

# Anexo 1.6. Análisis para determinar áreas de conservación o restauración.

En el presente anexo se agrupan seis análisis que funcionaron como base primordial para determinar las áreas de conservación o restauración en el territorio. Dichos análisis fueron los siguientes:

1. Fragmentación, conectividad ecológica y corredores biológicos.
2. Cambios de uso de suelo (CUS).
3. Pérdida potencial de suelo (USLE).
4. Susceptibilidad a deslizamientos.
5. Susceptibilidad a inundaciones.
6. Susceptibilidad a incendios.

## 1. Fragmentación, conectividad ecológica y corredores biológicos

### Introducción

A continuación se presenta la memoria técnica de la investigación que se realizó para conocer la conectividad ecológica que se tiene de la cobertura forestal, para una especie sombrilla, en el área de estudio. Para ello se efectuaron los siguientes análisis; fragmentación, conectividad y por último corredores biológicos. La fragmentación se refiere a la división de un hábitat continuo en fragmentos de menor tamaño y con un mayor aislamiento a lo constituido originalmente. Dicho proceso surge como resultado del cambio de la cobertura del suelo para el desarrollo de actividades antropogénicas como la agroindustria y la expansión de las áreas urbanas. Los bordes o límites de los fragmentos de hábitat resultantes quedan expuestos a dichas actividades; ocasionando que sufran cambios en su estructura y modificando las dinámicas poblacionales de las especies. La fragmentación corresponde a una de las principales causas de la degradación de los ecosistemas, la pérdida de hábitat y consecuentemente la disminución de biodiversidad (Haddad et al. 2015).

Por su parte la conectividad ecológica, se refiere a aquella capacidad que tiene el paisaje para facilitar los procesos ecológicos que ocurren dentro de él, como el movimiento de las especies, el intercambio genético. Hoy en día, su cuantificación es fundamental no sólo

para el desarrollo de estrategias para la conservación de la biodiversidad, sino que también para un ordenamiento adecuado del territorio (De La Cruz y Maestre, 2013).

Según Taylor et al. (2006), existen dos tipos de conectividad; la estructural y la funcional. La primera hace alusión únicamente a las relaciones físicas que se dan entre los parches de hábitat y la segunda involucra el flujo y las interacciones de las especies con el paisaje.

Por último, se identificaron los corredores biológicos para el lince rojo dentro del área de estudio. Se entiende por corredor biológico, como un área continua o una franja que permite a grupos o individuos trasladarse a través de sus parches de hábitat. También se les refiere como las partes de la red ecológica que facilitan el movimiento de las especies desde un sitio a otro de relevancia para su conservación (Nina & Djurdjic, 2013). De igual manera, los corredores biológicos pueden aportar servicios ecosistémicos como la polinización de las zonas de cultivo y el control de plagas. Su identificación en el territorio es de gran importancia para mantener la conectividad del paisaje y conservar su biodiversidad.

## Objetivos

- Identificar las áreas de Lagos de Moreno con mayor el mayor índice de conectividad.
- Señalar los corredores ecológicos y sus zonas prioritarias para la especie sombrilla (*Lynx rufus*) en Lagos de Moreno.

## Área de estudio

El área de estudio seleccionada para el estudio corresponde al límite del municipio de Lagos de Moreno. Las especies no distinguen entre límites políticos por lo que se pretendió expandir el área de estudio para que se incluyera el área natural protegida “Sierra de Lobos” ubicada al sureste del municipio. Lo anterior no fue posible; por lo que los resultados de los análisis pueden presentar un sesgo en esa parte del territorio. Se busca que en un futuro dicha información se pueda incluir dentro del análisis.

## Metodología

Los análisis de fragmentación, conectividad y corredores ecológicos se determinaron con base en la especie Lince rojo (*Lynx rufus*), la cual, es una de las especies sombrillas localizada dentro del área de estudio. En cuanto al hábitat, se consideraron únicamente aquellos ecosistemas dentro del municipio de Lagos de Moreno que cuentan con cobertura forestal.

### 1.1 Fragmentación -FRAGSTATS

#### Metodología

El análisis de fragmentación considera únicamente las coberturas forestales indicadas anteriormente. La capa de uso de suelo con dicha información fue proporcionada por SEMADET, 2023. Para el análisis, se utilizó un software llamado “c”; que sirve para realizar

análisis de patrones espaciales para mapas categóricos, representando el modelo mosaico del paisaje en función a su estructura. Es importante mencionar que se basa en métricas de la configuración espacial del paisaje como el tamaño, la forma y la distribución de los parches de hábitat, por lo que no se considera la fragmentación funcional (McGarigal et al., 2015). Al igual se empleó el sistema de información geográfica QGIS para todo el procesamiento de las capas y la representación gráfica de los resultados.

A continuación se presentan las métricas utilizadas:

Métricas	Fórmula	Interpretación
Shape-Index	$SHAPE = \frac{0.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}$	Cuando este es igual a 1 el parche tiene una forma cuadrada y aumenta conforme más irregular
Core Area	$CORE = a_{ij}^c \left( \frac{1}{10,000} \right)$	Representa el área núcleo de cada parche, está medida en hectáreas y cuando es igual a 0 significa que todo el parche se encuentra influenciado por el efecto de borde
Number of Core Areas	$NCORE = n_{ij}^c$	Es el número de área núcleo por parche
Proximity Index	$PROXIM = \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2}$	Este índice es igual a 0 cuando un parche no tiene vecinos en un radio de 2000 m. Es una medida del aislamiento de los parches
Euclidean Nearest-Neighbor Distance		Distancia euclidiana al vecino más cercano, la medida lineal al parche más próximo

Tabla 1. Métricas

Elaboración propia con datos de McGarigal et al., (2015).

Para comenzar, el programa te pide que ingreses una capa de información, ésta debe corresponder a un ráster en formato "TIFF" en la que se tenga la cobertura forestal del área de estudio. Al cual primero se le debe quitar el espacio de las carreteras con un buffer inverso de 10 metros, además dicha capa tiene que estar reclasificada para que todo lo que sí sea cobertura forestal tenga un valor y todo lo que no es tenga otro valor; ninguno debe ser cero (Ejemplo: Cobertura forestal = 1, Todo lo demás = 2). A continuación se debe establecer una zona de borde (edge depth) y un radio de búsqueda; cuyos valores se eligen con respecto a la información consultada de la especie sombrilla. Para el lince rojo, se ha indicado una zona borde de 100 metros y un radio de búsqueda de 11 km<sup>2</sup> que corresponde a su rango de hábitat.

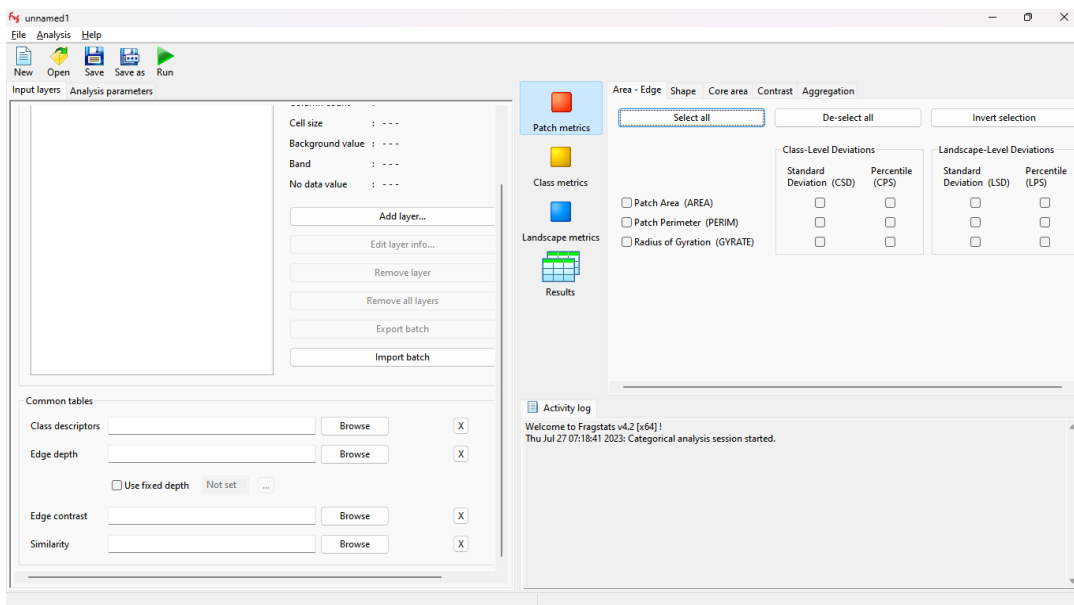


Figura 1. Primera imagen al ingresar a FragStats.

Fuente: Elaboración propia

Al correr el programa, se generan dos archivos de salida. El primero, corresponde a un archivo de texto separado por comas en donde se encuentra el resultado de las métricas para cada tesela. Mientras que el segundo, se trata de un archivo ráster que clasifica cada tesela con identificadores correspondientes. Para unir estos dos resultados, es necesario convertir el archivo de ráster a vectorial y con la herramienta "Unión" de QGIS pegar la tabla con las métricas al nuevo shapefile. Una vez realizado lo anterior, se procede a calcular el índice de fragmentación compuesta, para ello se crea una nueva columna en la tabla de atributos y se aplica la fórmula con la calculadora de QGIS, la cual se indica a continuación.

$$IFC = (SHAPE + CORE + N CORE + PROX + ENN)/5$$

El índice de Fragmentación Compuesta (IFC) clasifica los parches en función de su grado de fragmentación. La fragmentación que se considera como "muy alta", corresponde a las

teselas en las que se genera un efecto total de borde y están muy distantes de otras teselas. Esta categoría se ubica en el rango de valores más bajos, que va de 0 a 0.20.

La categoría "alta" corresponde el rango de 0.201 a 0.4, en las que se incluyen las teselas con un efecto total de borde similar al anterior, pero con la diferencia de que se encuentran más cercanas a otros parches de hábitat. En cuanto a la clase denominada "intermedia", se sitúa en un rango de 0.401 a 0.6. Se observa un equilibrio en las métricas de las teselas, aunque con una tendencia hacia la fragmentación. Los valores de IFC por arriba de 0.6 representan a las teselas con una o más áreas núcleo y una proximidad significativa con otras teselas. En estos casos, la fragmentación se considera baja (rango de 0.6 a 0.8) o incluso muy baja (>0.8).

## Resultados

En el área de estudio cuenta con una cobertura forestal de 80,459.52 hectáreas. Se obtuvieron un total de 2,147 parches de hábitat, con un área promedio de 74.92 hectáreas. El tamaño de los parches varía desde las 0.01 ha hasta las 20,191.7 ha. Como se observa en la Tabla 2, de acuerdo con el área total de superficie, en el área de estudio predominan los parches que presentan una fragmentación clasificada como alta. Aquellos fragmentos por su tamaño y grado de aislamiento son los que presentan una mayor susceptibilidad a sufrir alteraciones o incluso a desaparecer.

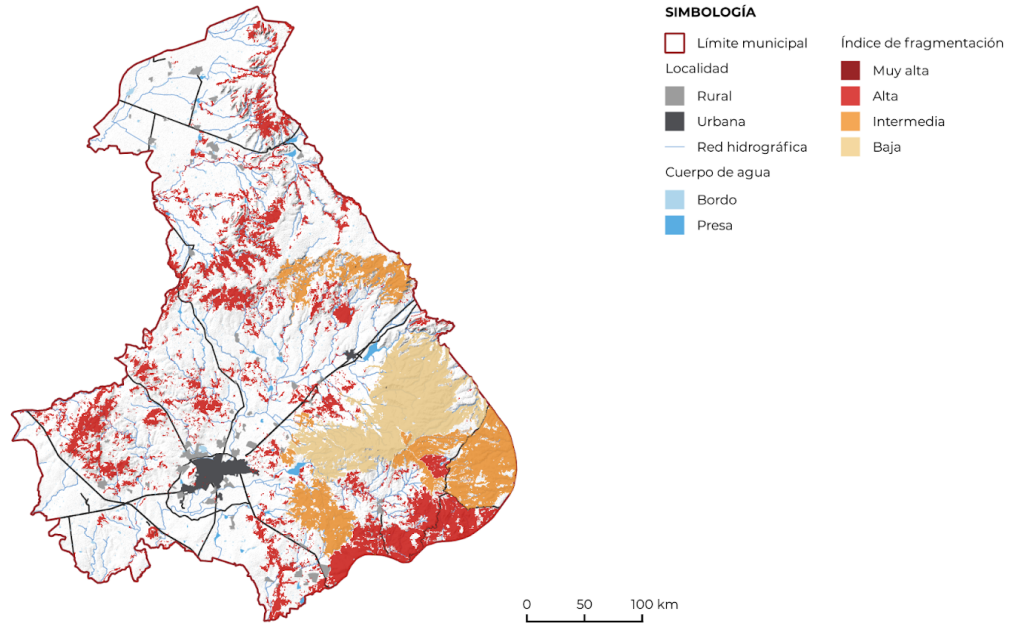
<b>Fragmentación</b>	<b>Rango</b>	<b>Área total (ha)</b>	<b>No. de parches de hábitat</b>
Muy alta	0 - 0.20	26.052	1
Alta	0.201 - 0.40	39,548.995	2004
Intermedia	0.401 - 0.60	20,716.125	141
Baja	> 0.60	20,191.742	1

Tabla 2. Índice de fragmentación y tamaño de los parches de hábitat.

