelo	0 – 0.001243413	0 - 0.000201417	50.82352942 - 480	4

Baja (2)	Zona de manejo especial por pendiente	6-10		0.001243413 – 0.002087995	0.000201417 - 0.000339228	18.82352942 - 50.82352941	3
Moderada (3)	Zona de restauración, Zona de conservación moderada	11-16	Pastizal	0.002087995 – 0.003120263	0.000339228 - 0.000492941	5.647058825 - 18.82352941	2
Alta (4)	Zona de protección por fragilidad, Zona de regulación hídrica	17-21	Matorral	0.003120263 – 0.004246373	0.000492941 - 0.000694358	0 - 5.647058824	1
Muy Alta (5)	Zona de conservación ecológica, Zona de uso restringido	22-27	Bosque de Encino Enano	0.004246373 – 0.005982459	0.000694358 - 0.001351614	0	0

Niéveles de Idoneidad: 1= Condición poco favorable para la conservación, 5=Condición favorable para la conservación

Por otra parte, los resultados del proceso AHP mostraron que la calidad del hábitat obtuvo el mayor peso relativo con un 30 %, al representar de manera integral la condición ecológica del territorio y su grado de conservación frente a presiones externas. Le sigue en importancia la importancia del hábitat (20 %), un índice compuesto que considera tanto la productividad vegetal (NDVI) como la calidad ecológica, permitiendo detectar zonas estratégicas de alta funcionalidad ecosistémica.

El modelo morfológico recibió un peso de 17 %, al reflejar la topografía, formas del relieve y su influencia en procesos naturales como erosión o escurrimientos. Factores como cobertura de suelo (12 %) y microdrenajes (9 %) obtuvieron pesos menores, aunque relevantes por su capacidad para indicar el estado actual del uso del territorio y la dinámica hidrológica (Figura 55).

Finalmente, la visibilidad paisajística y la calidad visual, vinculadas a la percepción escénica del entorno, fueron integradas con pesos de 7 % y 5 % respectivamente, reconociendo su papel en la conservación del paisaje y en la identificación de zonas con mayor exposición visual.

La distribución de estos pesos refleja la prioridad hacia los atributos ecológicos y funcionales del ecosistema, lo cual sustenta una zonificación orientada a la conservación, mitigación de impactos y planificación territorial basada en evidencia espacial y jerárquica.

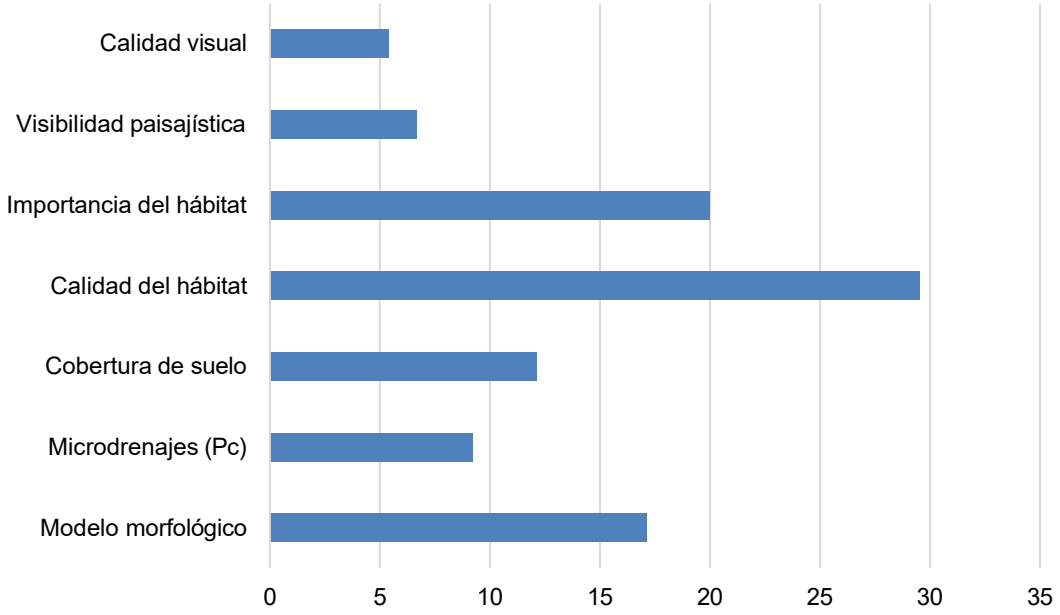


Figura 55. Peso o importancia de las variables para la zonificación ambiental-morfológica.

A partir de la sobreposición ponderada de los siete criterios temáticos, modelo morfológico, microdrenajes (parámetro compuesto), cobertura y uso de suelo, calidad del hábitat, importancia del hábitat, visibilidad paisajística y calidad visual, se generó una cartografía sintética de zonificación ambiental que refleja la interacción espacial entre la funcionalidad ecológica, la estructura físico-morfológica, las presiones antrópicas y el valor paisajístico del territorio (Figura 56).

Este enfoque de evaluación multicriterio espacial, soportado en SIG y ponderaciones obtenidas mediante el método AHP, permite establecer unidades territoriales diferenciadas en función de su aptitud ambiental, estado de conservación, y nivel de vulnerabilidad o presión visual, proponiendo así una base técnico-espacial para la planificación sustentable y la gestión ambiental adaptativa en la Mesa Los Caballos.

El resultado fue un raster de cinco categorías jerárquicas de idoneidad ambiental, en una escala de 1 (condición más crítica) a 5 (condición más favorable), generando un mapa categórico que sintetiza el potencial ecológico y funcional del paisaje. La distribución espacial de las clases se describe a continuación:

Zona 5 – Muy Alta (Verde oscuro): Representa las zonas con mayor idoneidad ambiental, resultado de la convergencia de condiciones óptimas como alta calidad del

hábitat, baja exposición visual, cobertura vegetal conservada (principalmente bosque y matorral) y una morfología favorable. Se concentran en el noroeste del área de estudio, destacando como núcleos prioritarios para la conservación estricta y refugios de biodiversidad.

Zona 4 – Alta (Verde claro): Incluye áreas con buen estado de conservación ecológica, pero con alguna presión visual o funcional moderada. Funcionan como zonas de conectividad ecológica, amortiguamiento y manejo sustentable, manteniendo buena funcionalidad territorial.

Zona 3 – Moderada (Amarillo): Comprende zonas de transición ecológica o paisajística, donde coexisten atributos medios en términos de cobertura, visibilidad o calidad del hábitat. Estas áreas pueden ser orientadas a usos multifuncionales bajo esquemas de manejo sostenible o restauración preventiva.

Zona 2 – Baja (Rojo claro): Corresponde a zonas ambientalmente degradadas o vulnerables, con pérdida parcial de cobertura natural, calidad estructural reducida y/o alta presión visual. Se localizan en laderas fragmentadas o bordes de expansión. Se proponen como objetivo de restauración focalizada o regulación del uso del suelo.

Zona 1 – Muy Baja (Rojo oscuro): Esta clase abarca sectores del territorio que presentan condiciones con un mayor grado de transformación o vulnerabilidad, no se descartan como zonas sin valor, sino que representan espacios clave para implementar medidas de manejo adaptativo, restauración gradual y reconversión de usos. Pueden incluir zonas de transición urbana, bordes fragmentados del ecosistema o corredores con presión antrópica, donde se puede promover infraestructura verde, revegetación visual o acciones de ordenamiento ecológico que permitan recuperar funciones ambientales y mejorar la calidad paisajística. Estas zonas también son valiosas como indicadores de presión acumulada, por lo que su monitoreo y atención son esenciales en un enfoque de gestión integral del territorio.

La cartografía permite visualizar y jerarquizar el territorio conforme a su potencial y fragilidad ambiental, representando una herramienta para orientar políticas de conservación, ordenamiento ecológico y gestión del territorio sensible al paisaje.

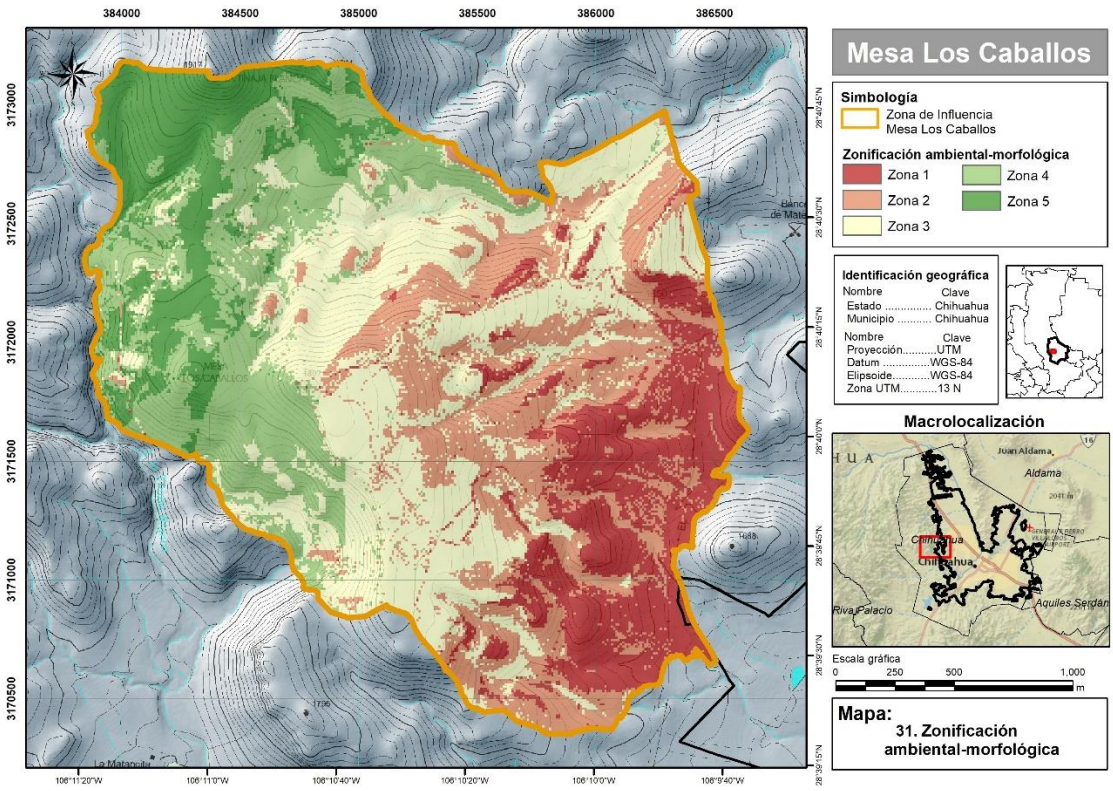


Figura 56. Zonificación ambiental-morfológica.

Compatibilidad Territorial

La integración espacial entre la zonificación ambiental-morfológica y los usos del suelo establecidos por el Plan de Desarrollo Urbano (PDU) en la Zonificación Secundaria del Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Chihuahua visión 2040, Séptima Actualización 2024, permitió generar un modelo de compatibilidad territorial que sintetiza la compatibilidad, riesgos y oportunidades de uso del territorio. Este cruce se llevó a cabo mediante una matriz de compatibilidad que analiza las interacciones entre las condiciones ecológicas-funcionales del paisaje y los tipos de uso o intensidad propuestos para el desarrollo urbano (Figura 57).

A través del análisis se identificaron siete clases de condicionantes: Compatible, Aceptable, Condicional, Mitigación, Restauración, Riesgoso y Conflicto, cada una reflejando el nivel de adecuación o vulnerabilidad del territorio frente a distintos usos del suelo. La distribución espacial de las clases se presenta en la Figura 55 correspondiente. El resultado más destacado es la predominancia de áreas clasificadas como Compatible, las cuales abarcan una superficie de 271.08 ha, principalmente en zonas que mantienen

buenas condiciones ecológicas y coinciden con usos del PDU de preservación ecológica. Le sigue la categoría Mitigación con 152.15 ha, que representa una proporción significativa del territorio. Estas áreas, aunque han sufrido algún nivel de degradación, aún conservan atributos ecológicos aprovechables, por lo que cualquier intervención debe estar condicionada a planes de manejo, restauración previa y evaluación ambiental rigurosa.

Las zonas Condicionales, que abarcan 56.75 ha, representan áreas que requieren una evaluación más exhaustiva, en tanto que su uso es viable solo bajo la normatividad del PDU vigente, de restauración o diseño ecológico. Las zonas de Restauración ocupan 27.94 ha y representan áreas con evidente deterioro funcional, que deben ser prioritarias en programas de recuperación ecológica y restricción de uso.

Las categorías más restrictivas son Riesgoso, con 4.82 ha, y Conflicto, con apenas 0.53 ha. Estas áreas presentan limitaciones graves o contradicciones evidentes entre el uso propuesto y la aptitud ambiental del sitio. Su aprovechamiento podría resultar en pérdidas de servicios ecosistémicos, fragmentación ecológica severa o impactos paisajísticos críticos, por lo que se sugiere su exclusión del desarrollo urbano inmediato.

Por último, las áreas clasificadas como Aceptables representan solo 2.32 ha, ubicándose como zonas marginales donde el uso puede ser viable siempre y cuando se integre un diseño cuidadoso, medidas de mitigación específicas y estudios técnicos que aseguren su funcionalidad ambiental y territorial (Figura 58).

Es importante señalar que un total de 20.83 hectáreas corresponden a las franjas destinadas a vialidades, de acuerdo con lo establecido en la Zonificación Secundaria del Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Chihuahua, Visión 2040 (Séptima Actualización 2024).