Fuente: Elaboración propia.

En el Mapa 1, se observa que el parche que presenta un índice de fragmentación menor es aquel ubicado en la Sierra de Lobos. La mayor parte de la superficie del parche está dentro de la zona norte del área natural protegida, mientras que el resto se extiende al oeste hacia las localidades de El Ojuelo y Las Palomas. En cuanto a los parches más fragmentados, estos se encuentran distribuidos a lo largo de todo el municipio.

Para el caso del área de estudio, la fragmentación se debe principalmente a las tierras destinadas a los cultivos agrícolas (anuales y perennes) y a los pastizales cultivados e inducidos. De igual manera, la fragmentación de los parches de mayor tamaño coincide con la presencia de las principales carreteras que atraviesan por el municipio.



Mapa 1. Índice de fragmentación en Lagos de Moreno  
Fuente: Elaboración propia con datos de SEMADET.

## 1.2 Conectividad-CONEFOR

### Metodología

Para conocer la conectividad global del paisaje dentro del área de estudio, se calculó el Índice Integral de Conectividad (IIC) a partir de las especificaciones de hábitat y la capacidad de desplazamiento del lince rojo (*Lynx rufus*). El análisis de conectividad se basó en la metodología propuesta por Pascual-Hortal y Saura (2006, 2007) y De La Cruz y Maestre (2013). El índice mide cuantitativamente la disponibilidad del hábitat dentro de cada uno de los parches de hábitat del territorio, al igual que la disponibilidad que existe a partir de las uniones que existen con los demás parches. Por lo que para su estimación se consideran el tamaño y la calidad del parche así como la intensidad o fuerza de las conexiones. Entre más grande es el valor del índice mayor es la capacidad del paisaje para permitir el movimiento de la especie (Saura, S. & J. Torné, 2009). A continuación se presenta la expresión en la que se desglosa el índice (dIIC) y la contribución de cada fracción respecto a la conectividad global del paisaje (De La Cruz y Maestre, 2013).

$$dIIC = dIICintra + dIICflux + dIICconnectork$$

Fracción	Contribución
dIIC intra	Su contribución corresponde al tamaño/área del hábitat disponible al interior de cada tesela y la calidad de la misma.

dIIC flux	Su contribución corresponde a las conexiones de los grafos internos que representan los sitios de interconexión de los flujos de desplazamiento de la especie.
dIIC conector	Su contribución corresponde a la capacidad de las teselas de fungir como puentes o conectores entre los mismos; por lo que considera parches de menor tamaño que conectan a los de mayor importancia.

Tabla 3. Contribución de cada fracción respecto a la conectividad global del paisaje.

Fuente: Elaboración propia con datos de De La Cruz y Maestre (2013) y Saura, S. & J. Torné, (2009).

Para dicho análisis se utilizó la extensión de CONEFOR para ArcMap ([Jenness Enterprises - ArcGIS Tools: Conefor Inputs Tool](#)), así como el software CONEFOR. Para el primero se requirió un shapefile con las teselas correspondientes a los parches de hábitat, el resultado son dos archivos de texto; uno con los nodos y el otro con las conexiones. En el software se ingresan estos dos últimos archivos que se obtuvieron en el paso previo y se selecciona únicamente el índice de conectividad (IIC).

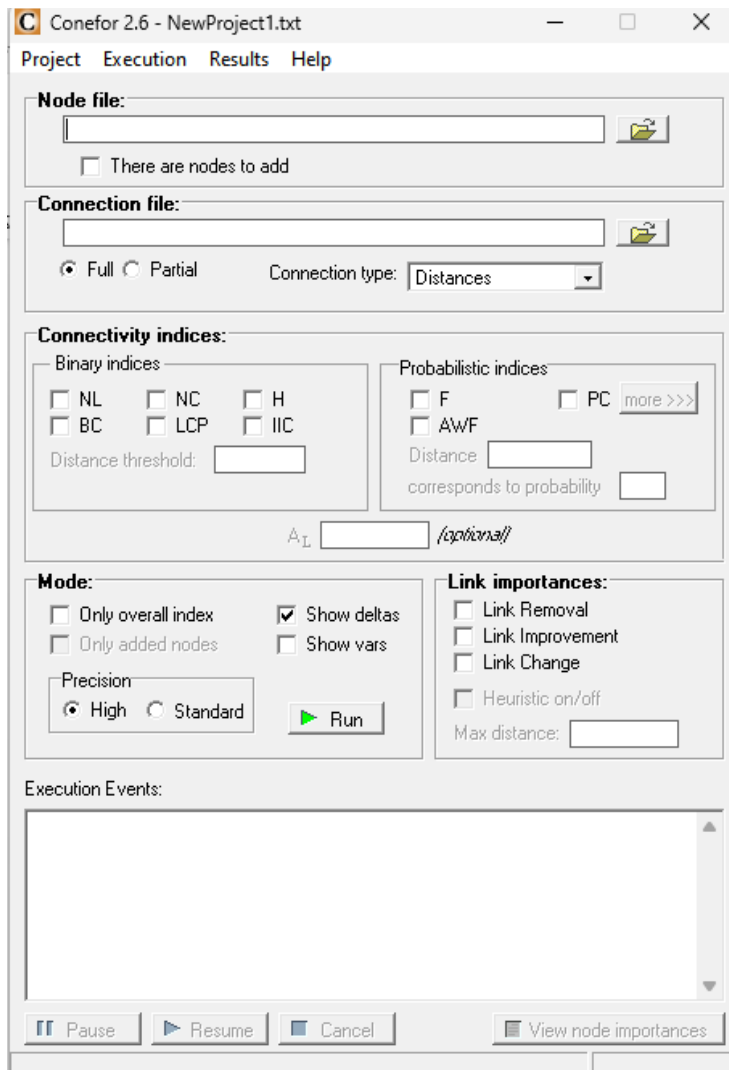
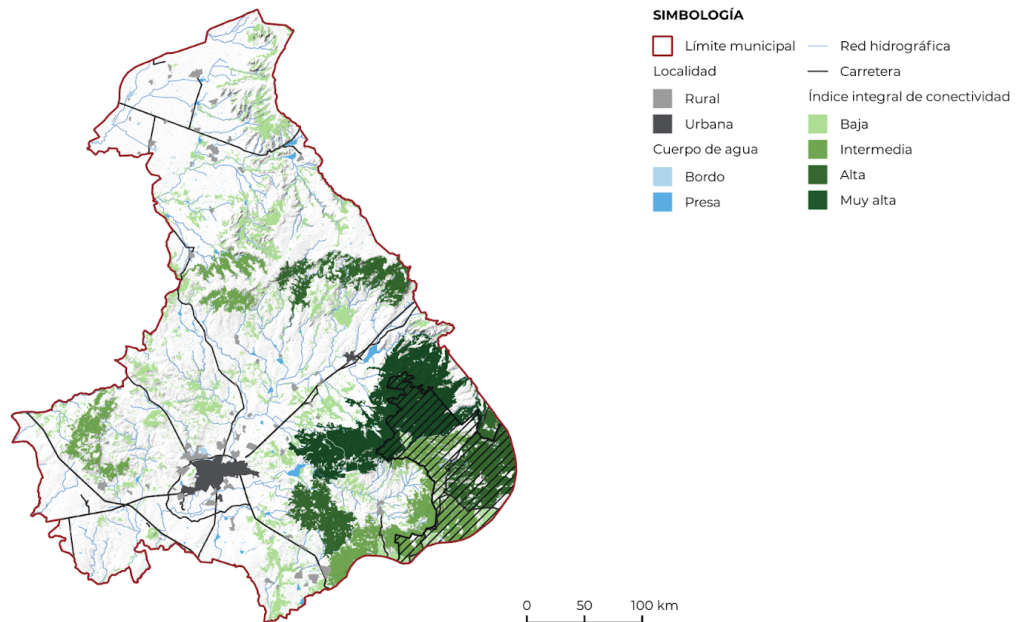


Figura 2. Software CONEFOR.

Fuente: Elaboración propia

## Resultados

El resultado que se obtiene al correr el programa es un archivo de texto con los valores del índice en un campo llamado "dIIC". Dicha columna se une al shapefile de las teselas con la herramienta "Unión" de QGIS y luego se reclasifica. Se crean las siguientes cuatro categorías a partir del método de Jenks; conectividad "baja", "intermedia", "alta" y "muy alta". La clase con los valores más altos corresponde a la clase muy alta. Finalmente el shapefile anterior se rasteriza.



Mapa 2. Índice integral de conectividad en Lagos de Moreno  
Fuente: Elaboración propia con datos de SEMADET (2023).

## 1.3 Corredores ecológicos-LINKAGE MAPPER

### Metodología

Para el análisis de los corredores ecológicos dentro del área de estudio, se empleó el toolbox Linkage Mapper de ArcMap desarrollado por el Conservation Biology Institute. La herramienta utiliza las áreas de hábitat y un mapa de resistencia para identificar la red de conectividad. La metodología que se usó para el mapa de resistencia fue aquella propuesta en la “Propuesta de rutas de conectividad para la conservación de la biodiversidad en Sierra Maestra, Cuba”.

Posteriormente, se realizó un análisis de los flujos de corriente máxima para determinar aquellas zonas en donde se localizan los puntos críticos; donde el flujo de individuos es mayor y más restringido por lo que se les considera de alto valor ecológico y prioritarios para los esfuerzos de conservación. Se considera que la pérdida de hábitat en estas zonas puede comprometer por completo la conectividad de los núcleos (Bartesaghi, 2015).

#### 1. Mapa de fricción

Para el mapa de fricción se tomaron en cuenta los siguientes seis componentes; cobertura de suelo, distancia a red vial pavimentada, distancia a red fluvial, distancia a poblaciones urbanas, distancia a poblaciones rurales incluye Cada variable se considera prioritarias para definir las limitaciones de conectividad entre los parches de hábitat, de acuerdo con el artículo “Propuesta de rutas de conectividad para la conservación de la biodiversidad en Sierra Maestra, Cuba” de Puebla, et. al. 2020. Para cada variable cinco niveles de dificultad al desplazamiento para las 6 variables, siendo el 1 para aquellas que presentan nula o

mínima dificultad hasta llegar a 5 para aquellas que representan una dificultad alta al desplazamiento. En la Tabla 4 se muestran las variables y los criterios para su ponderación.

Componente	Categoría de dificultad de desplazamiento					Jerarquía	Peso
	1	2	3	4	5		
Cobertura de suelo	Bosque de coníferas y de encino.  Vegetación de galería.  Selva baja caducifolia.  Agua	Bosques cultivados e inducidos.  Matorral	Pastizales naturales	Tierras agrícolas perennes y anuales.  Pastizales cultivados e inducidos	Suelo desnudo  Urbano y construido	1	0.3
Distancia a red vial pavimentada	mayor a 1001	de 501 a 1000	de 201 a 500	de 51 a 200	menos de 50	2	0.2
Distancia a red fluvial (m)(orden mayor a 3)	Menos de 15	de 16 a 50	de 51 a 100	de 101 a 200	mayor a 200	3	0.2
Distancia a poblaciones urbanas. EL BUFFER, SIN TENER EN CUENTA A LA MANCHA.	mayor a 1001	de 501 a 1000	de 201 a 500	de 51 a 200	menos de 50	4	0.15
Distancia a poblaciones rurales  EL BUFFER, SIN TENER EN CUENTA A LA MANCHA.	mayor a 500	de 301 a 500	de 101 a 300	de 21 a 100	menos de 20	5	0.10

Distancia a terracerías	mayor a 500	100 a 500	51 a 100	de 11 a 50	menos de 10	6	0.05
-------------------------	-------------	-----------	----------	------------	-------------	---	------

Tabla 4. Establecimiento del nivel de dificultad al desplazamiento

Fuente: Elaboración propia con datos de Puebla, et. al. (2020).

Una vez que se tiene un ráster, es reclasificado del 1 al 5, para cada una de las variables anteriormente mencionadas. Se utiliza la herramienta de Arcmap llamada “Suma ponderada” para realizar una superposición de todas las variables, cada una con su respectiva ponderación. El resultado corresponde a un nuevo ráster en el cual se muestra el nivel de dificultad para el desplazamiento de la especie sombrilla por cada píxel. A continuación se muestra el mapa de resistencia para la especie.

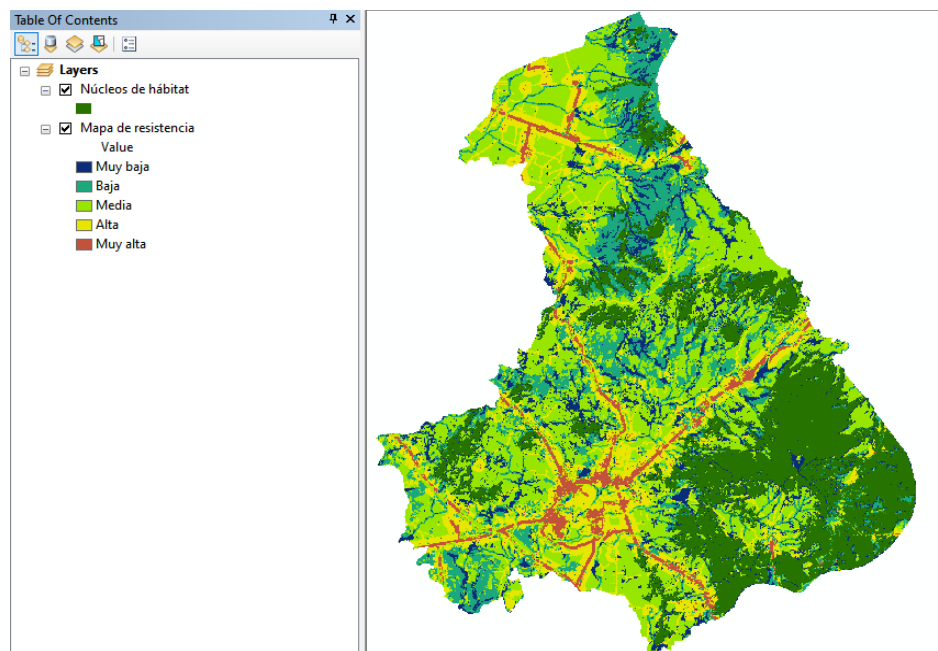
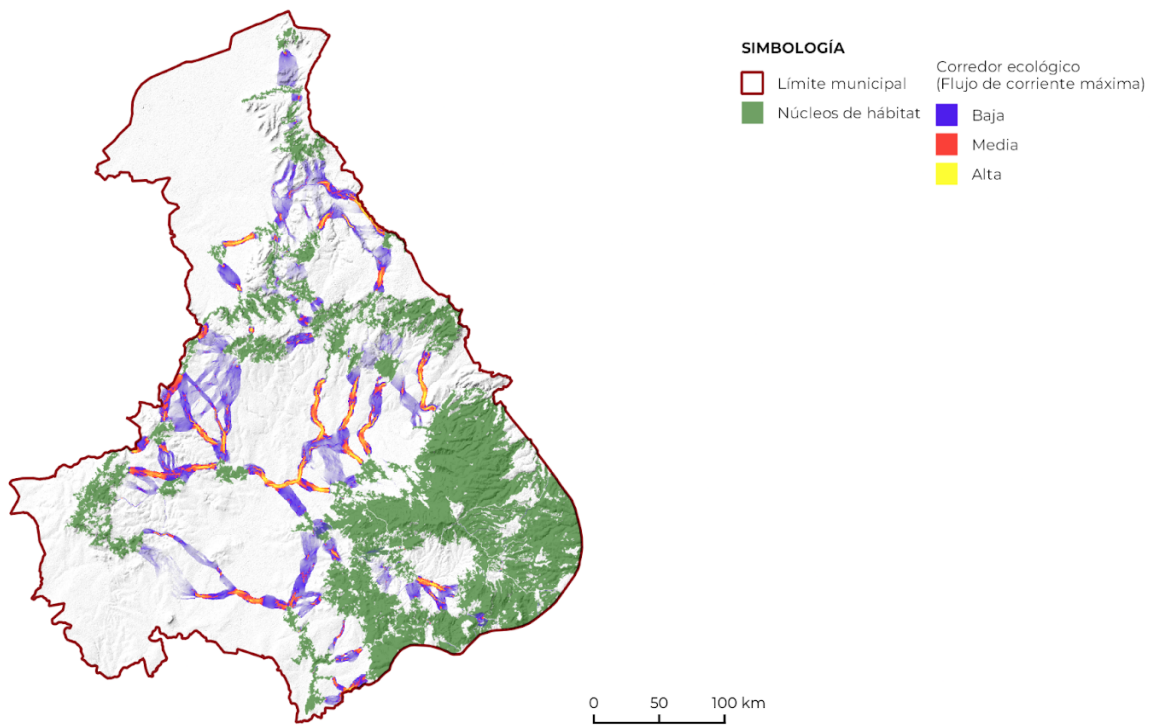


Figura 3. Nivel de dificultad para el desplazamiento del lince rojo.

Fuente: Elaboración propia

## 2. Red de conectividad y Pinch Point mapper

Una vez teniendo el modelo de resistencia, se abre el Toolbox en Arcmap de Linkage Mapper y se selecciona la opción de “Construir enlaces de red y mapa”, los inputs corresponden al ráster de resistencia y a los parches de hábitat mayores a las 200 hectáreas. El resultado que se obtiene de dicho proceso son las rutas de menor costo y los corredores. Una vez con dicha información, dentro del mismo toolbox, se elige la opción de Pinch Point Mapper y como resultado se obtienen las áreas de mayor prioridad dentro de los corredores.



Mapa 3. Corredores biológicos para el lince rojo en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

## Resultados

Los resultados del análisis se muestran en el Mapa 3, en donde se ven representados los corredores ecológicos dentro del municipio así como los resultados del análisis de los flujos de corriente máxima. Las partes más estrechas de los corredores, conocidos como puntos críticos, está representados por el color amarillo. Las zonas de color rosa y azul/morado simbolizan aquellas partes del corredor con un menor flujo de corriente; donde la resistencia al flujo de la especie es menor.

Dentro del territorio se pudieron identificar un total de 86 corredores ecológicos para el lince rojo, que unen los 42 parches de hábitat más grandes del área de estudio. Cabe mencionar que sólo 55 de los corredores cuentan con una longitud mayor a los 300 metros. Aquellos con una menor extensión se encuentran ubicados dentro de los parches con mayor tamaño e índice de conectividad. En conjunto, los corredores forman una red de conectividad ecológica de aproximadamente 40,822 ha. En cuanto a las zonas prioritarias, se estima que abarcan una superficie de 2,535 ha. La más grande está ubicada en el corredor que conecta la serranía que cruza de oeste a este el municipio con los núcleos de hábitat ubicados en el extremo norte del municipio. Resulta pertinente mencionar, que el principal componente que limita el desplazamiento de la especie dentro del territorio es la presencia de zonas de cultivo agrícola que rodean a la mayoría de los parches de hábitat.

## Bibliografía

Bartesaghi, M. (2015). Fragmentación y conectividad del paisaje costero para vertebrados e invertebrados prioritarios para la conservación. Recuperado de:  
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/8382/1/uy24-17884.pdf>

De la Cruz, M. & Maestre, F. T. (eds.) (2013). Avances en el Análisis Espacial de Datos Ecológicos: Aspectos Metodológicos y Aplicados. ECESPA-Asociación Española

McGarigal, K. (2015). FRAGSTATS help. University of Massachusetts: Amherst, MA, 13 USA.  
<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.htm>

McGarigal, K., SA Cushman, and E Ene. 2012. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the Universit yof Massachusetts, Amherst.  
<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>

Pascual-Hortal, L. y Saura, S. 2006. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology* 21: 959-967.

Puebla, Adonis Ramón, Rodríguez Cueto, Yandy, & Álvarez-Amargos, Pedro M.. (2020). Propuesta de rutas de conectividad para la conservación de la biodiversidad en Sierra Maestra, Cuba. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(2), 51-67.  
<https://dx.doi.org/10.15359/rca.54-2.3>

Saura, S. & J. Torné. (2009). Conefor Sensinode 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modelling & Software* 24: 135-139.

Saura, S. y Pascual-Hortal, L. 2007. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning* 83: 91-103.

## 2.Cambio de uso de suelo y vegetación

### Introducción

Se han identificado una serie de factores que ejercen influencia sobre las dinámicas de cambio en el uso del suelo; tanto a nivel global, como a nivel regional y local. Estos factores abarcan dimensiones ambientales, demográficas, económicas y socioculturales, que en su conjunto contribuyen de manera significativa a la degradación de hábitats, la disminución de la biodiversidad, a la pérdida de provisión de bienes y servicios ecosistémicos, así como a la reducción de la capacidad productiva de los ecosistemas (Vazquez et al., 2015).

El concepto de "uso del suelo" hace referencia a las múltiples maneras en que un territorio y su cobertura vegetal son empleados y gestionados. Algunas áreas experimentan

transformaciones sustanciales debido a su utilización en actividades agropecuarias o su conversión en zonas urbanas. En contraste, existen áreas que han mantenido una relativa estabilidad, preservando su estado natural frente a las intervenciones de la sociedad (Caciano et al., 2013).

Es fundamental establecer políticas efectivas para proteger los ecosistemas presentes en el área de estudio; principalmente aquellos que corresponden a bosques, selvas, cuerpos de agua y otros tipos de vegetación natural. Una gestión sostenible de los recursos naturales, es crucial para evitar problemas ambientales que afecten el clima y la calidad de vida en áreas rurales y urbanas (Vazquez et al., 2015). Bajo ese contexto, resulta pertinente identificar y analizar los cambios en la forma en que se utiliza el suelo y cómo estos cambios se relacionan con diferentes factores.

Es por ello que durante el presente análisis, se va a examinar detenidamente la evolución del uso de suelo en el municipio de Lagos de Moreno, que a pesar de contar con la presencia de tierras agrícolas a lo largo de todo el territorio, también cuenta con una gran extensión de cobertura vegetal natural; cuya existencia ve amenazada por la acelerada expansión del sector agropecuario y la llegada de los cultivos de agave.

## Metodología

Para analizar los cambios en el uso del suelo en el área de estudio, se empleó el software ArcMap, y se utilizaron las capas de uso del suelo y vegetación proporcionadas por SEMADET del 2016 y la del 2020; cabe mencionar que esta última fue actualizada para el año 2023. Para identificar los cambios en la cobertura de uso de suelo entre una capa y otra, se utilizó la herramienta de intersección. Cuya función es calcular la intersección espacial entre dos o más capas de datos geospaciales y crear una nueva capa a partir de las áreas en las que las características de las capas originales se superponen o se cruzan. De dicha manera, el cruce de datos proporciona una ubicación precisa de las áreas que han mantenido su cobertura original y las que han experimentado transformaciones a lo largo del período analizado. A continuación se muestra la tabla de atributos que surge como resultado de la nueva capa de datos generada a partir de la intersección.