Este modelo de condicionantes es un insumo técnico para orientar decisiones de planeación territorial, gestión ambiental y evaluación de proyectos, promoviendo un enfoque preventivo, adaptativo y sustentable en el manejo del territorio.

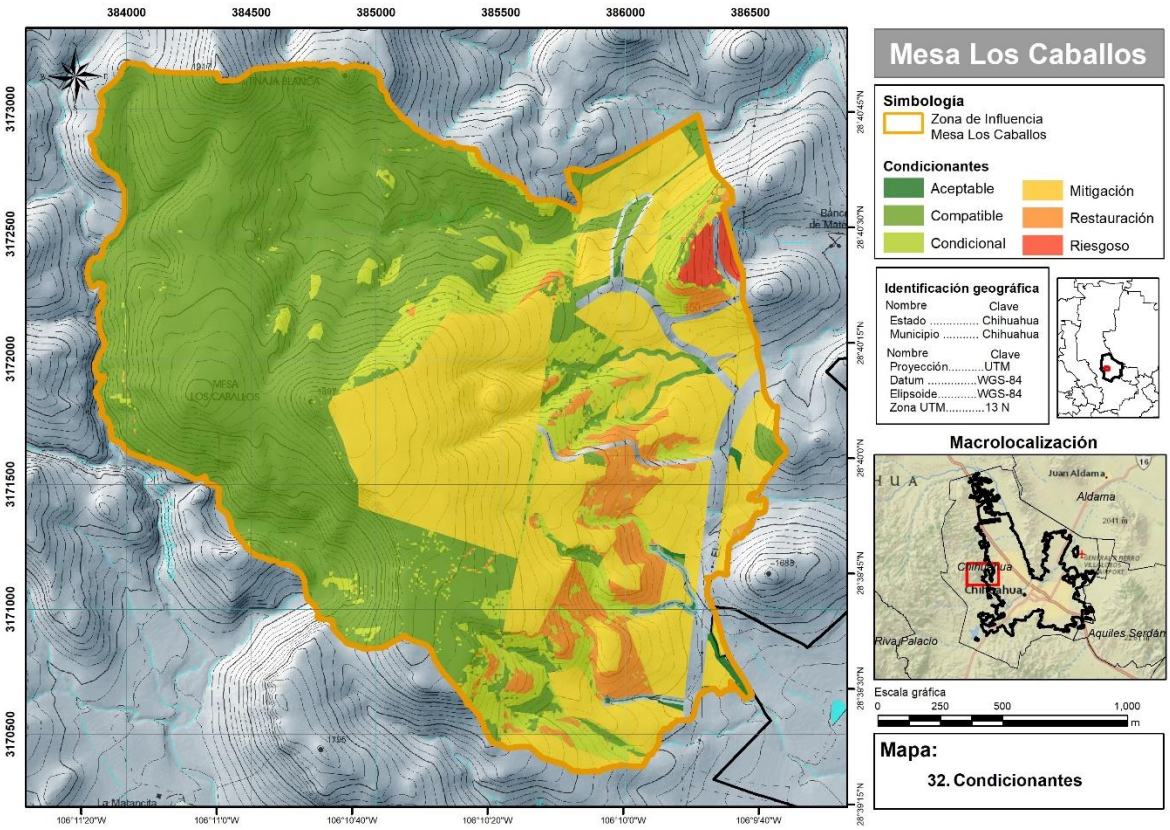


Figura 57. Condicionantes territoriales.

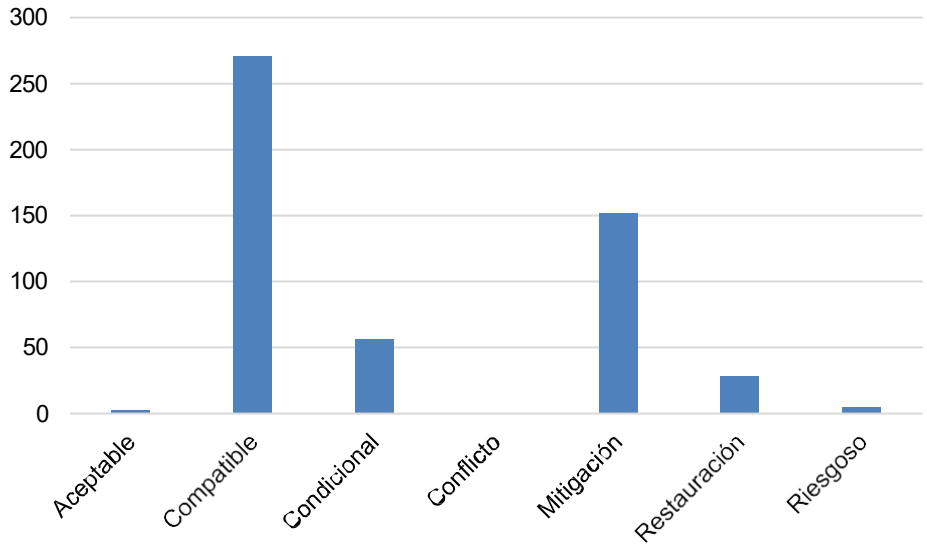


Figura 58. Superficies en hectáreas de las condicionantes territoriales.

Conclusiones

El estudio de la Mesa de Los Caballos (MLC) caracterizó su sistema morfológico, ecológico y visual, evidenciando una alta fragilidad territorial y una marcada heterogeneidad en su estructura biofísica. Las zonas noroccidentales y suroccidentales presentan las mejores condiciones ambientales, con vegetación resiliente, menor fragmentación y baja exposición visual, constituyendo núcleos funcionales estratégicos para la conservación de servicios ecosistémicos como la regulación hídrica, la conectividad biológica y el mantenimiento del paisaje. En contraste, las zonas orientales y de borde urbano muestran signos claros de degradación acelerada, producto de la presión antrópica, la fragmentación del hábitat y la exposición visual acumulada.

La integración de herramientas geoespaciales (SIG, NDVI, modelos digitales de elevación), modelos ecológicos (InVEST), métodos de evaluación multicriterio (AHP) y trabajo de campo proveyeron una aproximación al diagnóstico ambiental del área. La zonificación morfológica-ambiental propuesta, estructurada en cinco clases jerárquicas, sintetiza múltiples criterios (pendiente, exposición, calidad del hábitat, cobertura vegetal, visibilidad, entre otros), facilitando la delimitación de zonas prioritarias para la conservación o la restauración ecológica.

El modelo de calidad del hábitat revela superposiciones entre impactos visuales y degradación ecológica, especialmente en zonas al sureste del polígono. Esta coincidencia refuerza la necesidad de estrategias de restauración activa, como reforestación, manejo visual del paisaje, y control de accesos no planificados. Asimismo, la matriz de condicionantes generada mediante la intersección con el Plan de Desarrollo Urbano (PDU 2024), Séptima Actualización, permite orientar el uso del suelo bajo criterios de compatibilidad ambiental, promoviendo escenarios más sostenibles de desarrollo territorial.

El análisis integral realizado permitió identificar que la Mesa de Los Caballos alberga atributos ambientales y paisajísticos de relevancia regional. En particular, las zonas noroccidentales y suroccidentales del área de estudio presentan una alta representatividad ecosistémica, al conservar remanentes significativos de Matorral Desértico Micrófilo y fragmentos de Bosque de Encino, ecosistemas característicos del Desierto Chihuahuense.

Se documentó la presencia de especies sujetas a protección especial y amenazadas (NOM-059-SEMARNAT-2010), como *Biznaga tuberculosa*, *Escobaria chihuahuensis*,

Dasylirion wheeleri (Sotol) y *Yucca madrensis*, entre otras. La concurrencia de estas especies con núcleos de alta calidad de hábitat refuerza el valor biológico del área.

En cuanto a los valores escénicos, el modelo de calidad visual identificó zonas, particularmente en las porciones central y suroccidental, con baja perturbación visual y alta calidad paisajística, atributos que se asocian a potencial recreativo y turístico.

La confluencia de estos elementos, reúne atributos que podrían sustentar, a futuro, la realización de un Estudio Previo Justificativo (EPJ) para evaluar su posible declaratoria como Área Natural Protegida (ANP).

Consideraciones

Con base en los hallazgos técnicos, ambientales y territoriales obtenidos en el presente estudio, se emiten las siguientes consideraciones para orientar una gestión responsable y sustentable de la zona de influencia Mesa de Los Caballos (MLC):

- Delimitación del rol institucional de la Facultad

La Facultad participante en este proyecto actúa como entidad técnica y académica, desarrollando una caracterización y diagnóstico sustentado en evidencia científica. En este sentido, las decisiones relacionadas con el uso del suelo, aprobación de proyectos urbanísticos o emisión de permisos corresponden a las autoridades competentes. Por tanto, cualquier acción que se derive de este estudio deberá ser evaluada, aprobada y ejecutada por dichas instancias bajo el marco normativo correspondiente.

- Uso precautorio de los resultados del estudio

Se recomienda que los resultados, mapas temáticos y zonificaciones aquí presentadas sean considerados como insumos técnicos de referencia, no como lineamientos definitivos de uso del suelo y sean comparados con el trabajo de otras instituciones. Su aplicación debe enmarcarse dentro de procesos formales de ordenamiento ecológico, consulta pública y evaluación de impacto ambiental, evitando interpretaciones unilaterales o descontextualizadas.

- Revisión por organismos colegiados y multidisciplinarios

Ante la complejidad ecológica, visual y funcional del territorio, se sugiere que cualquier propuesta de desarrollo o modificación del uso del suelo sea sometida a la revisión de cuerpos colegiados integrados por expertos en ecología, urbanismo, derecho ambiental y desarrollo territorial. Esto permitirá contar con valoraciones técnicas independientes y garantizar el principio de legalidad y precaución ambiental.

- Evaluaciones de impacto ambiental independientes

Para cualquier intervención futura que contemple obras de urbanización, infraestructura o cambio de uso del suelo dentro del polígono de estudio, se recomienda la realización de Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA), Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales, Programa de Compensación, Estudios de Riesgo de Inundaciones y Deslizamientos, entre otros, elaboradas por terceros.

- No Vinculante

Este estudio constituye un insumo técnico y académico generado con fines de análisis, caracterización territorial y apoyo a procesos de planeación sustentable. Su contenido no representa una decisión normativa ni tiene carácter vinculante para instancias gubernamentales, municipales, o actores privados.

Recomendaciones

El área de influencia de la Mesa de Los Caballos, por su fragilidad ambiental y su valor paisajístico, requiere que cualquier intervención se gestione bajo un marco normativo robusto y con medidas técnicas específicas. Por ello, se identifican los siguientes estudios, evaluaciones y acciones que deben considerarse antes de cualquier proyecto urbano o de infraestructura.

Estudios y evaluaciones obligatorias

Previo a la autorización de proyectos, deberán implementarse estudios que aseguren la protección de los recursos naturales y la reducción de riesgos:

- Evaluación de Impacto Territorial, conforme a lo establecido por la Ley de Asentamientos Humanos Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Chihuahua.
- Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales, en caso de remover vegetación o modificar la cobertura.
- Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), en modalidad general o particular, conforme a lo establecido por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).
- Estudios Hidrológicos y de Inundación, particularmente en zonas de microdrenajes prioritarios o con pendientes pronunciadas, para prevenir riesgos a la población y a la infraestructura.
- Planes de Manejo de Residuos Sólidos y de Construcción, que garanticen la disposición adecuada y eviten contaminación del suelo y cuerpos de agua.
- Estudio de Riesgo y Plan de Contingencias Ambientales, en áreas susceptibles a erosión, deslaves o incendios es, con protocolos de respuesta.

Normatividad aplicable

Las acciones propuestas deberán alinearse con el marco jurídico vigente, destacando:

- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).
- Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Chihuahua.

- Reglamento de Protección al Medio Ambiente y Cambio Climático del Municipio de Chihuahua.
- Ley General de Asentamientos Humanos Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano.
- Ley de Asentamientos Humanos Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Chihuahua.
- Reglamento de Desarrollo Urbano Sostenible del Municipio de Chihuahua.
- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental
- Ley de Aguas Nacionales

Acciones de mitigación y conservación

Además de los estudios y lineamientos normativos, se recomienda adoptar medidas específicas de conservación y gestión ambiental:

- Acciones para evitar la erosión del suelo, como terrazas de infiltración, revegetación con especies nativas y control de escorrentías.
- Promover pasos de fauna en el diseño urbano, como pasos elevados, drenajes adaptados o corredores verdes, que mantengan la conectividad ecológica en esta zona de transición natural.
- Fomentar y respetar recorridos de senderismo y ecoturismo, reconociendo que forman parte de la identidad social del área y que contribuyen al valor cultural, recreativo y económico de la región.
- Planes de reforestación compensatoria en proporción al área intervenida.
- Control estricto de residuos y escombros con disposición autorizada y reciclaje de materiales.
- Programas de prevención de incendios y manejo controlado de combustibles forestales.

Tiempos de concentración

Es importante mantener la capacidad natural de infiltración y regulación del territorio, evitando el incremento de los caudales de escorrentía y con ello los riesgos de inundación, por lo tanto, se debe:

- Establecer restricciones de uso de suelo en zonas de captación natural y áreas con microdrenajes prioritarios, de manera que se conserve el funcionamiento hidrológico.
- Diseñar la urbanización de forma que no se reduzcan los tiempos de concentración; es decir, evitar que el agua escurra más rápido hacia zonas bajas por la pavimentación o el desmonte.
- Promover infraestructura verde de retención e infiltración, como parques de retención, humedales artificiales, zanjas de infiltración y techos verdes, que ayudan a mantener estables los tiempos de concentración.
- Establecer medidas de compensación hidráulica, de modo que la descarga de agua pluvial no supere los volúmenes y tiempos de concentración previos a potenciales desarrollos.

Glosario

AHP: Analytic Hierarchy Process (Proceso Analítico Jerárquico)
AMC: Área Mínima Cartografiable
ANP: Área Natural Protegida
CITES: Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres
CONAGUA: Comisión Nacional del Agua
CONANP: Comisión de Áreas Naturales Protegidas
CV: Coeficiente de Variación
DOS1: Dark Object Subtraction 1 (Método de corrección radiométrica)
EIA: Evaluación de Impacto Ambiental
EMC: Evaluación Multicriterio
EPJ: Estudio Previo Justificativo
GEE: Google Earth Engine
GIS: Geographic Information Systems (Sistemas de Información Geográfica)
IMPLAN: Instituto de Planeación Integral del Municipio de Chihuahua
INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía
InVEST: Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs
IUCN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
LC: Least Concern (Preocupación Menor)
LGEEPA: Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
MDM: Matorral Desértico Micrófilo
MDE: Modelo Digital de Elevación
MIA: Manifestación de Impacto Ambiental
Microdrenajes: Para efectos de este estudio, se refiere a las formas de drenaje superficial de menor jerarquía que microcuencas, dentro de la red hidrológica, los cuales concentran escurrimientos locales.
MLC: Mesa de Los Caballos
MSNM: metros sobre el nivel del mar
NASA: National Aeronautics and Space Administration
NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
NIR: Infrarrojo Cercano
NOM-059-SEMARNAT-2010: Norma Oficial Mexicana de especies en riesgo
OLI: Operational Land Imager (Sensor de Landsat)
Pc Parámetro Compuesto
PDU: Plan de Desarrollo Urbano
QA_PIXEL: Banda de control de calidad de píxeles en imágenes Landsat
RF: Random Forest (algoritmo de clasificación)
RH24: Región Hidrológica Bravo-Conchos
SCP: Semi-Automatic Classification Plugin (Complemento de QGIS)
SD: Standar deviation (Desviación Estándar)
SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SGM: Servicio Geológico Mexicano
SIG: Sistemas de Información Geográfica
SIATL: Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (INEGI)
TOA: Top of Atmosphere (Reflectancia en la parte superior de la atmósfera)
UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
USGS: United States Geological Survey
VU: Vulnerable (categoría de riesgo)
ZAM: Zonificación Ambiental-Morfológica

Literatura

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.

Aycrigg, J. L., Mccarley, T. R., Belote, R. T., & Martinuzzi, S. (2022). Wilderness areas in a changing landscape: changes in land use, land cover, and climate. *Ecological Applications*, *32*(1), e02471.

Biró, M., Molnár, K., Öllerer, K., Szilágyi, R., Babai, D., Molnár, C., & Molnár, Z. (2024). Oral history methods can reveal drivers of landscape transformation: Understanding land-use legacies with local and traditional knowledge in Central Europe. *People and Nature*, *6*(6), 2463-2479.

Berta Aneseyee, A., Noszczyk, T., Soromessa, T., & Elias, E. (2020). The InVEST habitat quality model associated with land use/cover changes: A qualitative case study of the Winike Watershed in the Omo-Gibe Basin, Southwest Ethiopia. Remote Sensing, 12(7), 1103

Bocco, G., Mendoza, M., & Velázquez, A. (2001). Remote sensing and GIS-based regional geomorphological mapping—a tool for land use planning in developing countries. Geomorphology, 39(3-4), 211-219.

Braun, A. (2015). Terrain analysis and landform recognition. In Geomorphological Techniques.

Bull, W. B. (1992). Geomorphic responses to climatic change. Geomorphic Responses to Climatic Change.

Burry, L. S., Palacio, P. I., Somoza, M., de Mandri, M. E. T., Lindskoug, H. B., Marconetto, M. B., & D'Antoni, H. L. (2018). Dynamics of fire, precipitation, vegetation and NDVI in dry forest environments in NW Argentina. Contributions to environmental archaeology. Journal of Archaeological Science: Reports, 18, 747-757.

Centeno-García, E. (2017). Mesozoic tectono-magmatic evolution of Mexico: An overview. Ore Geology Reviews, 81, 1035-1052.

Chandniha, S. K., & Kansal, M. L. (2017). Prioritization of sub-watersheds based on morphometric analysis using geospatial technique in Piperiya watershed, India. Applied Water Science, 7(1), 329-338.

Change, I. C. (2019). Land: an IPCC special report on climate change. Desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems, 41.

Del Pilar-Martínez, A., Samaniego, A. F. N., Moreno, E. A., Arias, A. M. S., Moya, M. J. P. O., Álvarez, S. A. A., & Levresse, G. (2021). Digital geological map and geochronological database of the Cenozoic cover of the southern Mesa Central province, Mexico. Terra Digitalis, 1-10.

Dhanush, S. K., Murthy, M. M., & Sathish, A. (2024). Quantitative morphometric analysis and prioritization of sub-watersheds for soil erosion susceptibility: a comparison between fuzzy analytical hierarchy process and compound parameter analysis method. Water Resources Management, 38(4), 1587-1606.

Ferrari, L., López-Martínez, M., Aguirre-Díaz, G., & Carrasco-Núñez, G. (1999). Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central Mexico: from the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt. Geology, 27(4), 303-306.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote sensing of Environment, 202, 18-27.

Gui, R., Song, W., Pu, X., Lu, Y., Liu, C., & Chen, L. (2022). A river channel extraction method based on a digital elevation model retrieved from satellite imagery. Water, 14(15), 2387.

Guisan, A., Weiss, S. B., & Weiss, A. D. (1999). GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. Plant ecology, 143, 107-122.

Hawley, J. W. (2005). Five Million Years of Landscape Evolution in New Mexico: An overview Based on Two Centuries of Geomorphic Conceptual-Model Development. New Mexico's Ice Ages: Bulletin 28, 28, 9.

Hengl, T., & Reuter, H. I. (Eds.). (2008). Geomorphometry: concepts, software, applications (Vol. 33). Elsevier.

Huggett, R., & Shuttleworth, E. (2022). Fundamentals of geomorphology. Routledge.

INEGI. (2013). Conjunto de datos de Perfiles de suelos. Escala 1:250 000. Serie II. Disponible en: (Continuo Nacional) https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825266707

INEGI. (2025). Modelo digital de elevación tipo superficie con 5m de resolución derivado de datos de sensores remotos satelitales y aerotransportados. H13C66B1. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463159940.

INEGI. (2025a). Carta topográfica H13C66b Disponible en: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825730437

Lee, H. (2023). AR6 synthesis report: climate change 2023. Summary for policymakers.

Migoń, P., Różycka, M., Jancewicz, K., & Duszyński, F. (2018). Evolution of sandstone mesas–following landform decay until death. Progress in Physical Geography: Earth and Environment, 42(5), 588-606.

Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(33), 13268-13272.

NASA POWER | DAV. (2025). NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources Data Access Viewer (DAV). Disponible en: https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/

Rabby, Y. W., Ishtiaque, A., & Rahman, M. S. (2020). Evaluating the effects of digital elevation models in landslide susceptibility mapping in Rangamati District, Bangladesh. Remote Sensing, 12(17), 2718.

Renard, K. G. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). US Department of Agriculture, Agricultural Research Service.

Salanié, J., & Coisnon, T. (2016). Environmental zoning and urban development: Natural Regional Parks in France.

Schad, P. (2023). World Reference Base for Soil Resources—Its fourth edition and its history. Journal of plant nutrition and soil science, 186(2), 151-163.

SGM. (2025). Geoinfomex. Disponible en: https://www.sgm.gob.mx/GeoInfoMexGobMx/# SIATL.

(2025). Simulador de flujos de aguade cuencas hidrográficas. Recuperado de: https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/

Solon, J., ROO-ZIELIŃSKA, E., & Degorski, M. (2012). Landscape scale of topography-soil-vegetation relationship: influence of land use and land form. *Pol. J. Ecol*, *60*(1), 3.

Tarolli, P. (2019). High-resolution topography for understanding Earth surface processes:

Opportunities and challenges. Geomorphology, 216, 295-312.

Tonetti, V., Pena, J. C., Scarpelli, M. D., Sugai, L. S., Barros, F. M., Anunciação, P. R., ... & Ribeiro, M. C. (2023). Landscape heterogeneity: concepts, quantification, challenges and future perspectives. *Environmental Conservation*, *50*(2), 83-92.

Vargas-Hernández, J. G. (2021). Sustainable Natural Resources Management and Land Planning: The Case of Parque Agroecológico De Zapopan. Available at SSRN 3825668.

Wang, J., Wu, Y., & Gou, A. (2023). Habitat quality evolution characteristics and multi-scenario prediction in Shenzhen based on PLUS and InVEST models. Frontiers in Environmental Science, 11, 1146347.

Warszawski, K. K., Nikiel, S. S., & Mrugalski, M. (2019). Procedural method for fast table mountains modelling in virtual environments. *Applied Sciences*, *9*(11), 2352.

Wilson, J. P., & Gallant, J. C. (Eds.). (2000). Terrain analysis: principles and applications. John Wiley & Sons.

Yang, Q., Jiang, C., & Ding, T. (2023). Impacts of extreme-high-temperature events on vegetation in North China. Remote Sensing, 15(18), 4542.

Yao, Y. (2024). Pattern and change of NDVI and their environmental influencing factors for 1986–2019 in the Qinling-Daba Mountains of central China. Frontiers in Forests and Global Change, 7, 1372488.

Anexo 1. Cuadro de construcción del área de estudio.

No	Coordenada X	Coordenada Y	No	Coordenada X	Coordenada Y	No	Coordenada X	Coordenada Y
1	385364.7861	3170617.535	341	383904.604	3172437.05	681	386482.55	3172198.84
2	385357.9166	3170639.003	342	383904.831	3172439.99	682	386491.395	3172183.01
3	385321.9332	3170685.569	343	383905.831	3172440.99	683	386498.379	3172174.16
4	385264.7831	3170751.186	344	383904.831	3172442.99	684	386499.31	3172155.07
5	385237.2663	3170793.52	345	383905.831	3172444.99	685	386501.638	3172142.5
6	385220.333	3170835.853	346	383905.831	3172450.99	686	386505.362	3172130.4
7	385201.2829	3170857.02	347	383904.831	3172451.99	687	386509.582	3172118.73
8	385152.5995	3170871.836	348	383905.831	3172452.99	688	386516.19	3172107.22
9	385121.6179	3170885.606	349	383905.332	3172454.24	689	386518.831	3172103.99
10	385116.6955	3170894.22	350	383908.606	3172456.32	690	386519.831	3172095.99
11	385070.1287	3170870.937	351	383918.131	3172473.79	691	386520.831	3172094.99
12	385027.7953	3170845.537	352	383930.831	3172486.49	692	386520.831	3172089.99
13	384968.5285	3170841.303	353	383953.056	3172496.01	693	386527.831	3172080.99
14	384950.7827	3170840.67	354	383980.043	3172546.81	694	386526.831	3172074.99
15	384948.1936	3170842.979	355	383992.743	3172586.5	695	386527.831	3172073.99
16	384881.5185	3170863.616	356	383991.156	3172635.71	696	386527.831	3172064.99
17	384848.1809	3170898.541	357	383991.156	3172676.99	697	386529.831	3172058.99
18	384827.1506	3170922.576	358	383970.518	3172703.97	698	386530.831	3172048.99
19	384828.0332	3170927.437	359	383959.406	3172734.14	699	386525.831	3172040.99
20	384828.5134	3170934.429	360	383913.368	3172761.12	700	386525.831	3172032.99
21	384827.839	3170940.844	361	383899.081	3172780.17	701	386528.603	3172028.81
22	384825.5116	3170946.975	362	383881.618	3172797.64	702	386528.83	3172018.51
23	384821.7083	3170951.982	363	383867.33	3172826.21	703	386548.831	3171950.99
24	384816.65	3170955.58	364	383872.093	3172842.09	704	386548.01	3171946.66
25	384810.4245	3170957.599	365	383857.805	3172865.9	705	386553.411	3171876.22
26	384803.4158	3170958.467	366	383854.63	3172889.71	706	386568.187	3171842.12
27	384788.2568	3170959.15	367	383860.98	3172894.47	707	386590.822	3171812
28	384782.1308	3170959.811	368	383876.855	3172902.41	708	386605.737	3171811.14
29	384776.1966	3170960.988	369	383891.143	3172932.57	709	386608.821	3171792.98
30	384770.6228	3170962.834	370	383891.143	3172954.8	710	386606.017	3171770.4
31	384765.5911	3170965.532	371	383894.745	3172973.71	711	386604.821	3171748.56
32	384762.6717	3170968.11	372	383897.781	3172972.94	712	386603.416	3171726.22
33	384765.3281	3170972.537	373	383900.821	3172977.43	713	386602.841	3171697.98
34	384767.4448	3170987.354	374	383899.841	3172990	714	386608.821	3171675.98
35	384752.6281	3171014.87	375	383896.874	3172994.38	715	386624.821	3171659.98
36	384725.1113	3171040.27	376	383896.752	3173000.35	716	386642.802	3171635.91
37	384714.528	3171080.487	377	383905.821	3173011.15	717	386640.717	3171619.22
38	384712.4113	3171114.354	378	383905.101	3173016.92	718	386631.841	3171609.98
39	384697.5946	3171143.987	379	383904.841	3173019	719	386605.821	3171583
40	384679.8111	3171150.264	380	383903.802	3173024.07	720	386604.841	3171579.98