CAMBIO2											
PID	Shape	FID_USV_20	Legenda	COB1	AREA_16	FID_USV_1	Legenda_1	COB2	AREA_20	cambio	AREA_CUE
1	Polygon	0	Agua	10	3670.42	0	Agua	3359.42	11	3359.92	
1	Polygon	0	Agua	10	3670.42	3	Bosque de Encino	4	67955.8	14	18.6544
2	Polygon	0	Agua	10	3670.42	10	Matorral Crasicaule	6	63111.1	16	0.84398
3	Polygon	0	Agua	10	3670.42	6	Pastizales Cultivados e Inducidos	7	26490.2	17	0.425307
4	Polygon	0	Agua	10	3670.42	7	Pastizales Naturales	8	30100.2	18	0.884916
5	Polygon	0	Agua	10	3670.42	9	Suelo Desnudo	10	1521.94	19	170.499
6	Polygon	0	Agua	10	3670.42	11	Tierras Agrícolas Cultivos Anuales	12	65984.8	22	89.8714
7	Polygon	0	Agua	10	3670.42	13	Vegetación de Galería	14	2622.5	24	2.41299
8	Polygon	1	Bosque Cultivado e Inducido	20	5.47648	1	Bosque Cultivado e Inducido	2	5.47648	22	5.47648
9	Polygon	2	Bosque de Coníferas	30	1281.28	2	Bosque de Coníferas	3	1281.34	33	1281.28
10	Polygon	3	Bosque de Encino	40	68618.3	3	Bosque de Encino	4	67955.8	44	67951.7
11	Polygon	3	Bosque de Encino	40	68618.3	6	Pastizales Cultivados e Inducidos	7	26490.2	47	151.523
12	Polygon	3	Bosque de Encino	40	68618.3	8	Suelo Desnudo	10	1521.94	50	4.19681
13	Polygon	3	Bosque de Encino	40	68618.3	10	Tierras Agrícolas Cultivos Perennes	11	112.738	51	17.8203
14	Polygon	3	Bosque de Encino	40	68618.3	11	Tierras Agrícolas Cultivos Anuales	12	65984.8	52	410.5
15	Polygon	3	Bosque de Encino	40	68618.3	12	Urbano y Construido	13	7448.62	53	123.294
16	Polygon	4	Bosque de Mezquite	50	353.138	4	Bosque de Mezquite	5	353.2	55	353.193
17	Polygon	5	Matorral Crasicaule	60	69749.1	5	Matorral Crasicaule	6	63111.1	66	63074.4
18	Polygon	5	Matorral Crasicaule	60	69749.1	6	Pastizales Cultivados e Inducidos	7	26490.2	67	2016.19
19	Polygon	5	Matorral Crasicaule	60	69749.1	9	Suelo Desnudo	10	1521.94	70	3.17547
20	Polygon	5	Matorral Crasicaule	60	69749.1	11	Tierras Agrícolas Cultivos Anuales	12	65984.8	72	4059
21	Polygon	5	Matorral Crasicaule	60	69749.1	12	Urbano y Construido	13	7448.62	73	596.249
22	Polygon	6	Pastizales Cultivados e Inducidos	70	24090.4	3	Bosque de Encino	4	67955.8	74	0.964903
23	Polygon	6	Pastizales Cultivados e Inducidos	70	24090.4	5	Matorral Crasicaule	6	63111.1	76	0.93971
24	Polygon	6	Pastizales Cultivados e Inducidos	70	24090.4	6	Pastizales Cultivados e Inducidos	7	26490.2	77	23765.9
25	Polygon	6	Pastizales Cultivados e Inducidos	70	24090.4	9	Suelo Desnudo	10	1521.94	80	7.93998
26	Polygon	6	Pastizales Cultivados e Inducidos	70	24090.4	11	Tierras Agrícolas Cultivos Anuales	12	65984.8	82	290.881
27	Polygon	6	Pastizales Cultivados e Inducidos	70	24090.4	12	Urbano y Construido	13	7448.62	83	24.3419
28	Polygon	7	Pastizales Naturales	80	30611.1	5	Matorral Crasicaule	6	63111.1	86	9.5135
29	Polygon	7	Pastizales Naturales	80	30611.1	6	Pastizales Cultivados e Inducidos	7	26490.2	87	480.796
30	Polygon	7	Pastizales Naturales	80	30611.1	7	Pastizales Naturales	8	30100.2	88	30090.6
31	Polygon	7	Pastizales Naturales	80	30611.1	9	Suelo Desnudo	10	1521.94	90	13.5028
32	Polygon	7	Pastizales Naturales	80	30611.1	11	Tierras Agrícolas Cultivos Anuales	12	65984.8	92	16.7275
33	Polygon	8	Selva Baja Caducifolia	90	21868.8	6	Pastizales Cultivados e Inducidos	7	26490.2	97	81.6669
34	Polygon	8	Selva Baja Caducifolia	90	21868.8	8	Selva Baja Caducifolia	9	21292.8	99	21291.5
35	Polygon	8	Selva Baja Caducifolia	90	21868.8	9	Suelo Desnudo	10	1521.94	100	4.27544
36	Polygon	8	Selva Baja Caducifolia	90	21868.8	11	Tierras Agrícolas Cultivos Anuales	12	65984.8	102	466.576
37	Polygon	8	Selva Baja Caducifolia	90	21868.8	12	Urbano y Construido	13	7448.62	103	72.3309
38	Polygon	9	Suelo Desnudo	100	1318.18	9	Suelo Desnudo	10	1521.94	110	1318.02
39	Polygon	9	Suelo Desnudo	100	1318.18	11	Tierras Agrícolas Cultivos Anuales	12	65984.8	112	0.162932
40	Polygon	10	Tierras Agrícolas Cultivos Perennes	110	101.778	10	Tierras Agrícolas Cultivos Perennes	11	112.738	121	86.7153
41	Polygon	10	Tierras Agrícolas Cultivos Perennes	110	101.778	12	Urbano y Construido	13	7448.62	123	0.06047
42	Polygon	11	Tierras Agrícolas Cultivos Anuales	120	61062.3	5	Matorral Crasicaule	6	63111.1	126	12.2078
43	Polygon	11	Tierras Agrícolas Cultivos Anuales	120	61062.3	6	Pastizales Cultivados e Inducidos	7	26490.2	127	1.77259
44	Polygon	11	Tierras Agrícolas Cultivos Anuales	120	61062.3	7	Pastizales Naturales	8	30100.2	128	2.97065
45	Polygon	11	Tierras Agrícolas Cultivos Anuales	120	61062.3	11	Tierras Agrícolas Cultivos Anuales	12	65984.8	132	60709
46	Polygon	11	Tierras Agrícolas Cultivos Anuales	120	61062.3	12	Urbano y Construido	13	7448.62	133	333.37
47	Polygon	12	Urbano y Construido	130	6308.01	13	Tierras Agrícolas Cultivos Anuales	14	65984.8	142	15.8004
48	Polygon	12	Urbano y Construido	130	6308.01	12	Urbano y Construido	13	7448.62	143	6292.11
49	Polygon	13	Vegetación de Galería	140	2619.95	13	Vegetación de Galería	14	2622.5	154	2619.95
50	Polygon	5	Matorral Crasicaule	60	69749.1	5	Matorral Crasicaule	6	63111.1	66	0.000599
51	Polygon	11	Tierras Agrícolas Cultivos Anuales	120	61062.3	5	Matorral Crasicaule	6	63111.1	126	0.000599

Figura 1. Tabla de atributos de la capa de intersección.

Fuente: Elaboración propia

Para presentar los datos de manera clara, se creó una "matriz de transición" en Excel que indica la dirección de los cambios en el uso del suelo y la cantidad de superficie que experimentó cambios. Finalmente, se generó un gráfico de barras para analizar visualmente los resultados obtenidos de las "ganancias" y "pérdidas" de cada tipo de uso de suelo.

Matriz de transición		AÑO 2020												TOTAL 2016	PERDIDA				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			13	14		
		Agua	Bosque Cultivado e Inducido	Bosque de Coníferas	Bosque de Esdno	Bosque de Mezquite	Matorral Crasicaule	Pastizales Cultivados e Inducidos	Pastizales Naturales	Selva Baja Caducifolia	Suelo Desnudo	Tierras Agrícolas Cultivos Perennes	Tierras Agrícolas Cultivos Anuales	Urbano y Construido	Vegetación de Galería				
AÑO 2016	Agua	10	3398.92														3670.421933	271.501993	
	Bosque Cultivado e Inducido	20		5.47648													5.47648	0	
	Bosque de Coníferas	30			1281.28												1281.28	0	
	Bosque de Encino	40				67931.7			131.523			4.19661	17.0203	410.5	123.284		68618.22391	686.52391	
	Bosque de Mezquite	50					353.138										353.138	0	
	Matorral Crasicaule	60						63074.4	2016.19			3.17547		4053	596.249		69749.01447	6674.61447	
	Pastizales Cultivados e Inducido	70			0.384903			0.33371	23786.9			7.33998		290.981	24.3419		24690.36739	324.467393	
	Pastizales Naturales	80						8.5105	490.798	30090.8		13.5003		16.1276			30611.1238	520.5295	
	Selva Baja Caducifolia	90							91.8563			21291.6		408.576	72.5309		21866.73324	575.23924	
	Suelo Desnudo	100												0.162932			0.162932	0.162932	
	Tierras Agrícolas Cultivos Per	110											95.7153		6.06047		101.77577	6.06047	
	Tierras Agrícolas Cultivos Anu	120						12.2078	1.77259	5.97085				60709	333.37		61962.32124	353.32124	
	Urbano y Construido	130												15.3004	6262.11		6300.0104	15.3004	
	Vegetación de Galería	140														2619.35	2619.35	0	
	<b>TOTAL 2020</b>		3398.92	5.47648	1281.28	67950.72	353.138	63106.1	26488.45	30097.46	21291.6	1521519	112.7356	65978.42	7447.94627	2622.363			
	<b>Ganancias</b>		0	0	0	19.0192	0	31.70499	2722.954	6.855766	0	203.4993	17.0203	5269.419	1155.83627	2.41239			

Figura 2. Matriz de transición.

Fuente: Elaboración propia.

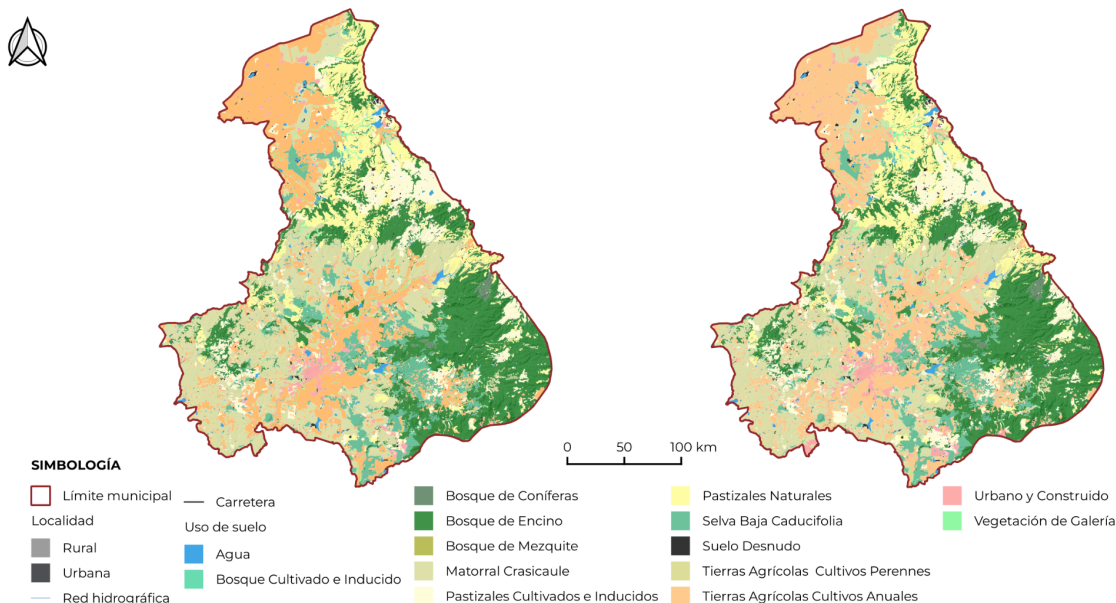
Para el análisis de deforestación, primeramente se identificaron las áreas dentro del territorio en las que se encuentra el cultivo de agave, para ellos se utilizó Google Earth Pro con el que se realizó un análisis visual de la imagen satelital del 2023. Los polígonos encontrados se fueron digitalizando mediante el modo edición de ArcMap. Al igual se utilizó una capa con polígonos de Agave proporcionada por el municipio de Lagos de Moreno, la cuál se validó con la imagen de Google Earth. Posteriormente se juntaron ambas capas y con la herramienta "Update" de ArcMap se añadieron los polígonos de Agave a la capa de uso de suelo actualizada del 2023 y se volvió a correr la herramienta de intersección.