41	384685.1892	3171156.377	381	383903.913	3173029.51	721	386603.821	3171578
42	384679.821	3171158.982	382	383902.554	3173036.47	722	386602.841	3171570.98
43	384675.6282	3171161.142	383	383900.351	3173041.01	723	386591.847	3171558.93
44	384671.9434	3171164.977	384	383896.473	3173046.12	724	386589.821	3171555
45	384667.821	3171165.982	385	383895.476	3173047.44	725	386588.756	3171552.81
46	384660.8411	3171172.001	386	383892.782	3173054.08	726	386582.906	3171544.18
47	384657.811	3171173.472	387	383892.841	3173056.99	727	386580.929	3171540.1
48	384653	3171175.95	388	383892.821	3173058	728	386566.841	3171526.98
49	384649.821	3171176.982	389	383895.842	3173061.98	729	386560.922	3171523.1
50	384646.7241	3171178.042	390	383895.796	3173064.21	730	386558.821	3171520
51	384644.8411	3171180.001	391	383903.74	3173071.85	731	386557.841	3171510.98
52	384634.1318	3171180.499	392	383908.14	3173077.78	732	386550.755	3171502.93
53	384623.7234	3171180.982	393	383911.841	3173078.98	733	386547.945	3171497.14
54	384619.0154	3171178.557	394	383915.815	3173081.67	734	386545.643	3171493.74
55	384606.6337	3171189.615	395	383919.955	3173083.02	735	386545.841	3171483.98
56	384602.6396	3171193.182	396	383923.311	3173086.51	736	386541.925	3171482.08
57	384595.493	3171193.036	397	383925.351	3173088.47	737	386536.821	3171476
58	384590.8979	3171192.942	398	383927.311	3173090.51	738	386536.842	3171474.99
59	384588.688	3171194.081	399	383929.861	3173092.96	739	386536.861	3171474.04
60	384583.3311	3171193.971	400	383937.38	3173100.79	740	386525.686	3171464.06
61	384580.3311	3171194.033	401	383941.715	3173102.89	741	386513.821	3171463
62	384575.7061	3171193.938	402	383972.967	3173135.5	742	386510.841	3171461.98
63	384570.8022	3171199.042	403	383974.841	3173140.98	743	386506.311	3171460.51
64	384562.9526	3171198.882	404	383975.821	3173145	744	386501.559	3171458.89
65	384558.8411	3171202.001	405	383977.823	3173148.89	745	386492.841	3171443
66	384554.0017	3171203.182	406	383979.253	3173156.21	746	386494.775	3171439.02
67	384552.1836	3171204.414	407	383981.548	3173159.6	747	386501.267	3171437.69
68	384549.7661	3171206.053	408	383983.841	3173162.98	748	386503.898	3171439.04
69	384543.821	3171207.982	409	383984.821	3173166	749	386508.764	3171438.94
70	384540.3293	3171209.78	410	383986.841	3173168.98	750	386511.032	3171440.11
71	384529.6977	3171210.726	411	383988.34	3173173.6	751	386518.532	3171438.89
72	384524.8411	3171212.001	412	383992.821	3173177	752	386524.187	3171435.06
73	384509.0935	3171221.783	413	383997.351	3173179.97	753	386536.96	3171434.8
74	384493.8171	3171236.332	414	384004.742	3173184.98	754	386543.821	3171440
75	384480.723	3171247.244	415	384034.648	3173183.27	755	386545.841	3171440.98
76	384465.4465	3171267.612	416	384040.846	3173181.76	756	386549.724	3171442.98
77	384453.8073	3171279.251	417	384045.823	3173177.98	757	386556.252	3171441.73
78	384424.3311	3171315.992	418	384064.517	3173179.04	758	386559.841	3171437
79	384418.8311	3171334.992	419	384069.904	3173177.99	759	386561.821	3171433.98
80	384418.8311	3171341.992	420	384077.821	3173171.98	760	386562.842	3171433
81	384419.8311	3171343.992	421	384079.841	3173171	761	386561.821	3171422
82	384416.8311	3171347.992	422	384089.821	3173161.98	762	386560.841	3171404.98
83	384416.8311	3171349.992	423	384091.841	3173161	763	386559.821	3171402

84	384413.8311	3171351.992	424	384098.901	3173155.3	764	386558.528	3171392.74
85	384412.8311	3171355.992	425	384118.841	3173154	765	386555.915	3171390.02
86	384409.8311	3171358.992	426	384121.821	3173152.98	766	386553.647	3171388.92
87	384411.8311	3171364.992	427	384128.841	3173152	767	386547.251	3171384.58
88	384406.8311	3171368.992	428	384130.821	3173150.98	768	386539.645	3171381.5
89	384405.8311	3171376.992	429	384169.841	3173149	769	386531.49	3171385.7
90	384402.8311	3171378.992	430	384171.821	3173147.98	770	386528.915	3171383.02
91	384402.8311	3171382.492	431	384174.841	3173147	771	386524.728	3171380.99
92	384377.089	3171401.946	432	384176.821	3173145.98	772	386520.861	3171376.96
93	384369.8311	3171406.992	433	384361.81	3173145	773	386517.857	3171374.08
94	384369.7608	3171407.484	434	384364.841	3173141	774	386516.841	3171371.98
95	384368.8311	3171413.992	435	384365.821	3173138.98	775	386515.801	3171370.98
96	384368.8311	3171419.278	436	384366.331	3173138.49	776	386515.902	3171366
97	384368.8311	3171430.992	437	384366.807	3173130.9	777	386510.39	3171360.71
98	384369.8311	3171432.992	438	384371.5	3173118.06	778	386506.109	3171355.06
99	384368.8311	3171433.992	439	384374.859	3173117.02	779	386508.361	3171348.48
100	384369.8311	3171434.992	440	384378.591	3173114.99	780	386506.472	3171346.67
101	384369.8311	3171440.992	441	384382.331	3173114.49	781	386504.841	3171334.98
102	384371.8311	3171441.992	442	384402.841	3173114.98	782	386500.913	3171333.08
103	384370.8311	3171443.992	443	384409.821	3173116	783	386494.8	3171325.02
104	384370.8311	3171448.992	444	384426.569	3173116.5	784	386494.881	3171321.03
105	384365.8311	3171455.992	445	384444.333	3173117.03	785	386491.821	3171317
106	384365.8311	3171457.992	446	384448.841	3173119.98	786	386490.565	3171310.57
107	384369.8311	3171469.992	447	384451.821	3173122	787	386485.096	3171306.42
108	384371.8311	3171471.992	448	384454.841	3173122.98	788	386483.366	3171309.98
109	384371.8311	3171478.992	449	384462.713	3173129.59	789	386480.821	3171307
110	384358.8311	3171491.992	450	384469.841	3173130.98	790	386478.346	3171303.23
111	384355.8311	3171491.992	451	384479.821	3173140	791	386475.821	3171302
112	384352.8311	3171494.992	452	384489.428	3173147.62	792	386471.653	3171295.64
113	384348.8311	3171496.992	453	384497.821	3173155	793	386465.857	3171290.08
114	384342.8311	3171497.992	454	384499.841	3173155.98	794	386464.841	3171287.98
115	384340.8311	3171499.992	455	384501.821	3173157	795	386462.821	3171287
116	384338.8311	3171498.992	456	384504.841	3173157.98	796	386459.499	3171284.75
117	384331.8311	3171498.992	457	384507.821	3173160	797	386454.027	3171286.62
118	384328.8311	3171500.992	458	384518.313	3173161.71	798	386449.851	3171284.47
119	384323.8311	3171500.992	459	384521.946	3173163.58	799	386444.966	3171282.1
120	384319.8311	3171504.992	460	384561.951	3173165.28	800	386442.857	3171280.08
121	384319.8311	3171516.992	461	384575.841	3173166.98	801	386441.474	3171277.23
122	384319.8311	3171519.992	462	384583.821	3173168	802	386437.841	3171275.98
123	384314.8311	3171524.992	463	384592.841	3173168.98	803	386434.764	3171274.98
124	384314.4303	3171529.2	464	384596.714	3173170.98	804	386430.898	3171270.96
125	384314.1818	3171531.809	465	384641.841	3173171.98	805	386427.764	3171271.02
126	384311.9277	3171530.76	466	384646.854	3173175.02	806	386424.841	3171267.98

127	384303.2243	3171525.478	467	384653.058	3173174.9	807	386423.821	3171267
128	384294.3787	3171522.857	468	384660.841	3173175.98	808	386422.829	3171262.93
129	384273.4114	3171520.236	469	384663.851	3173178.02	809	386420.821	3171261
130	384260.962	3171526.133	470	384674.598	3173177.8	810	386418.915	3171259.02
131	384196.7368	3171559.891	471	384681.841	3173178.98	811	386418.145	3171258.64
132	384166.9367	3171570.361	472	384686.709	3173181.49	812	386416.048	3171257.63
133	384156.7806	3171575.603	473	384722.519	3173182.22	813	386414.841	3171248.98
134	384141.8094	3171579.751	474	384727.249	3173179.01	814	386413.744	3171245.78
135	384129.5886	3171583.138	475	384736.39	3173178.83	815	386413.9	3171238.1
136	384107.6385	3171590.345	476	384739.821	3173180	816	386412.821	3171236
137	384087.3264	3171599.518	477	384742.841	3173180.98	817	386412.859	3171234.11
138	384050.3059	3171610.985	478	384745.966	3173182.05	818	386411.323	3171223.6
139	384019.8378	3171622.124	479	384766.039	3173180.42	819	386412.19	3171220.93
140	384007.0608	3171630.969	480	384768.821	3173178.98	820	386410.256	3171208.68
141	383998.2152	3171635.884	481	384772.841	3173178	821	386411.081	3171205.61
142	383989.042	3171644.729	482	384777.218	3173175.03	822	386411.768	3171203.98
143	383989.042	3171650.954	483	384781.331	3173174.95	823	386411.768	3171201.92
144	383985.7659	3171657.834	484	384784.331	3173175.01	824	386411.081	3171199.77
145	383976.2651	3171664.058	485	384786.784	3173174.96	825	386409.449	3171196.33
146	383961.1948	3171671.594	486	384789.821	3173176	826	386408.014	3171190.2
147	383955.2977	3171672.576	487	384797.918	3173176.99	827	386407.904	3171187.62
148	383946.7798	3171676.835	488	384801.936	3173179.06	828	386408.014	3171183.82
149	383944.4865	3171681.75	489	384806.831	3173178.96	829	386408.514	3171178.99
150	383938.8311	3171684.992	490	384809.784	3173179.02	830	386407.466	3171172.07
151	383938.2665	3171688.379	491	384813.847	3173177.63	831	386407.256	3171166.83
152	383937.8311	3171690.992	492	384818.851	3173181.02	832	386406.208	3171162.43
153	383938.8311	3171691.992	493	384822.331	3173180.95	833	386405.159	3171158.03
154	383938.8311	3171694.992	494	384834.459	3173181.2	834	386405.85	3171151.01
155	383937.8311	3171695.992	495	384836.821	3173179.98	835	386407.674	3171147.15
156	383936.8311	3171704.992	496	384840.573	3173178.76	836	386409.844	3171145.48
157	383938.8311	3171706.992	497	384850.979	3173170.51	837	386409.793	3171144.12
158	383939.8311	3171710.992	498	384856.164	3173163.52	838	386407.56	3171139.31
159	383932.8311	3171715.992	499	384857.191	3173163.19	839	386406.529	3171137.42
160	383934.8311	3171716.992	500	384859.38	3173163.76	840	386404.812	3171135.97
161	383935.8311	3171722.992	501	384915.853	3173178.54	841	386398.813	3171136.21
162	383937.8311	3171725.992	502	384935.831	3173171.1	842	386394.682	3171136.37
163	383937.8311	3171728.992	503	384956.445	3173171.52	843	386390.85	3171139.01
164	383936.9738	3171729.849	504	384963.092	3173168.9	844	386386.799	3171140.29
165	383936.8311	3171729.992	505	384966.821	3173166.98	845	386382.85	3171143.01
166	383931.8311	3171735.992	506	384970.943	3173165.98	846	386373.812	3171143.97
167	383929.8311	3171740.992	507	384974.436	3173162.34	847	386369.738	3171145.4
168	383928.8311	3171747.992	508	384981.767	3173156.19	848	386361.85	3171139.97
169	383924.8311	3171752.992	509	384987.841	3173155	849	386359.682	3171138.95