Finalmente para conocer qué áreas sufrieron de deforestación, se realizó una selección por atributos en la capa resultante de la intersección y se seleccionaron aquellos polígonos que en 2016 hayan correspondido a una cobertura de vegetación natural y que para el 2023 hubieran sufrido una modificación a un tipo de cobertura no natural. A partir de dicha selección se creó una nueva capa llamada "Deforestación" y se calcularon las áreas de las zonas deforestadas; con ello fue posible conocer específicamente qué ecosistemas sufrieron las mayores pérdidas y que actividades se ligan a dicho cambio de uso de suelo. Específicamente se obtuvieron las áreas de deforestación asociados con el cultivo de agave.

## Datos de partida

- Capa shape de uso de suelo y vegetación año 2016 (SEMADET, 2016).
- Capa shape de uso de suelo y vegetación año 2023 (SEMADET, 2023).
- Capa shape de cultivo de agave año 2023 (Elaboración propia, 2023).

## Resultados



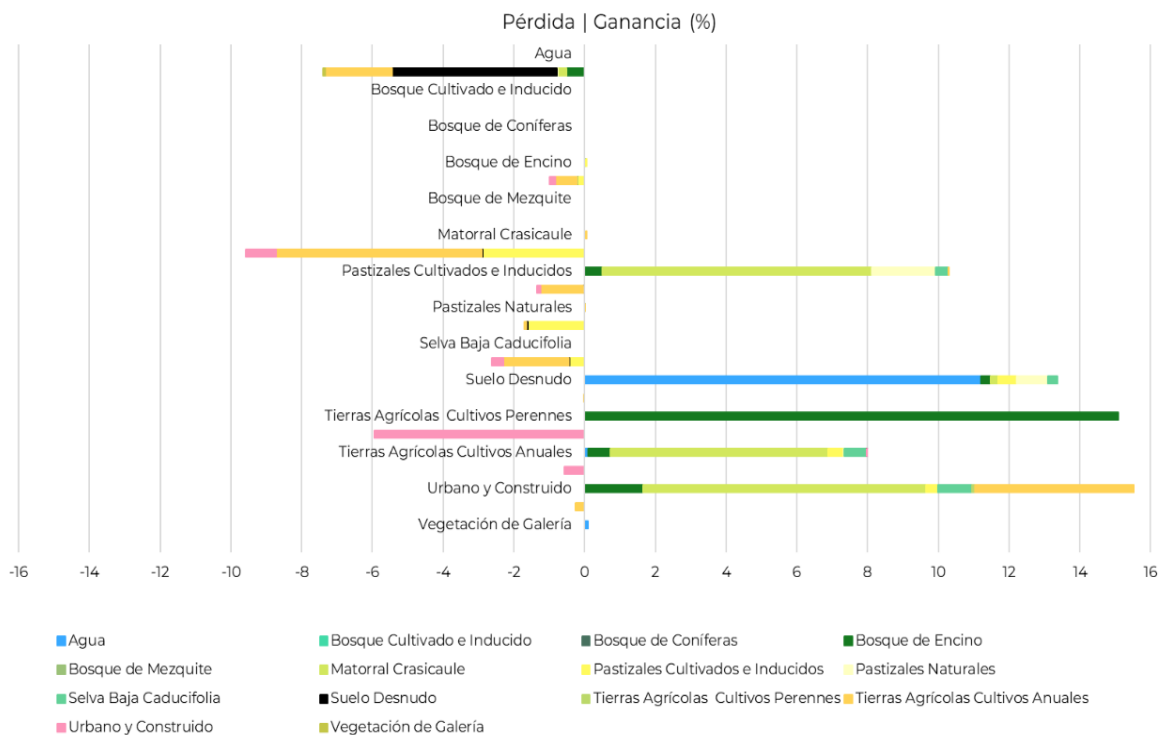
Mapa 1. Capas de uso de suelo y vegetación de los años 2016 y 2023.  
. Fuente: Elaboración propia con datos de SEMADET 2016 y 2023.

Entre el periodo de 2016 al 2023, la cobertura de uso de suelo y vegetación en el área de estudio ha experimentado modificaciones notables. La superficie destinada a los cultivos agrícolas (perennes y anuales) ha presentado un incremento del 8.05 % en los últimos siete años; abarcando el 22.69 % del territorio. La vegetación natural cubre el 66.98 % del área total y presenta un decremento del 4.30 %.

Como se observa en el gráfico 1, los usos que presentan la mayor pérdida de cobertura corresponden al matorral crasicaule y a los cuerpos de agua. Ya que, durante el periodo de siete años, sus coberturas disminuyeron 9.57 % y 7.40 % respectivamente. El matorral crasicaule cambió principalmente a tierras agrícolas anuales, mientras que los cuerpos de agua pasaron a ser suelo desnudo; lo que se puede relacionar con la sequía de bordos y presas dentro del territorio en los últimos años.

Por otra parte los usos de suelo con los mayores porcentajes de ganancia corresponden a urbano y construido con 15.52 %; relacionado con la expansión de la mancha urbana. Seguido por las tierras agrícolas de cultivos perennes con 15.10 %, el suelo desnudo con 13.37 % y los pastizales cultivados e inducidos con el 10.28 %. Asimismo, el bosque de

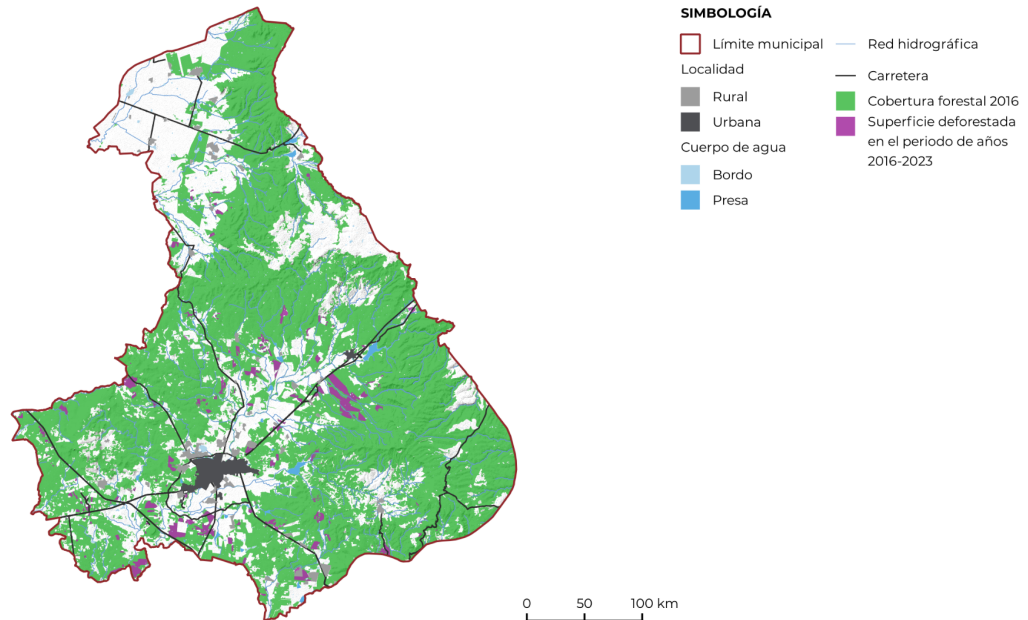
coníferas, el bosque de mezquite y el bosque cultivado e inducido no presentan pérdidas ni ganancias representativas.



Gráfica 1. Ganancias y pérdidas en (%) de cada tipo de uso de suelo de 2016 a 2023.  
Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de las capas de Uso de suelo y vegetación de SEMADET (2016 y 2023).

## Deforestación

Durante el periodo de años de 2016- 2023, se deforestaron 6,415.35 hectáreas dentro del área de estudio. En el presente análisis, se considera como deforestación aquella superficie que haya pasado de ser vegetación natural a un uso de suelo no natural durante el periodo anteriormente mencionado. De acuerdo con los datos obtenidos, la tasa de deforestación anual promedio es de 0.63 %.



Mapa 2. Deforestación en el área de estudio en el periodo 2016-2023. Fuente: Elaboración propia con datos de SEMADET 2016 y 2023.

Fuente: Elaboración propia con datos de SEMADET 2016 y 2023.

Del total de hectáreas deforestadas en el territorio, el 78.45 % correspondía en el año 2016 a matorral crasicaule, el 8.50 % a bosque de encino, el 8.28 % a selva baja caducifolia, el 4.97 % a pastizales naturales y por último el 0.016 % de la deforestación a vegetación de galería. Es importante mencionar que las demás coberturas que entran en la categoría de vegetación natural presentaron una pérdida de cobertura insignificante o nula.

En cuanto a los uso de suelo asociados a la deforestación, las tierras agrícolas destinadas al cultivo de agave son las que han ocasionado el mayor porcentaje de superficie deforestada con el 42.0 %, seguido por las tierras agrícolas de cultivos anuales con el 31.0 %, urbano y construido con el 13.8 % y los pastizales cultivados e inducidos con 12.7 %. Por otra parte, el suelo denso y las tierras agrícolas cultivos perennes en conjunto únicamente han ocasionado el 0.46 % de la deforestación en los últimos años.

Tipo de cobertura natural	Superficie deforestada (ha)	Porcentaje del total de la superficie deforestada (%)
Matorral Crasicaule	4,965.26	78.22

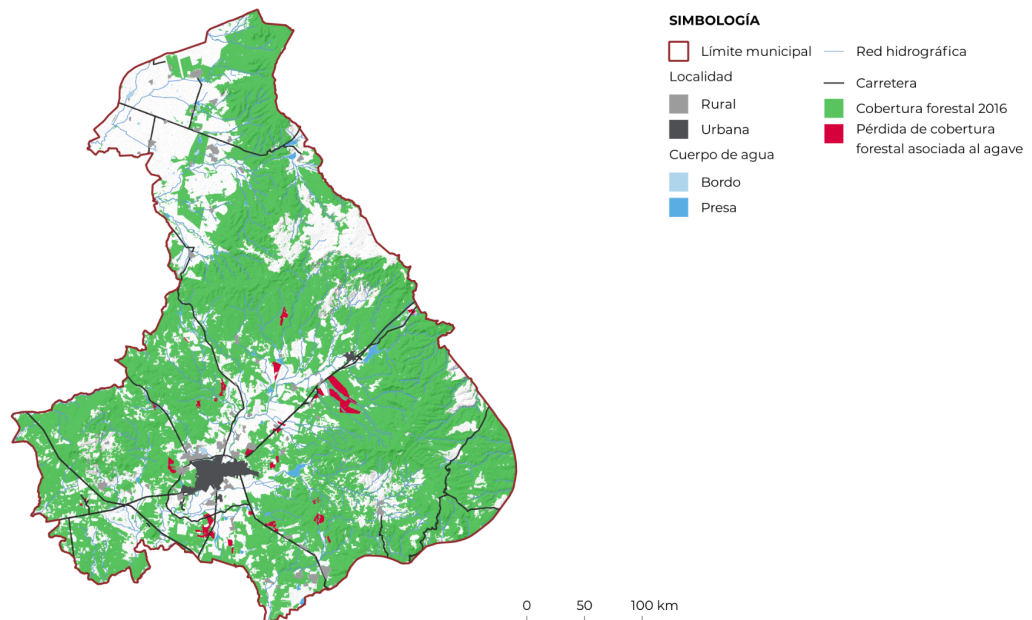
Bosque de Encino	539.77	8.50
Selva Baja Caducifolia	525.90	8.28
Pastizales Naturales	315.70	4.97
Vegetación de Galería	1.05	0.016

Tabla 1. Superficie deforestada de cada tipo de cobertura vegetal natural y porcentaje del total de la superficie deforestada

Fuente: Elaboración propia.

Respecto al agave, se identificó la presencia de 3,075.9 hectáreas dedicadas a su cultivo dentro del municipio (Ver Mapa 3). Lo que corresponde al de las tierras agrícolas presentes en la actualidad. Del 2016 al 2023, un total de 2,668.9 hectáreas pasaron de una cobertura de vegetación natural a tierras destinadas al cultivo del agave. Para su expansión, se deforestaron 2,189.35 ha de matorral crasicauale, 250.85 ha de selva baja caducifolia, 185.4805 ha de bosque de encino, 42.22 ha de pastizales naturales y por último 1.05 ha de vegetación de galería.

Es importante mencionar que no toda la presencia del agave en el territorio se asocia con la deforestación de la cobertura de vegetación natural. Como se comentó en los talleres de participación social, gran parte del agave que se ha establecido en los últimos años en el municipio, se cultiva en tierras previamente destinadas al cultivo agrícola mediante la renta de parcelas por la falta de rentabilidad de los otros tipos de cultivo.



Mapa 3. Pérdida de vegetación forestal asociada al agave en el área de estudio  
Fuente: Elaboración propia con datos de SEMADET (2016 y 2020).

## Bibliografía

Trucíos Caciono, R., Rivera González, M., Delgado Ramírez, G., Estrada Ávalos, J., & Cerano Paredes, J. (2013). ANÁLISIS SOBRE CAMBIO DE USO DE SUELO EN DOS ESCALAS DE TRABAJO. *Terra Latinoamericana*, 31(4),339-346.[fecha de Consulta 26 de Octubre de 2022]. ISSN: . Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57329629008>

López Vazquez, V. H., Balderas Plata, M. A., Chávez Mejía, M. C., Juan Pérez, J. I., & Gutiérrez Cedillo, J. G. (2015). Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 22(2),136-144.[fecha de Consulta 26 de Octubre de 2022]. ISSN: 1405-0269. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10439327004>

## 3. Pérdida potencial de suelo (USLE)

### Introducción

Dentro del siguiente apartado se redacta la memoria técnica del análisis realizado del municipio de Lagos de Moreno con el fin de determinar la pérdida potencial de suelo por erosión hídrica. Para calcularla, se utilizó la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE por sus siglas en inglés). A continuación, se detallan los pasos realizados para su determinación, así como las fuentes de datos utilizadas.

### Metodología

La ecuación USLE (Wischmeier y Smith, 1978) es una manera de medir la pérdida de suelo derivada de los efectos de la lluvia. Esta ecuación contempla una serie de variables para proporcionar un valor final de pérdida de suelo en ton/ha/año.

La ecuación es la siguiente:

$$A = R K L S C P$$

Donde:

- A** = tasa de erosión anual (ton/ha.año).
- R** = factor de erosividad de la lluvia (MJ. mm/ha.h).
- K** = factor de erodabilidad del suelo (ton.h/ MJ.mm).
- LS** = factor topográfico longitud-pendiente.
- C** = factor de vegetación y cultivo.
- P** = factor de prácticas conservación

Para obtener cada una de estas variables y obtener un resultado final georreferenciado, se realizó el análisis en los softwares de Sistemas de Información Geográfica (SIG) ArcMap y QGIS.

## Factor R- Erosividad de la lluvia

El factor R mide la erosividad de la lluvia, es decir, la capacidad de la lluvia para producir erosión. El factor R se obtiene evaluando la intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos y su energía cinética asociada; para el caso del Lagos de Moreno, se utilizó la ecuación para a región 7 propuesta (Becerra, 1997), la cual permite calcular el factor R promedio anual en función de la precipitación promedio anual del área de estudio.

Para dicha región la ecuación es:

$$R = (-0.0334) * P + 0.0061 * P^2$$

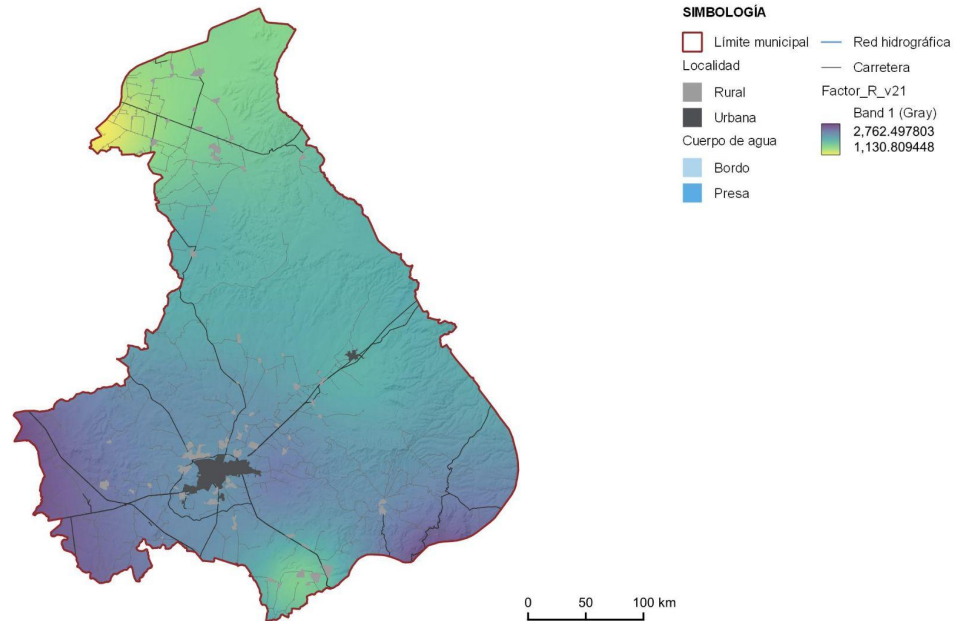
Donde "P" es la precipitación media anual, dicha información se obtuvo de 16 estaciones meteorológicas gestionadas por CONAGUA, ubicadas dentro y alrededor del municipio. Una vez obtenido el dato de la precipitación media anual se procedió a aplicar la ecuación cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla.

ID	Estación	Nombre	X	Y	Anual	Factor R
1	1015	Palo alto	193216.07	2426542.39	525.4	1666.33
2	1033	Los conos	190789.54	2424533.85	490.4	1450.62
3	1024	San isidro	799504.56	2411139.4	432.4	1126.07
4	14054	El puesto	192917.64	2394324.1	570	1962.85
5	14392	Paso del cuarenta II	214768.35	2378776.19	561.9	1907.20
6	14084	Lagos de moreno (DGE)	197102.02	2364839.39	602.2	2192.02
7	14320	La saucedá	204710.16	2363907.3	625.4	2364.98
8	14114	Presa la duquesa	207280.71	2349603.41	518.8	1624.51
9	11045	Media luna	226093.03	2350158.95	673.7	2746.12
10	11063	San cristobal	236945.67	2381221.54	563	1914.71
11	14004	Agostadero	776571.88	2363229.18	758.1	3480.44
12	14367	Tlacuitapan	798627.76	2346863.78	649.2	2549.23
13	14126	San Juan de los Lagos	777058.89	2351892.29	737.3	3291.40
14	11045	Purísima de bustos	201728.6	2333796.02	647.4	2535.05
15	14097	Matanzas	225895.46	2409219.36	588.4	2092.26
16	32118	Los campos	205200.74	2437502.65	454.6	1245.45

Tabla 1. Estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA. (s/f).

Posteriormente, se integró la información en un ráster utilizando la interpolación IDW, dando como resultado el siguiente mapa.



Mapa 1. Factor R en Lagos de Moreno

Fuente: Elaboración propia, con datos de Becerra, (1997).

Para el caso de Lagos de Moreno se puede observar que las zonas con un valor mayor de erosividad provocada por la lluvia están en la parte sur del municipio, sobre todo en la parte suroeste.

## Factor K- Erodabilidad del suelo

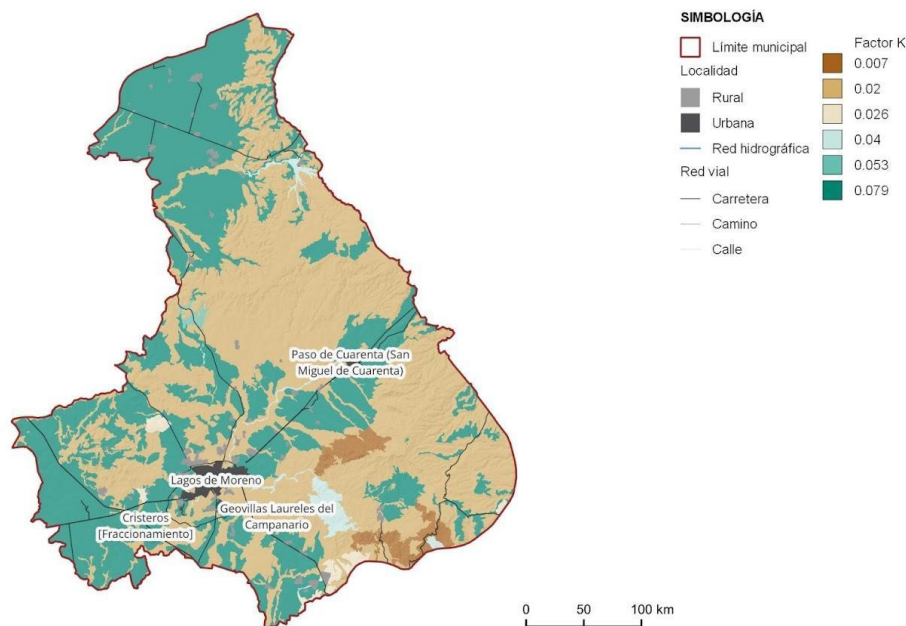
El factor K mide la susceptibilidad del suelo a erosionarse; en la metodología original propuesta por Wischmeier y Smith (1965) utilizan un nomograma para calcularlo, que evalúa determinadas propiedades edafológicas; para simplificar este proceso y debido a la falta de información sobre ciertas propiedades necesarias para incluirlas en este modelo, se utilizó la tabla de equivalencias entre tipo de suelo y textura y el valor del factor K propuesto por la FAO (2006), con la referencia de la *World Reference Base for Soil Resources* (WRB, 2015).

Para el municipio de Lagos de Moreno se partió de la información edafológica del Instituto de Información Geográfica del estado de Jalisco (IIEG, 2015). El primer paso para poder utilizar los valores K de la FAO fue estandarizar la nomenclatura de los tipos de suelo entre los de esta institución y las del WRB, que posteriormente, y de acuerdo a su textura, se asignó el valor K. Este proceso y los valores obtenidos pueden observarse en la tabla 2.

Suelo INEGI	Textura	Suelo WRB	Factor K
Cambisol	Media	Cambisol	0.04
Feozem	Fina	Feozem	0.007
Feozem	Media	Feozem	0.02
Fluvisol	Media	Fluvisol	0.04
Litosol	Fina	Leptosol	0.007
Litosol	Media	Leptosol	0.02
Planosol	Media	Planosol	0.079
Regosol	Media	Regosol	0.04
Vertisol	Fina	Vertisol	0.026
Vertisol	Media	Vertisol	0.079
Xerosol	Gruesa	Gypsisol	0.053
Xerosol	Media	Gypsisol	0.079

Tabla 2. Equivalencias entre el INEGI y la WRB, con el Factor K.  
Fuente: Elaboración propia con información de la WRB, 2015 y la FAO, 2006.

Esta información, originalmente en formato vectorial, se rasterizó con una resolución de 12.5 m. El resultado se muestra en el mapa siguiente:



Mapa 2. Factor K en Lagos de Moreno.  
Elaboración propia, con datos del IIEG, 2015 y valores de la FAO, 2006.

En el mapa siguiente se puede observar que los tipos de suelo con valores más altos de erodabilidad son aquellos tipos de suelo con texturas finas, las cuales son menos pesadas y más impermeables, por tanto, más susceptibles a ser arrastradas por las corrientes provocadas por las lluvias. En Lagos de Moreno coincide con las áreas que son utilizadas sobre todo para la producción agropecuaria; donde en su mayoría se ubican en la parte noroeste y suroeste del municipio.