170	383924.8311	3171754.992	510	384994.942	3173149.04	850	386357.08	3171136.14
171	383922.8311	3171757.992	511	384998.831	3173148.96	851	386352.124	3171132.51
172	383915.8311	3171764.992	512	385001.7	3173149.02	852	386347.981	3171128.03
173	383907.8311	3171767.992	513	385005.805	3173145.08	853	386345.66	3171126.94
174	383907.8311	3171770.992	514	385007.017	3173142.58	854	386342.918	3171127.05
175	383904.8311	3171772.992	515	385011.841	3173139	855	386339.643	3171125.9
176	383904.8311	3171775.992	516	385012.821	3173132.98	856	386336.831	3171126.01
177	383901.8311	3171780.992	517	385015.763	3173122.81	857	386335.612	3171125.96
178	383897.8311	3171782.992	518	385015.841	3173118.99	858	386331.331	3171123.7
179	383897.8311	3171790.992	519	385015.811	3173117.49	859	386327.946	3171125.49
180	383898.8311	3171791.992	520	385015.862	3173114.99	860	386323.85	3171124.86
181	383902.8311	3171794.992	521	385015.821	3173112.99	861	386327.827	3171121.18
182	383902.8311	3171799.992	522	385015.841	3173111.99	862	386331.587	3171113.21
183	383898.8311	3171805.992	523	385015.821	3173110.98	863	386332.93	3171101.99
184	383898.8311	3171809.992	524	385017.587	3173105.82	864	386332.803	3171098.77
185	383893.8311	3171816.992	525	385018.821	3173096.98	865	386330.812	3171095.01
186	383893.8311	3171827.992	526	385020.351	3173094.01	866	386329.745	3171087.21
187	383892.8311	3171828.992	527	385021.848	3173087.87	867	386326.806	3171075.99
188	383892.8311	3171836.992	528	385023.881	3173083.92	868	386328.803	3171070.29
189	383891.8311	3171837.992	529	385023.761	3173078.04	869	386325.71	3171062.76
190	383892.8311	3171839.992	530	385025.821	3173076.98	870	386327.1	3171052.1
191	383887.8311	3171846.992	531	385027.841	3173076	871	386330.85	3171045.01
192	383884.8311	3171847.992	532	385030.821	3173073.98	872	386331.812	3171042.97
193	383880.8311	3171852.992	533	385034.711	3173072.09	873	386336.651	3171039.85
194	383879.8311	3171852.992	534	385038.841	3173066	874	386337.812	3171034.97
195	383877.8311	3171859.992	535	385040.821	3173062.98	875	386338.926	3171031.79
196	383875.8311	3171861.992	536	385041.88	3173061.96	876	386341.369	3171029.53
197	383875.8311	3171870.992	537	385043.821	3173055.98	877	386343.065	3171027.7
198	383878.8311	3171876.992	538	385044.841	3173054	878	386344.812	3171021.72
199	383881.8311	3171879.992	539	385045.831	3173045.9	879	386339.964	3171017.23
200	383883.8311	3171885.992	540	385047.841	3173042	880	386352.17	3170999.79
201	383886.8311	3171888.992	541	385048.821	3173035.98	881	386377.57	3170923.59
202	383887.8311	3171893.992	542	385050.841	3173033	882	386390.27	3170872.79
203	383891.0793	3171895.941	543	385052.821	3173029.98	883	386417.787	3170807.17
204	383892.8311	3171896.992	544	385063.841	3173017	884	386458.003	3170743.67
205	383892.8311	3171901.992	545	385064.821	3173013.98	885	386481.287	3170707.69
206	383895.8311	3171907.992	546	385089.786	3172987.18	886	386506.687	3170656.89
207	383900.8311	3171913.992	547	385091.821	3172982.98	887	386481.287	3170639.96
208	383903.8311	3171914.992	548	385095.841	3172978	888	386447.42	3170678.06
209	383907.8311	3171918.992	549	385100.341	3172970.42	889	386420.115	3170709.56
210	383909.8311	3171924.992	550	385107.681	3172964.26	890	386419.831	3170708.99
211	383911.8311	3171926.992	551	385112.995	3172962.96	891	386421.831	3170705.99
212	383908.8311	3171931.992	552	385123.379	3172952.16	892	386420.831	3170703.99

213	383905.8311	3171931.992	553	385130.305	3172949.42	893	386420.831	3170693.99
214	383892.8311	3171930.992	554	385144.821	3172935.98	894	386422.831	3170687.99
215	383886.8311	3171928.992	555	385148.053	3172934.41	895	386422.831	3170682.99
216	383882.8311	3171931.992	556	385150.841	3172929	896	386426.831	3170678.99
217	383881.8311	3171935.992	557	385152.741	3172925.09	897	386426.831	3170675.99
218	383881.8311	3171939.992	558	385158.821	3172919.98	898	386424.831	3170675.99
219	383879.8311	3171942.992	559	385163.841	3172919	899	386418.831	3170679.99
220	383876.8311	3171953.992	560	385168.7	3172916.5	900	386417.831	3170678.99
221	383871.8311	3171959.992	561	385174.995	3172914.96	901	386413.831	3170678.99
222	383871.8311	3171974.992	562	385183.454	3172906.16	902	386411.831	3170676.99
223	383874.8311	3171980.992	563	385185.841	3172905	903	386405.831	3170676.99
224	383873.8311	3171982.992	564	385189.821	3172901.98	904	386402.831	3170673.99
225	383875.8311	3171985.992	565	385193	3172900.95	905	386396.831	3170674.99
226	383877.8311	3171986.992	566	385196.821	3172898.98	906	386384.831	3170661.99
227	383877.8311	3171988.992	567	385202.013	3172897.72	907	386377.831	3170660.99
228	383880.4138	3171991.058	568	385215.517	3172886.07	908	386376.831	3170659.99
229	383882.8311	3171992.992	569	385219.839	3172885.98	909	386370.831	3170660.99
230	383882.8311	3171994.992	570	385224.502	3172887.18	910	386368.831	3170663.99
231	383883.8311	3171994.992	571	385226.821	3172885.98	911	386367.831	3170669.99
232	383884.8311	3172003.992	572	385229.841	3172885	912	386356.831	3170681.99
233	383889.8311	3172012.992	573	385234.821	3172880.98	913	386349.831	3170681.99
234	383890.8311	3172020.992	574	385236.558	3172880.42	914	386346.831	3170679.99
235	383908.8311	3172042.992	575	385239.189	3172879.56	915	386336.831	3170678.99
236	383908.8311	3172044.992	576	385246.821	3172872.98	916	386332.831	3170676.99
237	383910.8311	3172046.992	577	385254.314	3172870.55	917	386327.831	3170676.99
238	383910.8311	3172049.992	578	385255.821	3172868.98	918	386324.831	3170674.99
239	383911.8311	3172066.992	579	385259.861	3172867.02	919	386315.831	3170675.99
240	383910.8311	3172067.992	580	385261.858	3172864.94	920	386312.831	3170673.99
241	383911.8311	3172069.992	581	385267.841	3172863	921	386310.17	3170664.49
242	383909.8311	3172071.992	582	385269.821	3172861.98	922	386300.956	3170661.93
243	383909.8311	3172075.992	583	385271.841	3172861	923	386295.325	3170652.2
244	383906.8311	3172077.992	584	385275.106	3172857.6	924	386292.254	3170646.06
245	383905.8311	3172081.992	585	385277.821	3172859	925	386288.158	3170635.82
246	383898.8311	3172093.992	586	385280.346	3172860.23	926	386284.575	3170626.09
247	383897.8311	3172099.992	587	385282.821	3172864	927	386282.016	3170616.88
248	383894.6382	3172107.176	588	385291.885	3172864.99	928	386278.432	3170605.11
249	383893.8311	3172108.992	589	385294.107	3172867.3	929	386274.831	3170583.99
250	383893.8311	3172115.992	590	385299.821	3172864.98	930	386272.29	3170575.42
251	383892.8311	3172117.992	591	385309.418	3172862.88	931	386262.564	3170560.06
252	383893.8311	3172118.992	592	385311.681	3172858.21	932	386243.623	3170554.94
253	383891.8311	3172120.992	593	385314.492	3172855.28	933	386226.219	3170554.94
254	383891.8311	3172126.992	594	385319.821	3172850.98	934	386204.207	3170552.89
255	383891.8311	3172130.992	595	385323.841	3172850	935	386197.041	3170544.7

256	383890.8311	3172131.992	596	385326.821	3172848.98	936	386183.731	3170538.05
257	383891.8311	3172132.992	597	385331.841	3172848	937	386178.1	3170524.23
258	383891.8311	3172138.992	598	385333.821	3172846.98	938	386155.065	3170522.18
259	383889.8311	3172140.992	599	385339.841	3172846	939	386148.41	3170509.38
260	383889.8311	3172142.992	600	385341.86	3172844.96	940	386138.172	3170501.7
261	383887.8311	3172145.992	601	385359.119	3172845.31	941	386135.613	3170482.76
262	383888.8311	3172148.992	602	385365.841	3172844	942	386133.565	3170468.94
263	383887.8311	3172150.992	603	385368.821	3172842.98	943	386131.518	3170458.7
264	383890.8311	3172153.992	604	385380.841	3172842	944	386125.71	3170447.99
265	383890.8311	3172155.992	605	385383.241	3172840.77	945	386120.831	3170438.99
266	383887.8311	3172158.992	606	385396.771	3172841.04	946	386109.831	3170429.99
267	383889.8311	3172161.992	607	385401.841	3172835	947	386108.831	3170427.99
268	383889.8311	3172163.992	608	385403.311	3172831.97	948	386108.831	3170421.99
269	383887.8311	3172165.992	609	385408.037	3172825.74	949	386104.831	3170417.99
270	383887.8311	3172169.992	610	385406.168	3172818.45	950	386093.831	3170416.99
271	383886.8311	3172169.992	611	385409.516	3172811.55	951	386081.51	3170391.97
272	383884.8311	3172174.992	612	385412.875	3172805.89	952	386067.554	3170369.09
273	383884.8311	3172188.992	613	385414.841	3172804	953	386048.986	3170371.63
274	383885.8311	3172189.992	614	385415.821	3172799.98	954	386044.872	3170369.46
275	383885.8311	3172195.992	615	385416.952	3172798.9	955	386023.045	3170370.32
276	383887.8311	3172197.992	616	385419.857	3172792.91	956	386019.312	3170372.3
277	383890.8311	3172205.992	617	385421.841	3172791	957	386001.812	3170373.97
278	383894.8311	3172211.992	618	385425.801	3172784.96	958	385980.957	3170377.94
279	383894.8311	3172213.992	619	385429.841	3172783	959	385974.85	3170372.97
280	383897.8311	3172217.992	620	385434.331	3172780.49	960	385964.812	3170372.01
281	383905.8311	3172223.992	621	385438.95	3172780.11	961	385962.708	3170370.9
282	383905.8311	3172233.992	622	385440.712	3172778.87	962	385957.954	3170371.09
283	383906.8311	3172234.992	623	385444.068	3172777.73	963	385955.85	3170369.97
284	383906.8311	3172240.992	624	385446.712	3172775.87	964	385952.812	3170369.01
285	383907.8311	3172241.992	625	385449.921	3172774.78	965	385949.576	3170366.78
286	383904.8311	3172245.992	626	385451.331	3172772.49	966	385936.372	3170367.31
287	383902.8311	3172246.992	627	385452.331	3172772.49	967	385932.869	3170365.45
288	383899.8311	3172252.992	628	385452.331	3172771.49	968	385925.976	3170363.81
289	383899.8311	3172257.992	629	385454.545	3172771.04	969	385921.85	3170360.97
290	383897.8311	3172260.992	630	385455.331	3172769.49	970	385910.943	3170359.67
291	383897.8311	3172265.992	631	385456.331	3172769.49	971	385905.85	3170356.97
292	383899.8311	3172266.992	632	385456.331	3172768.49	972	385903.812	3170356.01
293	383900.8311	3172272.992	633	385456.331	3172767.49	973	385899.85	3170352.97
294	383907.8311	3172281.992	634	385457.331	3172767.49	974	385897.812	3170352.01
295	383908.8311	3172294.992	635	385457.821	3172766.98	975	385893.909	3170349.32
296	383906.8311	3172298.992	636	385462.841	3172766	976	385883.277	3170351.55
297	383902.8311	3172297.992	637	385475.821	3172754.98	977	385834.373	3170349.59
298	383899.8311	3172298.992	638	385478.841	3172754	978	385821.831	3170350.09