## Factor LS- Topografico

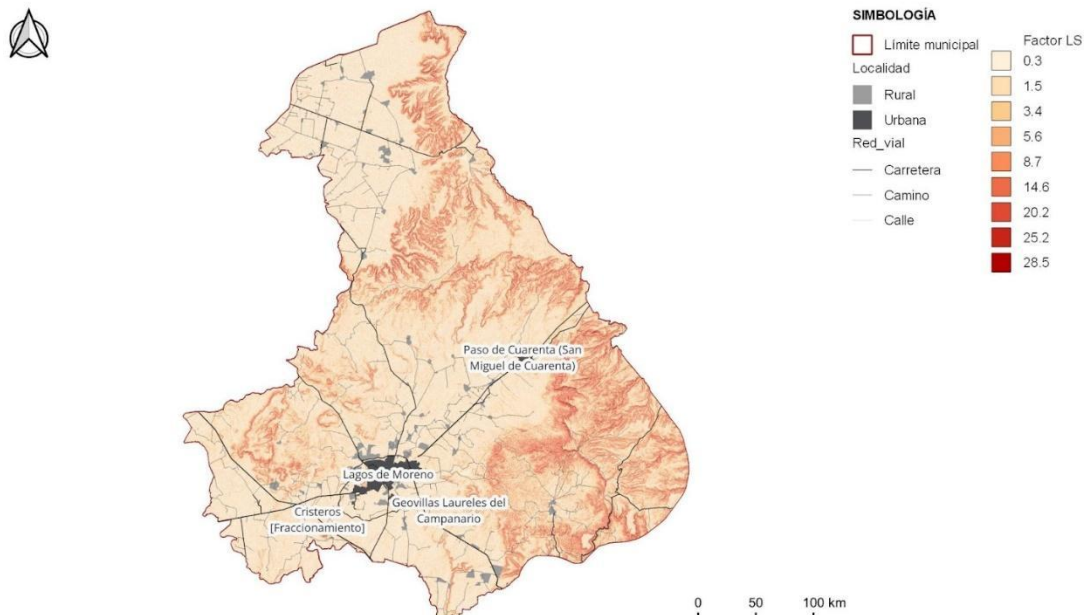
El factor LS mide el efecto de la topografía sobre la erosión, tomando en cuenta la longitud (L) y su grado de pendiente (S); con el fin de simplificar el proceso de cálculo de este factor se optó por utilizar la metodología propuesta por Portuguez (2015) y desarrollada por la Facultad de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (Madrid). Esta tabla asigna valor al factor LS de acuerdo a los grupos de pendientes. Para determinar estos valores para el municipio, se realizaron los siguientes procedimientos en ArcMap:

- 1) A partir del DEM (ASF DAAC, 2011), se calcula la pendiente en porcentaje, con la función 'slope'.
- 2) Se clasifica la pendiente con los valores propuestos por Portuguez, (2015) y que pueden observarse en la siguiente tabla.

Grupos de pendientes en %	Factor L.S
0 - 3	0,3
3 - 12	1,5
12 - 18	3,4
18 - 24	5,6
24 - 30	8,7
30 - 60	14,6
60 - 70	20,2
70 - 100	25,2
> 100	28,5

Figura 1. Valores del Factor L.S para diferentes pendientes.  
Fuente: Extraído de Portuguez (2015).

El resultado se muestra en el mapa siguiente:



Mapa 3. Factor LS en Lagos de Moreno

Fuente: Elaboración propia con base en ASF DAA, (2011) y datos de Portuguez, (2015).

Como resultado de esta clasificación se puede observar que las zonas con mayor pendiente son las que tienen los valores de LS más elevados, ubicados en toda la parte este del municipio, que justo coincide con las zonas más altas

## Factor C- Factor de vegetación y uso de suelo

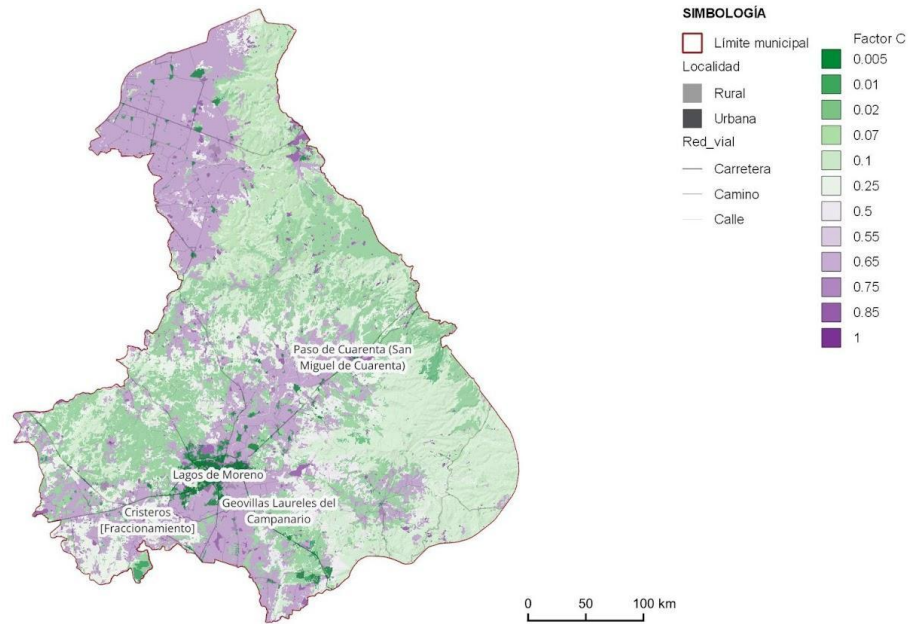
El factor C refleja el efecto de la vegetación como cubierta protectora del suelo frente a la erosión. Con el fin de asignar el valor del factor C a el municipio se partió de la capa de cobertura de suelo de la SEMADET (2023) y se asignaron los valores de a acuerdo a diversas bibliografías (Renard, 1997, *et al.*, citado por Montes-león, Uribe-Alcántara, García-Celis, 2011; Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer; Lianes, Marchamalo, & Roldán, 2009). El valor del factor C para cada tipo de cobertura presente en la región puede observarse en la tabla siguiente:

<b>Cobertura y uso de suelo</b>	<b>Factor C</b>
Agua	1
Urbano y Construido	0.005
Suelo Desnudo	1
Vegetación Halófila Hidrófila	0.85
Bosque Cultivado e Inducido	0.1
Pastizales Cultivados e Inducidos	0.02
Bosque de Encino	0.1
Mezquital Xerófilo	0.65
Pastizales Naturales	0.07
Selva Baja Caducifolia	0.5
Tierras Agrícolas Cultivos Anuales	0.75
Tierras Agrícolas Cultivos Perennes	0.55
Bosque de Coníferas	0.01
Matorral Crasicaule	0.25
Bosque de Mezquite	0.65

Tabla 3. Equivalencias de Usos de suelo y Factor C.

Fuente: Elaboración propia

Estos valores asignados en la tabla de atributos de la capa vectorial fueron rasterizados con una resolución de píxel de 12.5 m. El resultado se muestra en el mapa 4:



Mapa 4. Factor C en Lagos de Moreno  
Fuente: Elaboración propia con base en SEMADET 2020.

En el mapa se puede observar que el tipo de coberturas más susceptibles a la erosión son las zonas productivas de cultivos agrícolas y áreas destinadas al pastoreo, ubicadas sobre todo al norte del municipio, así como las áreas urbanizadas y de suelo desnudo, las cuales se observan en la parte centro y sur.

### Aplicación de la ecuación

Una vez se obtuvieron todos los valores, se aplicó la ecuación en la herramienta de calculadora ráster. Esta capa se reclasificó a partir de las categorías propuestas por la FAO-PNUMA-UNESCO (1980).

Clases de erosión	Pérdida de suelo (Ton/ha/año)
Nula a ligera	menor a 10
Moderada	10 - 50
Alta	50 - 200
Muy alta	mayor a 200

Tabla 4. Categorías de erosión.  
Fuente: Elaboración propia con datos de FAO-PNUMA-UNESCO (1980).

## Resultados

El resultado es una capa en formato ráster de resolución 12.5 m cuyos píxeles contienen 4 valores tal como se puede observar en la tabla siguiente:

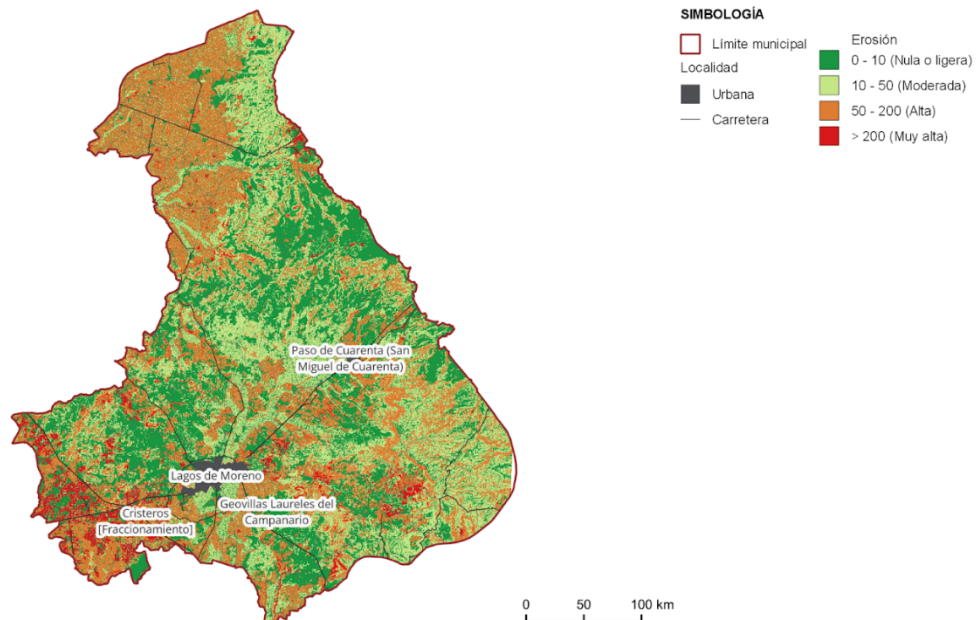
Clases de erosión	Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Hectáreas	Porcentaje
-------------------	-------------------------------	-----------	------------

Nula a ligera	menor a 10	91,829.97	32%
Moderada	50 - 200	86,127.55	30%
Alta	50 - 200	98,696.37	34%
Muy alta	mayor a 200	14,702.19	5%

Tabla 5. Clasificación de la erosión potencial y su superficie en el municipio.

Elaboración propia.

En el siguiente mapa se puede observar este resultado, en el cual se aprecia que las áreas más susceptibles a ser erosionadas por la lluvia coinciden con las áreas con cubiertas vegetales menos naturalizadas, como pastizales, cultivos y zonas urbanas; además de tener pendientes más bajas y tipos de suelo de más fácil arrastre. En cambio, en aquellas áreas con una mayor cubierta vegetal tienden a tener menos potencial de erosión y por ende una menor pérdida de suelo por año.



Mapa 5. Factor A en Lagos de Moreno

Fuente: Elaboración propia.

# Bibliografía

Becerra, M. (1997). *Erosión de suelos*. México, DF.: Universidad Autónoma de Chapingo.

CICESE. (21 de Julio de 2022). *Variable precipitación*. Obtenido de CLICOM:  
<http://clicom-mex.cicese.mx/>

CONAGUA. (s/f). Normales Climatológicas por Estado.  
<https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=jal>

DAAC, A. (2011). *PALSAR*. Obtenido de Radiometric Terrain Corrected high res: Acceso ASF DAAC, 16 octubre 2021

FAO. (2006). *World reference base for soil resources 2006. A framework for international classification, correlation and communication*. Roma.

FAO-PNUMA-UNESCO. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. Roma-Italia: Publicaciones de la FAO.

Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. M. (s.f.). El Factor C de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE). *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural*.

Ibañez, J., & Manriquez, C. F. (2012). *Curso básico: Tipos de suelos del mundo. Fertilidad de suelos y nutrición vegetal*.

IIEG. (2015). *Cartas Edafológicas Vectorizadas. Unidades de suelo*. Escala 1:50000.

Lianes, E., Marchamalo, M., & Roldán, M. (2009). Evaluación del Factor C de la RUSLE para el manejo de coberturas vegetales en el control de la erosión de la cuenca del río Birrís, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, Vol. 33, núm. 2 (págs. 217-235).

Montes-León, Uribe, E., & García-Celis, E. (2011). Mapa Nacional de Erosión Potencial. En *Tecnología y ciencias del agua* (págs. 05-17).

Portuguez, M. D. (2015). Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Sigüas utilizando geoinformática. En *Anales Científicos*, 76 (2) (págs. 324-329). Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.

Renard, K. G., Foster, G. R., Weeises, G., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. Washington, D. C.: Agriculture Handbook Number 703.

SEMADET. (2020). *Uso de suelo y vegetación*. Jalisco: Geomática.

Wischmeier, W. H., & Smith, D. (1978). En *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. (pág. 58). U.S.D.A. Agriculture Handbook 537.

Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1965). *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation*. Washington, D. C.: Dep. Agric., Agric handbook. no 282.

WRB, I. W. (2015). *Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos*. Roma: Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO.

## 4. Susceptibilidad a deslizamientos

### Introducción

Los deslizamientos corresponden a un fenómeno geológico en el que se produce el movimiento talud abajo de masa, rocas, detritos o tierra. Principalmente se ocasionan cuando el material pierde su equilibrio y la fuerza gravitacional de la misma pendiente. Pueden ser provocados por alteraciones naturales en el ambiente, al igual que por aquellas derivadas a las actividades antropogénicas. El fenómeno ocurre cuando las debilidades intrínsecas del material se combinan con algún factor externo que resulte desestabilizador; como lo son las precipitaciones intensas, la actividad sísmica y la actividad volcánica (Mendoza & Domínguez, 2018).