299	383900.8311	3172300.992	639	385491.194	3172743.13	979	385815.093	3170349.82
300	383899.8311	3172301.992	640	385495.841	3172742	980	385812.85	3170351.01
301	383894.8311	3172301.992	641	385497.821	3172740.98	981	385807.391	3170352.31
302	383888.8311	3172304.992	642	385500.851	3172739.51	982	385792.791	3170351.73
303	383883.8311	3172301.992	643	385503.821	3172737.98	983	385777.097	3170360.82
304	383880.8311	3172297.992	644	385510.185	3172736.95	984	385753.813	3170377.75
305	383868.8311	3172288.992	645	385517.821	3172727.98	985	385717.83	3170388.34
306	383858.8311	3172290.992	646	385524.841	3172727	986	385664.913	3170405.27
307	383857.8311	3172291.992	647	385526.821	3172725.98	987	385616.23	3170449.72
308	383857.8311	3172294.992	648	385553.137	3172724.14	988	385571.78	3170449.72
309	383852.8311	3172300.992	649	385590.168	3172691.01	989	385524.604	3170442.57
310	383850.8311	3172309.992	650	385615.568	3172646.56	990	385519.156	3170447.36
311	383843.8311	3172324.992	651	385647.318	3172635.98	991	385515.491	3170449.14
312	383842.8311	3172342.992	652	385708.702	3172638.09	992	385509.764	3170451
313	383841.8311	3172343.992	653	385751.035	3172621.16	993	385507.788	3170453.06
314	383842.8311	3172354.992	654	385810.302	3172591.53	994	385503.821	3170454.98
315	383842.8311	3172356.992	655	385818.769	3172627.51	995	385501.84	3170456.49
316	383844.8311	3172357.992	656	385803.952	3172663.49	996	385499.526	3170458.24
317	383844.8311	3172360.992	657	385774.319	3172699.48	997	385484.841	3170457.94
318	383845.8311	3172361.992	658	385772.202	3172724.88	998	385483.841	3170460
319	383844.8311	3172363.992	659	385763.368	3172755.8	999	385481.821	3170460.98
320	383847.8311	3172371.992	660	385795.317	3172761.5	1000	385479.84	3170462
321	383846.8311	3172373.992	661	385834.059	3172754	1001	385475.936	3170461.92
322	383847.8311	3172377.992	662	385858.831	3172750.99	1002	385472.851	3170463.51
323	383850.8311	3172381.992	663	385890.298	3172761.5	1003	385469.527	3170465.12
324	383851.8311	3172386.992	664	385947.787	3172791.49	1004	385461.411	3170473.57
325	383859.8311	3172393.992	665	385985.279	3172806.49	1005	385455.839	3170478.92
326	383858.8311	3172396.992	666	386010.274	3172820.24	1006	385454.841	3170482
327	383859.8311	3172397.992	667	386035.269	3172835.24	1007	385451.821	3170486.98
328	383870.8311	3172404.992	668	386079.01	3172861.48	1008	385451.841	3170488
329	383877.8311	3172405.992	669	386099.757	3172866.5	1009	385448.821	3170492.98
330	383878.8311	3172404.992	670	386290.113	3172977.54	1010	385447.841	3170500
331	383883.8311	3172404.992	671	386350.13	3172756.65	1011	385446.821	3170501.98
332	383885.8311	3172403.992	672	386373.337	3172726.99	1012	385445.841	3170504
333	383889.8311	3172405.992	673	386424.137	3172676.19	1013	385435.821	3170514.98
334	383893.8311	3172410.992	674	386430.487	3172629.63	1014	385434.841	3170518
335	383894.8311	3172410.992	675	386389.941	3172610.62	1015	385431.931	3170522.29
336	383896.8311	3172410.992	676	386446.365	3172403.78	1016	385430.841	3170539
337	383899.8311	3172413.992	677	386471.482	3172343.73	1017	385429.821	3170540.98
338	383902.8311	3172420.992	678	386468.117	3172242.6	1018	385427.993	3170544.75
339	383901.8311	3172422.992	679	386475.101	3172226.77	1019	385414.992	3170558.88
340	383903.8311	3172426.992	680	386480.222	3172212.34	1020	385413.757	3170574.03
						1021	385396.432	3170592.46

1022	385390.841	3170600
1023	385374.821	3170616.98
1024	385364.786	3170617.54

Anexo 2. Parámetros morfométricos y su descripción.

Parámetro	Descripción
Área de la cuenca (A)	Superficie total de la cuenca delimitada por divisorias de aguas. Se expresa en km^2 y representa el área que contribuye con escurrimiento superficial hacia un punto de salida común.
Perímetro (P)	Longitud total de los bordes que delimitan la cuenca, expresada en kilómetros (km). Se usa en cálculos de forma y compacidad.
Longitud de cuenca (Lb)	Longitud máxima de la cuenca medida desde la cabecera más alejada hasta el punto de salida, siguiendo la dirección principal del flujo. Se expresa en km.
Ancho de cuenca (B)	Ancho promedio de la cuenca, calculado como A/Lb (km). Da idea de la forma general (alargada o ancha) de la cuenca.
Relieve (H)	Diferencia altitudinal entre el punto más alto y el punto de salida de la cuenca. Se expresa en metros (m). Refleja la energía potencial del escurrimiento.
Elevación media	Altura media de toda la cuenca respecto al nivel del mar, expresada en metros (m). Se calcula sobre el modelo digital de elevación (DEM).
Elevación mínima	Valor mínimo de elevación en la cuenca, generalmente en el exutorio; unidad: m.
Elevación máxima	Valor máximo de elevación en la cuenca, generalmente en cabeceras; unidad: m.
Elevación inicial (canal principal)	Elevación en el punto de inicio del cauce principal; unidad: m.
Elevación final (canal principal)	Elevación en el exutorio del cauce principal; unidad: m.
Pendiente media de la cuenca (°)	Promedio de pendientes locales de la cuenca en grados, calculado sobre el DEM.
Pendiente media de la cuenca (%)	Promedio de pendientes locales de la cuenca en porcentaje, derivado de la pendiente en grados.
Pendiente del canal principal (extremos)	Pendiente longitudinal entre elevación inicial y final del cauce principal: Δe/Lc; adimensional.
Pendiente compensada del canal	Pendiente longitudinal del cauce ajustada a la longitud real del flujo; adimensional.
Pendiente compensada del canal (%)	Pendiente compensada del cauce expresada en porcentaje.
Densidad de drenaje (Dd)	Dd = Lt/A, longitud total de cauces sobre área de cuenca; unidad: km/km².
Frecuencia de corrientes (Fs)	Pendiente promedio del terreno expresada en grados (°). Calculada a partir del DEM. Influye en velocidad del escurrimiento y erosividad.
Relación de	Pendiente media de la cuenca expresada en porcentaje (%),

elongación (Re)	calculada como tangente del ángulo medio de inclinación × 100.
Relación de circularidad (Rc)	Pendiente longitudinal del cauce principal entre su inicio y salida. Rc = A/[π(P/(2π))²], relación entre forma de la cuenca y un círculo; adimensional. Indica energía del flujo.
Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc)	Pendiente ajustada del canal principal considerando longitud real del cauce. Kc = P/[2√(πA)], coeficiente de compacidad geográfica; adimensional.
Factor de forma (Ff)	Ff = A/Lb², factor de forma de cuenca; adimensional. Refleja la inclinación relativa del canal con respecto a su longitud total.
Factor de forma de Horton	Versión del factor de forma según Horton; adimensional.
Relación de elongación de Schumm	Variante del índice de elongación según Schumm; adimensional.
Longitud del flujo superficial (Lo)	Lo ≈1/(2·Dd), longitud media de flujo superficial antes de concentración; unidad: km.
Constante de mantenimiento de cauces (C)	C = 1/Dd, área requerida para mantener un metro de cauce; unidad: km²/km.
Número de rugosidad (Rn)	Rn = Dd·H, número de rugosidad que indica complejidad topográfica; adimensional.
Tiempo de concentración – Kirpich (Tc)	Tc (Kirpich): t = 0.01947·L^0.77·S^-0.385; unidad: min.
Tiempo de concentración – Kerby (Tc)	Tc (Kerby): suma de tiempos de flujo superficial y canal; unidad: min.
Tiempo de concentración – Giandotti (Tc)	Tc (Giandotti): método italiano que incorpora longitud y pendiente media; unidad: min.
Tiempo de concentración – Témez (Tc)	Tc (Témez): fórmula empírica para cuencas rurales; unidad: min.
Tiempo de concentración – USDA (Tc)	Tc (USDA): método estándar del Servicio de Conservación del Suelo de EE.UU.; unidad: min.
Tiempo de concentración – Passini (Tc)	Tc (Passini): estimación empírica europea; unidad: min.
Tiempo de concentración – Ventura-Heras (Tc)	Tc (Ventura-Heras): adaptación ibérica de Giandotti; unidad: min.
Tiempo de concentración – Bransby-Williams (Tc)	Tc (Bransby-Williams): correlación longitud-pendiente; unidad: min.
Tiempo de concentración – Johnstone-Cross	Tc (Johnstone-Cross): modelo empírico de tiempo de concentración; unidad: min.

(Tc)	
Tiempo de concentración – Clark (Tc)	Tc (Clark): modelo hidrológico con retardos de flujo superficial y canal; unidad: min.
Relación de bifurcación (Rb)	Rb = Nu(u)/Nu(u+1), relación de bifurcación entre órdenes; adimensional.
Orden de corriente (Strahler)	Frecuencia de drenaje, número total de cauces (Nu) por unidad de área (km²). Mide la fragmentación del terreno.
Longitud media de corrientes (Lm)	Lm = Lt/Nu, longitud promedio de segmentos de cauce; unidad: km. Relación entre el diámetro de un círculo equivalente en área a la cuenca y la longitud real de la cuenca. Valores cercanos a 1 indican formas más circulares.
Intensidad de drenaje (Id)	Id = Fs/Dd, mide eficiencia de evacuación del sistema; adimensional. Razón entre el área de la cuenca y el área de un círculo con el mismo perímetro. Mide cuán circular es una cuenca. Adimensional.
Gradiente del canal principal	Gradiente medio longitudinal del cauce principal; adimensional.
Sinuosidad del canal principal	Sinuosidad = Lc/Lb, relación entre longitud real y distancia recta; adimensional.
Longitud del canal principal (Lc)	Longitud total del cauce principal desde su inicio hasta el exutorio; unidad: km.
Longitud total de canales (Lt)	Lt: suma de longitudes de todos los segmentos de cauce; unidad: km.
Número de corrientes (Nu)	Número total de segmentos de cauce en la red; adimensional.
Textura de drenaje (Dt)	Dt = Nu/P, densidad de cauces por perímetro; unidad: km^{-1}.
Número de infiltración (If)	If = Dd·Fs, índice de infiltración; adimensional.
Relación de ajuste (Rf)	Rf = Lc/P, relación de ajuste o fitness ratio; adimensional.
Factor de asimetría (Af)	Af: índice de asimetría de la cuenca respecto al eje principal; adimensional.
Coeficiente orográfico (Oc)	Oc: coeficiente orográfico que relaciona topografía y precipitación; adimensional.
Índice de masividad	Massivity = A/H, índice de masividad geomorfológica; adimensional.
Densidad de confluencias	Junction Density: número de confluencias por km²; unidad: km^{-2}.
Coeficiente de almacenamiento	Storage Coefficient: capacidad de almacenamiento hídrico relativa; adimensional.
Integral hipsométrica (HI)	Relación entre A/Lb². Valores bajos indican cuencas alargadas. Adimensional.

Anexo 3. Matriz AHP y resultados de ponderación.

Criterio \ Criterio	Calidad hábitat	Importancia hábitat	Modelo morfológico	Cobertura de suelo	Microdrenajes (Pc)	Visibilidad paisajística	Calidad visual	Pesos
Calidad hábitat	1	2.282	0.994	5.478	2.602	3.474	4.332	29
Importancia hábitat	0.438	1	1.316	1.308	1.561	6.088	3.227	19
Modelo morfológico	1.006	0.76	1	2.477	2.229	1.489	1.292	17
Cobertura de suelo	0.183	0.765	0.404	1	1.542	2.68	3.482	12
Microdrenajes (Pc)	0.384	0.641	0.449	0.649	1	0.979	2.43	9
Visibilidad paisajística	0.288	0.164	0.671	0.373	1.021	1	1.951	8
Calidad visual	0.231	0.31	0.774	0.287	0.412	0.513	1	6

Anexo 4. Parámetros Morfométricos

Parámetros Morfométricos

FID1	Basin Area (A)	Perimeter (P)	Basin Length (Lb)	Basin Width (B)	Relief (H)	Mean Elevation	Minimum Elevation
FID 16	0.3161	3.9000	0.8839	0.3577	131.0000	1613.4679	1579.0000
FID 31	0.0709	3.1700	0.5583	0.1269	107.0000	1597.0772	1565.0000
FID 33	0.3308	4.6800	1.2871	0.2570	146.0000	1580.3032	1541.0000
FID 5	0.1900	2.5700	0.6595	0.2880	134.0000	1647.9810	1598.0000
FID 3	0.2381	2.6200	0.6774	0.3515	103.0000	1619.8116	1579.0000
FID 4	0.1222	2.1600	0.5274	0.2318	117.0000	1773.5052	1725.0000
FID 24	0.7562	6.1500	1.8592	0.4067	179.0000	1601.1320	1543.0000
FID 14	0.2138	3.0200	0.6271	0.3409	143.0000	1643.3099	1579.0000
FID 23	0.3499	4.4200	1.3102	0.2670	240.0000	1679.9766	1616.0000
FID 2	0.2999	3.9000	0.7489	0.4005	175.0000	1799.8882	1741.0000
FID 15	0.6304	5.3300	1.1164	0.5647	224.0000	1772.6281	1694.0000
FID 30	0.2849	4.1300	1.1591	0.2458	221.0000	1641.5351	1569.0000
FID 6	0.8093	6.8500	1.4618	0.5536	248.0000	1676.0216	1598.0000
FID 8	0.3885	3.8400	0.6498	0.5979	215.0000	1761.2230	1683.0000
FID 27	0.2200	4.3600	1.3205	0.1666	263.0000	1672.1193	1590.0000
FID 13	0.3679	3.6200	0.8077	0.4555	229.0000	1752.6425	1667.0000
FID 0	0.5680	4.6700	1.1902	0.4772	235.0000	1779.6755	1682.0000
FID 20	0.1668	3.0000	0.9711	0.1718	183.0000	1674.6600	1603.0000
FID 11	0.1894	2.7500	0.7898	0.2398	210.0000	1785.3804	1684.0000
FID 1	0.7109	5.5200	1.2726	0.5586	254.0000	1696.8217	1590.0000
FID 17	0.2288	2.7600	0.5668	0.4036	194.0000	1751.4799	1662.0000
FID 25	0.7900	5.6200	1.3469	0.5866	280.0000	1739.9124	1617.0000
FID 32	0.8509	7.2400	2.1280	0.3999	263.0000	1675.0832	1549.0000
FID 21	0.1552	3.0900	0.9832	0.1579	224.0000	1782.4658	1652.0000
FID 22	0.5624	5.1300	1.5339	0.3666	283.0000	1738.6659	1604.0000
FID 29	0.4223	5.9200	1.7080	0.2472	281.0000	1707.6434	1565.0000
FID 26	0.3613	4.9800	1.5684	0.2303	284.0000	1747.1419	1591.0000

Maximum Elevation	Start Elevation (Main Channel)	End Elevation (Main Channel)	Mean slope of the Basin (degrees)	Mean slope of the Basin (percent)	Main Channel Slope (Endpoints)	Compensated Channel Slope
1710.0000	1604.0000	1579.7500	13.5055	24.0181	3.1484	0.0336
1672.0000	1569.0000	1565.0000	9.9588	17.5586	4.3167	0.0407
1687.0000	1556.6667	1541.2500	7.3977	12.9836	4.6501	0.0506
1732.0000	1620.5556	1598.0000	16.0099	28.6932	6.8690	0.0693
1682.0000	1598.0000	1579.8333	16.9009	30.3840	2.6334	0.0264
1842.0000	1729.2222	1725.5000	18.3519	33.1724	3.3363	0.0355
1722.0000	1573.7778	1543.1667	13.4261	23.8715	2.7085	0.0270
1722.0000	1606.0000	1601.0000	16.8486	30.2844	3.6294	0.0355
1856.0000	1659.1111	1616.0000	20.3893	37.1684	3.6369	0.0366
1916.0000	1756.7778	1742.0000	17.1559	30.8709	4.4274	0.0378
1918.0000	1723.1111	1694.7500	18.0009	32.4937	4.5130	0.0428
1790.0000	1590.5000	1569.4000	14.1927	25.2903	4.9797	0.0482
1846.0000	1666.8571	1598.0000	18.5820	33.6187	4.4386	0.0406
1898.0000	1684.0000	1683.0000	19.4036	35.2227	8.0000	0.0800
1853.0000	1721.4444	1591.2500	14.6952	26.2256	14.3133	0.1464
1896.0000	1683.0000	1667.0000	18.6963	33.8410	3.8575	0.0387
1917.0000	1750.3333	1683.8571	21.6443	39.6823	7.3295	0.0735
1786.0000	1684.5556	1603.0000	15.1948	27.1596	12.0123	0.1159
1894.0000	1709.8889	1684.0000	19.8056	36.0133	9.5652	0.0944
1844.0000	1697.2222	1590.7500	19.6475	35.7018	8.9065	0.0754
1856.0000	1687.1111	1662.6667	24.7668	46.1362	6.6009	0.0732
1897.0000	1670.5556	1617.5000	24.7145	46.0255	4.5960	0.0447
1812.0000	1709.4444	1550.0000	18.0871	32.6602	7.3202	0.0743
1876.0000	1820.4444	1652.0000	18.8464	34.1331	24.8274	0.2387
1887.0000	1732.0000	1605.0000	16.7113	30.0229	13.0371	0.1261
1846.0000	1759.6667	1565.3333	15.0177	26.8281	12.7429	0.1108
1875.0000	1734.8889	1591.0000	15.8049	28.3063	13.5662	0.1379

Compensated Channel Slope (%)	Drainage Density (Dd)	Stream Frequency (Fs)	Elongation Ratio (Re)	Circularity Ratio (Rc)	Compactness Coefficient of Gravelius (Kc)	Form Factor (Ff)
3.3563	3.2144	25.3064	0.7178	0.2612	1.9568	0.4046
4.0688	1.4024	42.3280	0.5380	0.0886	3.3590	0.2274
5.0556	4.4099	15.1160	0.5042	0.1898	2.2955	0.1997
6.9330	3.3260	26.3227	0.7457	0.3614	1.6635	0.4367
2.6447	2.9289	12.5997	0.8128	0.4359	1.5147	0.5188
3.5501	3.1692	24.5449	0.7480	0.3292	1.7429	0.4395
2.7015	3.8715	17.1918	0.5278	0.2512	1.9951	0.2188
3.5475	4.1315	23.3863	0.8320	0.2946	1.8425	0.5437
3.6617	3.3882	2.8584	0.5094	0.2250	2.1081	0.2038
3.7781	2.9157	10.0025	0.8252	0.2478	2.0089	0.5348
4.2751	3.3687	11.1036	0.8025	0.2789	1.8937	0.5058
4.8197	5.2651	7.0194	0.5196	0.2099	2.1827	0.2121
4.0644	3.7409	21.0071	0.6944	0.2167	2.1481	0.3787
8.0000	3.1643	28.3140	1.0823	0.3311	1.7380	0.9201
14.6440	4.1341	4.5449	0.4008	0.1454	2.6221	0.1262
3.8725	3.3577	21.7465	0.8474	0.3528	1.6837	0.5639
7.3491	2.7657	14.0857	0.7145	0.3273	1.7481	0.4010
11.5902	4.0691	5.9934	0.4746	0.2330	2.0719	0.1769
9.4393	4.6829	15.8395	0.6218	0.3147	1.7826	0.3037
7.5388	2.9607	12.6605	0.7476	0.2932	1.8469	0.4390
7.3160	2.8016	13.1133	0.9521	0.3774	1.6278	0.7120
4.4692	3.5516	16.4552	0.7446	0.3143	1.7837	0.4355
7.4304	3.0696	8.2263	0.4891	0.2040	2.2141	0.1879
23.8669	4.3708	6.4423	0.4521	0.2043	2.2125	0.1606
12.6105	4.1817	16.0028	0.5517	0.2685	1.9297	0.2390
11.0773	4.8314	11.8406	0.4293	0.1514	2.5700	0.1447
13.7939	3.8781	8.3045	0.4324	0.1830	2.3374	0.1469

Horton's Form Factor	Schumm's Elongation Ratio	Length of Overland Flow (Lo)	Constant of Channel Maintenance (C)	Ruggedness Number (Rn)	Time of Concentration - Kirpich (Tc)	Time of Concentration - Kerby (Tc)
0.4046	0.7178	0.1556	0.3111	0.4211	0.2055	0.3068
0.2274	0.5380	0.3565	0.7131	0.1501	0.0356	0.2299
0.1997	0.5042	0.1134	0.2268	0.6439	0.0924	0.3338
0.4367	0.7457	0.1503	0.3007	0.4457	0.0789	0.2230
0.5188	0.8128	0.1707	0.3414	0.3017	0.2022	0.2825
0.4395	0.7480	0.1578	0.3155	0.3708	0.0454	0.2378
0.2188	0.5278	0.1291	0.2583	0.6930	0.2926	0.4497
0.5437	0.8320	0.1210	0.2420	0.5908	0.0517	0.2528
0.2038	0.5094	0.1476	0.2951	0.8132	0.2709	0.3565
0.5348	0.8252	0.1715	0.3430	0.5102	0.0947	0.2622
0.5058	0.8025	0.1484	0.2969	0.7546	0.1530	0.3145
0.2121	0.5196	0.0950	0.1899	1.1636	0.1087	0.3128
0.3787	0.6944	0.1337	0.2673	0.9277	0.3087	0.3581
0.9201	1.0823	0.1580	0.3160	0.6803	0.0060	0.2137
0.1262	0.4008	0.1209	0.2419	1.0873	0.1304	0.2598
0.5639	0.8474	0.1489	0.2978	0.7689	0.1180	0.2805
0.4010	0.7145	0.1808	0.3616	0.6499	0.1683	0.2894
0.1769	0.4746	0.1229	0.2458	0.7447	0.1114	0.2345
0.3037	0.6218	0.1068	0.2135	0.9834	0.0599	0.2245
0.4390	0.7476	0.1689	0.3378	0.7520	0.1932	0.2853
0.7120	0.9521	0.1785	0.3569	0.5435	0.0879	0.2097
0.4355	0.7446	0.1408	0.2816	0.9945	0.2426	0.3419
0.1879	0.4891	0.1629	0.3258	0.8073	0.3307	0.3797
0.1606	0.4521	0.1144	0.2288	0.9791	0.0842	0.1991
0.2390	0.5517	0.1196	0.2391	1.1834	0.1425	0.2848
0.1447	0.4293	0.1035	0.2070	1.3576	0.2030	0.3010
0.1469	0.4324	0.1289	0.2579	1.1014	0.1498	0.2851

Time of Concentration - Giandotti (Tc)	Time of Concentration - Témez (Tc)	Time of Concentration - USDA (Tc)	Time of Concentration - Passini (Tc)	Time of Concentration - Ventura-Heras (Tc)	Time of Concentration - Bransby-Williams (Tc)	Time of Concentration - Johnstone-Cross (Tc)
0.3718	0.1275	0.5952	0.4821	0.2446	0.1053	0.9633
0.1455	0.0271	0.4397	0.0314	0.0215	0.0138	0.3088
0.2894	0.0724	1.1788	0.1280	0.0713	0.0418	0.5733
0.2414	0.0774	0.4063	0.1140	0.0478	0.0404	0.5175
0.3679	0.1134	0.4056	0.4771	0.2620	0.1006	0.9533
0.1809	0.0297	0.3022	0.0417	0.0334	0.0166	0.3613
0.4834	0.1659	1.2558	0.7494	0.4173	0.1460	1.2116
0.2149	0.0354	0.3760	0.0483	0.0380	0.0190	0.3932
0.3344	0.1819	0.7092	0.7836	0.3259	0.1559	1.1527
0.2543	0.0721	0.4448	0.1345	0.0754	0.0429	0.5823
0.3440	0.1170	0.6463	0.2736	0.1392	0.0746	0.7952
0.2330	0.0883	0.7606	0.1758	0.0851	0.0534	0.6371
0.4703	0.2318	0.8320	0.8830	0.3495	0.1803	1.2546
0.2141	0.0066	0.3613	0.0012	0.0016	0.0014	0.0972
0.2498	0.1929	0.8509	0.2998	0.0635	0.0953	0.7169
0.2518	0.0828	0.4582	0.1861	0.1075	0.0537	0.6719
0.3567	0.1695	0.6235	0.3563	0.1237	0.0988	0.8463
0.2451	0.1494	0.6149	0.2320	0.0565	0.0757	0.6471
0.1852	0.0711	0.4343	0.0747	0.0283	0.0312	0.4325
0.4052	0.2170	0.7028	0.4500	0.1342	0.1225	0.9254
0.2216	0.0841	0.2754	0.1324	0.0561	0.0451	0.5551
0.3949	0.1864	0.6552	0.5875	0.2512	0.1336	1.0729
0.5362	0.3299	1.2288	1.0720	0.2976	0.2279	1.3119
0.2166	0.1714	0.5554	0.1632	0.0273	0.0659	0.5395
0.3315	0.1997	0.9238	0.2944	0.0747	0.0947	0.7594
0.3644	0.2795	1.0882	0.5677	0.1197	0.1532	0.9556
0.2963	0.2146	0.9728	0.3480	0.0782	0.1069	0.7846

Time of Concentration - Clark (Tc)	Bifurcation Ratio (Rb)	Stream Order	Mean Stream Length (Lm)	Drainage Intensity (Id)	Main Channel Gradient	Main Channel Sinuosity
0.0609	2.0000	2.0000	0.1270	7.8729	170.0776	0.8714
0.0228	3.0000	2.0000	0.0331	30.1823	1154.7072	0.1660
0.0557	1.6667	2.0000	0.2917	3.4277	440.3813	0.2576
0.0357	1.6667	2.0000	0.1264	7.9142	408.0770	0.4979
0.0542	1.3333	2.0000	0.1899	5.2666	221.7820	0.6174
0.0340	1.5000	2.0000	0.1291	7.7448	1048.6993	0.2116
0.1067	1.8571	3.0000	0.2252	4.4406	158.3803	0.6079
0.0463	1.2500	2.0000	0.1767	5.6605	1038.0036	0.2197
0.0619	1.0000	1.0000	1.1854	0.8436	202.4689	0.9047
0.0533	1.5000	2.0000	0.2915	3.4306	524.2924	0.4457
0.0824	1.7500	2.0000	0.3034	3.2961	356.4447	0.5629
0.0499	2.0000	2.0000	0.7501	1.3332	521.5665	0.3656
0.0960	2.4286	3.0000	0.1781	5.6155	159.8644	1.0612
0.0522	1.8333	3.0000	0.1118	8.9478	17199.9715	0.0192
0.0313	1.0000	1.0000	0.9096	1.0994	289.1372	0.6888
0.0627	2.6667	3.0000	0.1544	6.4766	552.1033	0.5136
0.0670	1.6000	2.0000	0.1963	5.0930	259.1067	0.7621
0.0280	1.0000	1.0000	0.6789	1.4729	269.5400	0.6992
0.0323	1.5000	2.0000	0.2956	3.3824	775.8932	0.3427
0.0723	1.8000	2.0000	0.2339	4.2762	212.4725	0.9394
0.0403	1.5000	2.0000	0.2136	4.6807	523.8750	0.6533
0.0936	1.8571	2.0000	0.2158	4.6331	242.5541	0.8571
0.0852	1.7500	2.0000	0.3731	2.6800	120.7448	1.0236
0.0216	1.0000	1.0000	0.6785	1.4739	330.1582	0.6900
0.0562	1.8000	2.0000	0.2613	3.8269	290.5108	0.6351
0.0477	1.6667	2.0000	0.4080	2.4507	184.2591	0.8929
0.0427	1.5000	2.0000	0.4670	2.1414	267.7622	0.6762

Main Channel Length (Lc)	Total Length of Channels (Lt)	Number of Streams (Nu)	Drainage Texture (Dt)	Infiltration Number (If)	Fitness Ratio (Rf)
0.7702	1.0161	8.0000	2.0513	81.3446	0.1975
0.0927	0.0994	3.0000	0.9464	59.3613	0.0292
0.3315	1.4587	5.0000	1.0684	66.6608	0.0708
0.3284	0.6318	5.0000	1.9455	87.5495	0.1278
0.6899	1.3291	5.0000	1.5766	50.7785	0.1554
0.1116	0.3874	3.0000	1.3889	77.7879	0.0517
1.1302	2.9275	13.0000	2.1138	66.5576	0.1838
0.1378	0.8833	5.0000	1.6556	96.6213	0.0456
1.1854	1.1854	1.0000	0.2262	9.6848	0.2682
0.3338	0.8745	3.0000	0.7692	29.1639	0.0856
0.6284	2.1237	7.0000	1.3133	37.4044	0.1179
0.4237	1.5002	2.0000	0.4843	36.9579	0.1026
1.5513	3.0273	17.0000	2.4818	78.5854	0.2265
0.0125	1.2293	11.0000	2.8646	89.5953	0.0033
0.9096	0.9096	1.0000	0.2294	18.7892	0.2086
0.4148	1.2352	8.0000	2.2099	73.0184	0.1146
0.9070	1.5708	8.0000	1.7131	38.9571	0.1942
0.6789	0.6789	1.0000	0.3333	24.3880	0.2263
0.2707	0.8869	3.0000	1.0909	74.1751	0.0984
1.1954	2.1047	9.0000	1.6304	37.4836	0.2166
0.3703	0.6409	3.0000	1.0870	36.7378	0.1342
1.1544	2.8059	13.0000	2.3132	58.4427	0.2054
2.1781	2.6120	7.0000	0.9669	25.2512	0.3008
0.6785	0.6785	1.0000	0.3236	28.1580	0.2196
0.9741	2.3518	9.0000	1.7544	66.9188	0.1899
1.5250	2.0402	5.0000	0.8446	57.2073	0.2576
1.0606	1.4010	3.0000	0.6024	32.2056	0.2130

Asymmetry Factor (Af)	Orographic Coefficient (Oc)	Massivity Index	Junction Density	Storage Coefficient	Hypsometric Integral (HI)
0.5000	0.0414	5103.8920	25.3064	0.0018	0.0045
0.5000	0.0076	22533.7178	42.3280	0.0009	0.0060
0.5000	0.0483	4777.5776	15.1160	0.0034	0.0166
0.5000	0.0255	8675.8676	26.3227	0.0010	0.0180
0.5000	0.0655	3813.3676	16.3532	0.0025	0.0216
0.5000	0.0143	14510.1674	24.5449	0.0007	0.0223
0.5000	0.1354	2117.4093	17.1918	0.0058	0.0519
0.5000	0.0306	7686.2014	23.3863	0.0008	0.0555
0.5000	0.0840	4801.9912	2.8584	0.0022	0.0591
0.5000	0.0525	6001.1277	10.0025	0.0010	0.0690
0.5000	0.1412	2811.7986	11.1036	0.0017	0.0693
0.5000	0.0630	5761.2886	7.0194	0.0018	0.0767
0.5000	0.2007	2071.0801	21.0071	0.0026	0.0850
0.5000	0.0835	4533.3926	28.3140	0.0006	0.0897
0.5000	0.0579	7599.6787	4.5449	0.0020	0.1055
0.5000	0.0842	4764.2337	21.7465	0.0009	0.1184
0.5000	0.1335	3133.5074	14.0857	0.0018	0.1304
0.5000	0.0305	10036.9195	5.9934	0.0016	0.1491
0.5000	0.0398	9426.5069	15.8395	0.0009	0.1506
0.5000	0.1806	2386.9481	12.6605	0.0019	0.1665
0.5000	0.0444	7655.9062	13.1133	0.0005	0.1903
0.5000	0.2212	2202.3510	16.4552	0.0020	0.2241
0.5000	0.2238	1968.5439	8.2263	0.0052	0.2353
0.5000	0.0348	11483.1102	6.4423	0.0013	0.2554
0.5000	0.1592	3091.5112	16.0028	0.0025	0.2794
0.5000	0.1187	4043.9130	11.8406	0.0031	0.3208
0.5000	0.1026	4836.3791	8.3045	0.0026	0.3500

Parámetro compuesto

Basin Area (A)	Perimeter (P)	Basin Length (Lb)	Basin Width (B)	Relief (H)	Mean Elevation	Minimum Elevation	Maximum Elevation
1	9	2	1	2	2	4	1
7	7	4	13	6	7	9	6
2	1	1	6	3	23	26	11
14	18	18	10	7	1	1	3
4	6	12	4	10	10	15	8
11	14	15	8	14	6	6	9
6	2	6	12	5	8	13	7
3	8	13	2	15	25	19	19
8	15	20	3	22	9	10	15
10	3	7	14	1	5	8	2
5	4	9	7	12	26	24	21
12	12	8	18	8	27	27	25
9	5	3	19	11	19	20	17
13	13	11	15	4	4	7	4
15	16	19	11	19	13	17	16
18	11	5	27	13	21	23	24
16	19	24	5	27	18	12	18
24	25	26	20	9	3	2	5
17	10	10	21	17	20	21	22
19	24	25	9	25	15	5	13
22	21	14	25	16	22	25	27
20	20	23	16	26	16	16	20
21	17	16	22	18	24	22	26
27	27	27	17	23	11	3	10
23	22	17	24	21	14	11	12
25	23	21	26	24	17	18	23
26	26	22	23	20	12	14	14

Start Elevation (Main Channel)	End Elevation (Main Channel)	Mean slope of the Basin (degrees)	Mean slope of the Basin (percent)	Main Channel Slope (Endpoints)	Compensated Channel Slope	Compensated Channel Slope (%)	Drainage Density (Dd)
2	4	2	2	8	10	10	1
7	14	12	12	5	5	4	20
21	26	17	17	4	4	5	9
1	1	1	1	13	14	14	24
14	15	8	8	22	23	23	19
4	6	5	5	14	13	13	27
8	12	10	10	16	15	15	11
27	19	20	20	27	27	27	23
19	11	6	6	26	26	26	21
5	8	13	13	1	1	1	5
18	24	23	23	21	21	21	25
25	27	14	14	9	7	7	4
15	20	27	27	15	16	16	3
6	7	4	4	3	3	3	10
9	17	24	24	6	6	6	14
13	22	21	21	19	20	20	8
23	10	9	9	25	25	25	18
3	2	3	3	2	2	2	17
12	21	19	19	7	8	8	12
26	5	7	7	23	22	22	26
20	25	15	15	11	11	11	13
22	16	11	11	24	24	24	22
24	23	25	25	18	17	17	2
17	3	16	16	17	18	18	7
16	9	22	22	20	19	19	6
11	18	26	26	12	12	12	15
10	13	18	18	10	9	9	16

Stream Frequency (Fs)	Elongation Ratio (Re)	Circularity Ratio (Rc)	Compactness Coefficient of Gravelius (Kc)	Form Factor (Ff)	Horton's Form Factor	Schumm's Elongation Ratio	Length of Overland Flow (Lo)
27	11	1	27	11	11	11	27
22	24	18	10	24	24	24	8
23	20	22	6	20	20	20	19
15	7	5	23	7	7	7	4
3	5	11	17	5	5	5	9
5	9	8	20	9	9	9	1
25	18	25	3	18	18	18	17
4	4	7	21	4	4	4	5
2	1	2	26	1	1	1	7
11	22	27	1	22	22	22	23
16	13	20	8	13	13	13	3
8	23	12	16	23	23	23	24
13	26	26	2	26	26	26	25
24	16	14	14	16	16	16	18
1	8	10	18	8	8	8	14
26	27	23	5	27	27	27	20
7	3	4	24	3	3	3	10
19	10	13	15	10	10	10	11
21	25	24	4	25	25	25	16
10	2	3	25	2	2	2	2
9	21	16	12	21	21	21	15
17	12	15	13	12	12	12	6
14	15	21	7	15	15	15	26
6	6	6	22	6	6	6	21
12	19	17	11	19	19	19	22
18	17	19	9	17	17	17	13
20	14	9	19	14	14	14	12

Constant of Channel Maintenance (C)	Ruggedness Number (Rn)	Time of Concentration - Kirpich (Tc)	Time of Concentration - Kerby (Tc)	Time of Concentration - Giandotti (Tc)	Time of Concentration - Témez (Tc)	Time of Concentration - USDA (Tc)	Time of Concentration - Passini (Tc)
27	1	2	6	1	2	8	2
8	8	4	9	5	4	4	4
19	3	3	8	2	3	2	3
4	9	9	22	14	7	25	7
9	13	12	7	10	15	13	13
1	25	11	20	8	11	19	11
17	5	6	4	9	8	6	6
5	20	7	1	6	18	11	10
7	23	14	10	11	21	21	16
23	2	20	13	21	12	5	20
3	21	5	5	3	5	7	5
24	6	10	11	13	6	9	9
25	7	8	2	7	10	1	8
18	4	22	19	22	14	12	21
14	18	24	24	17	19	18	25
20	11	1	3	4	1	3	1
10	24	16	15	15	23	23	17
11	12	25	27	26	16	27	24
16	16	13	12	12	9	10	12
2	27	21	18	20	26	24	22
15	15	17	21	18	13	15	14
6	26	15	14	16	22	22	15
26	10	18	17	19	17	14	18
21	17	27	26	27	27	26	27
22	14	19	16	24	24	17	19
13	22	23	23	23	20	16	23
12	19	26	25	25	25	20	26

Time of Concentration - Ventura-Heras (Tc)	Time of Concentration - Bransby-Williams (Tc)	Time of Concentration - Johnstone-Cross (Tc)	Time of Concentration - Clark (Tc)	Bifurcation Ratio (Rb)	Stream Order	Mean Stream Length (Lm)	Drainage Intensity (Id)
2	2	2	2	27	23	1	27
6	4	4	10	5	5	7	21
5	3	3	6	8	8	5	23
11	7	9	16	15	15	17	11
9	14	12	3	2	2	24	4
15	10	11	12	23	21	25	3
7	6	6	7	13	13	3	25
3	12	7	1	1	1	23	5
10	16	14	4	3	3	26	2
23	18	20	15	6	6	9	19
4	5	5	5	7	7	18	10
13	8	10	14	11	11	16	12
8	9	8	8	9	9	11	17
21	19	22	18	24	22	4	24
25	25	24	19	4	4	27	1
1	1	1	13	20	24	2	26
14	20	16	9	10	10	22	6
27	23	25	27	22	25	13	15
16	11	13	20	26	27	6	22
17	24	21	11	14	14	21	7
20	13	17	23	16	16	19	9
12	15	15	17	18	18	15	13
18	17	18	21	12	12	10	18
24	27	27	24	17	17	20	8
19	21	19	22	19	19	14	14
22	22	23	25	21	20	12	16
26	26	26	26	25	26	8	20

Main Channel Gradient	Main Channel Sinuosity	Main Channel Length (Lc)	Total Length of Channels (Lt)	Number of Streams (Nu)	Drainage Texture (Dt)	Infiltration Number (If)	Fitness Ratio (Rf)
26	2	2	1	6	9	16	2
24	4	4	8	13	18	27	3
25	3	3	2	7	15	22	4
18	5	7	17	15	11	18	5
12	19	14	6	2	4	3	23
19	7	11	18	5	5	9	8
17	9	6	3	12	21	25	11
15	18	13	5	1	3	5	22
13	17	18	10	3	2	2	19
8	13	15	15	14	16	13	13
23	6	5	9	10	13	21	7
21	8	8	7	9	7	6	6
20	15	9	4	8	12	8	12
4	22	16	11	19	22	24	17
6	24	23	12	4	1	1	26
27	1	1	13	24	27	26	1
11	16	20	16	11	6	7	20
2	12	21	26	26	23	17	14
22	10	10	14	20	24	20	9
5	23	25	20	16	8	14	25
16	11	12	22	17	14	10	10
14	14	19	23	23	20	19	15
10	20	17	19	21	19	12	16
1	26	27	24	18	10	4	27
7	25	24	21	22	17	11	21
9	21	22	25	25	25	15	18
3	27	26	27	27	26	23	24

Asymmetry Factor (Af)	Orographic Coefficient (Oc)	Massivity Index	Junction Density	Storage Coefficient	Hypsometric Integral (HI)	Total	CP
2	1	27	27	7	2	452	1
3	5	21	22	4	8	564	2
4	2	26	23	3	6	575	3
5	10	13	14	25	3	580	4
23	4	24	3	11	18	589	5
8	13	17	5	13	12	616	6
11	3	22	25	9	4	617	7
22	6	25	4	10	24	651	8
19	12	19	2	17	15	653	9
13	14	9	17	21	5	665	10
7	7	23	15	5	19	668	11
6	11	18	8	8	10	712	12
12	9	20	12	1	21	722	13
17	8	16	24	15	1	747	14
26	16	14	1	19	9	777	15
1	15	11	26	2	14	789	16
20	18	15	7	22	27	806	17
14	21	3	19	27	7	823	18
9	17	12	21	6	16	860	19
25	19	10	10	24	26	860	20
10	22	6	9	12	11	872	21
15	23	7	16	20	25	922	22
16	20	8	13	14	17	932	23
27	27	1	6	26	23	945	24
21	24	5	11	16	20	962	25
18	26	4	18	18	22	1026	26
24	25	2	20	23	13	1027	27