Son fenómenos difíciles de predecir con un alto grado de incertidumbre; por lo que pueden traer graves consecuencias para las poblaciones cercanas; tanto a los habitantes como a sus bienes. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, entre los años de 1998 a 2017, los deslizamientos de masa afectaron alrededor de 4.8 millones de personas a nivel mundial; provocando la muerte de más de 18,000 personas.

Con base en la información previa, se propone realizar un análisis de susceptibilidad a deslizamientos con el objetivo de identificar y delimitar las áreas geográficas dentro del área de estudio que presentan condiciones propicias para la inestabilidad de laderas. Con el análisis se busca contribuir a la formulación y aplicación de políticas ambientales adecuadas, orientadas a mitigar los riesgos potenciales asociados con la inestabilidad de laderas. Los mapas de susceptibilidad a deslizamientos son representaciones geográficas de alta resolución que indican por tamaño de píxel la probabilidad de que ocurra el fenómeno de acuerdo a distintos factores.

### Objetivo

Delimitar las zonas de mayor susceptibilidad a deslizamientos a nivel municipal con el fin de proporcionar información relevante para la zonificación y diseño de políticas ambientales.

### Metodología

La elaboración del mapa de susceptibilidad por inestabilidad de laderas se realizó mediante la aplicación de análisis multicriterio con el apoyo de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se incluyeron distintas variables relacionadas con factores topográficos, geotécnicos y ambientales para evaluar la susceptibilidad en el municipio de Lagos de Moreno.

## Selección de los parámetros

La selección de los parámetros para el análisis se realizó consultando distintas metodologías de susceptibilidad y peligro por inestabilidad de laderas en múltiples fuentes bibliográficas. Se encontró que en la mayoría de las metodologías se utilizó una variedad de capas de información asociadas a factores condicionantes; a los cuales se les asignaba una ponderación. Estas, posteriormente se sumaron mediante la herramienta de "suma ponderada" de ArcGis.

### 1. Pendientes

Para la elaboración del mapa de pendiente del área de estudio, se partió del modelo digital de elevación (MDE) con un tamaño de píxel de dimensiones (12,5,12,5). Con el geoproceso de ArcMap llamado "Pendiente" se obtuvo el ráster de pendiente, el cual posteriormente se reclasificó a partir de la metodología propuesta de CENAPRED (2015). De acuerdo con dicho documento, entre mayor sea la pendiente en el terreno, mayor es la susceptibilidad a sufrir un deslizamiento. La clasificación empleada se indica a continuación.

Parámetro	Clase	Ponderación
Pendientes	0° - 6°	1
	6° - 15°	2
	15° - 30°	3
	30° - 45°	4
	> 45°	5

Tabla 1. Clases para el mapa de pendientes

Fuente: Elaboración propia con datos de CENAPRED (2020).

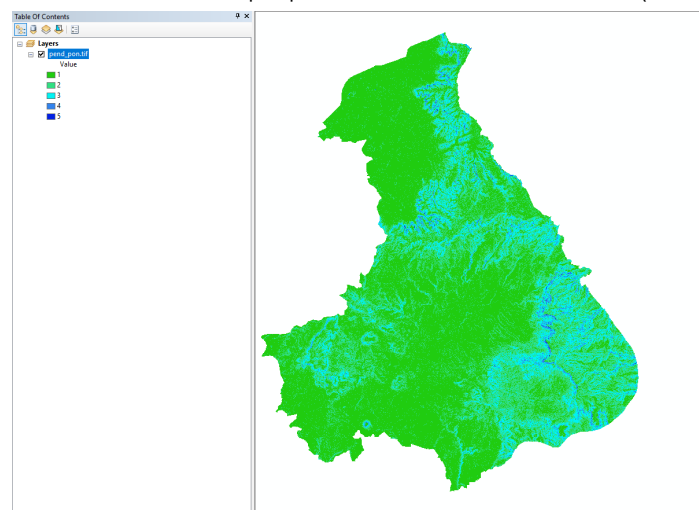


Figura 1. Capa de pendientes reclasificada para Lagos de Moreno.  
Fuente: Elaboración propia a partir del modelo digital de elevación.

### 2. Geoformas

Para la capa temática de geoformas se siguió la metodología establecida en el documento "Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisaje"

(Priego et al., 2010). Para su elaboración se partió del modelo digital de elevación (MDE) con un tamaño de píxel de 12.5 metros. Para la reclasificación y ponderación se utilizaron las clases y valores indicados en la Tabla 2.

Parámetro	Clase	Ponderación
<b>Geoformas</b>	Planicies onduladas, ligeramente diseccionadas	1
	Planicies onduladas, medianamente diseccionadas	1
	Planicies onduladas, fuertemente diseccionadas	1
	Planicies acolinadas, ligeramente diseccionadas	2
	Planicies acolinadas, medianamente diseccionadas	2
	Planicies acolinadas, fuertemente diseccionadas	2
	Lomerios, ligeramente diseccionados	3
	Lomerios, medianamente diseccionados	3
	Lomerios, fuertemente diseccionados	5
	Montañas, ligeramente diseccionadas	5
	Montañas, medianamente diseccionadas	4

Tabla 2. Clases para el mapa de geoformas de Lagos de Moreno

Fuente: Elaboración propia.

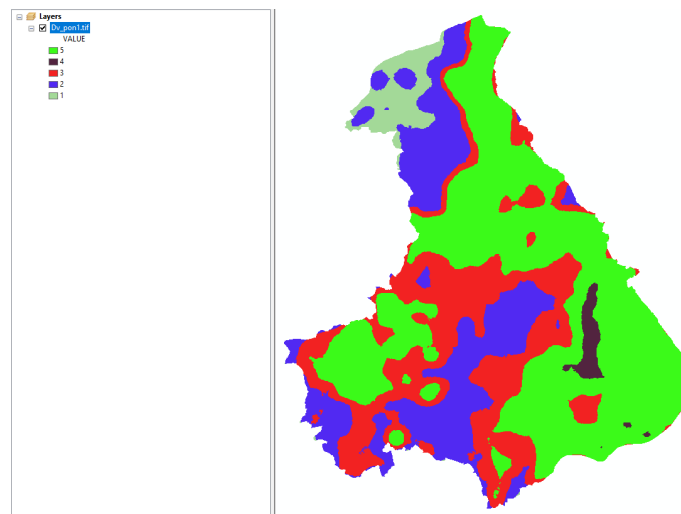


Figura 2. Capa de geoformas con valor ponderado para Lagos de Moreno

Fuente: Elaboración propia a partir de la propuesta semiautomatizada de unidades de paisaje (2010).

### 3. Edafología

Para la elaboración de la capa temática, se utilizó la información geoespacial de edafología en formato vectorial del Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIEG, 2015) a una escala de 1:50,000. A continuación se realizó la clasificación del tipo de suelo

predominante basada en la susceptibilidad a los fenómenos de erosión y meteorización, a partir de la metodología establecida por WRI et al. (2021). Para la clasificación, se tomaron como referencia las características edafológicas de la guía de interpretación de la cartografía edafológica serie III de INEGI y de la Base referencial mundial del recurso del suelo 2014 de la FAO (IUSS-Working-Group-WRB, 2015). Las clases empleadas se presentan en la Tabla 3.

Parámetro	Clase	Ponderación
Edafología	Gleysol, fluvisol, vertisol, gypsisol, xersosol	1
	Cambisol, feozem, rendzina	3
	Acrisol, luvisol, regosol	4
	Andosol, leptosol, planosol, litosol	5

Tabla 3. Clases para el mapa edafológico

Fuente: Elaboración propia

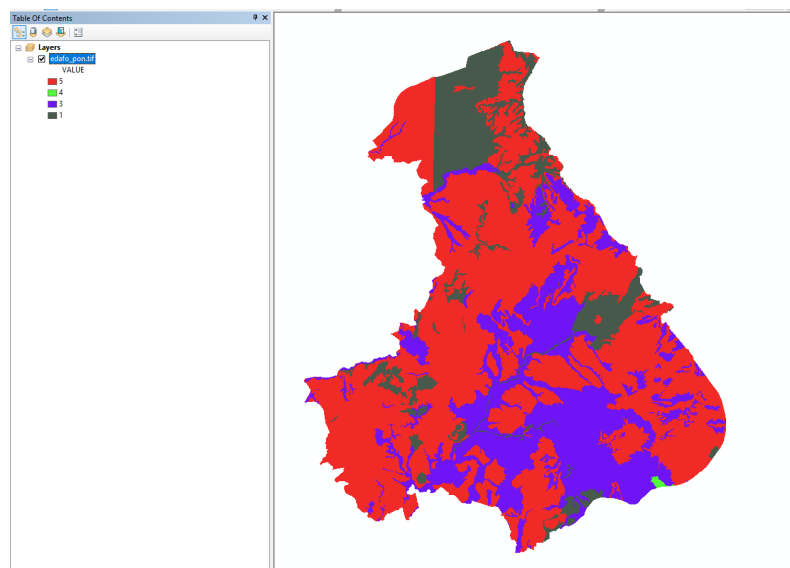


Figura 3. Capa de unidades edafológicas ponderadas para el área de estudio  
Elaboración propia a partir de IIEG (2015).

#### 4. Geología

Para el análisis de las unidades geológicas, se emplearon los archivos vectoriales del Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIEG) de 2016, a una escala de 1:50,000. Se evaluó la susceptibilidad relativa de las rocas en función de su resistencia a la compresión simple (kp/cm<sup>2</sup>), según la metodología de CENAPRED (2015); con el objetivo de determinar el grado de estabilidad de las rocas frente a la inestabilidad de laderas. Los valores obtenidos se clasificaron en 4 categorías con el método Natural Breaks (JENKS), las clases empleadas se muestran en la Tabla 4.

Parámetro	Clase	Ponderación
Geología	0	1
	0 - 31%	2
	31 - 35%	3
	35 - 42%	4

Tabla 4. Clases para el mapa geológico, de acuerdo con el porcentaje de susceptibilidad de la roca a la compresión simple expresada en kp/cm2, Lagos de Moreno.

Fuente: Elaboración propia

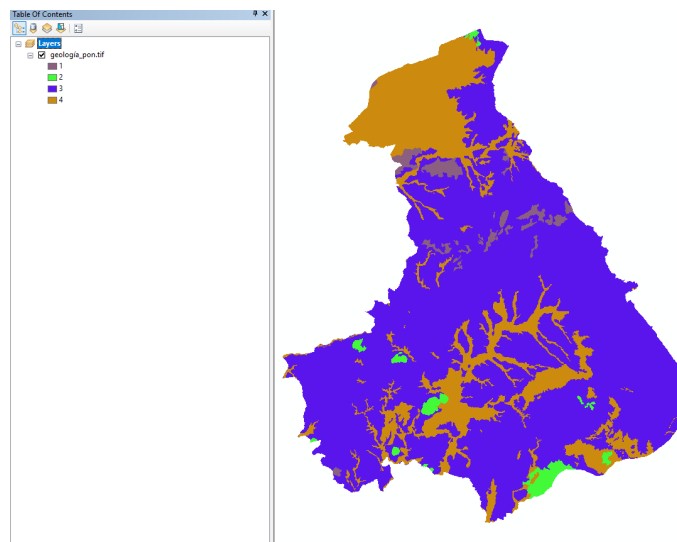


Figura 4. Capa de susceptibilidad de la roca a la resistencia de compresión simple expresada en kp/cm2 ponderada de Lagos de Moreno.

Fuente: Elaboración propia a partir de IIEG (2016) y CENAPRED (2020).

## 5. Morfolineamientos

Para la elaboración de la capa de morfolineamientos, se partió de la información del conjunto de datos vectoriales geológicos a escala 1:50,000 de Jalisco. Se utilizó la herramienta “Zona de influencia en anillos múltiples” de ArcGis para crear buffers a diferentes distancias de cada polilínea basándose en la metodología de CENAPRED 2015.

A continuación se rasteriza la capa y a cada intervalo de distancia se le asignó una ponderación. Las categorías y los valores utilizados se especifican en la Tabla 5.

Parámetro	Clase	Ponderación
Fallas y fracturas	>1,000	1
	500 - 1,000	2
	100 - 500	3
	50 - 100	4
	0 - 50	5

Tabla 5. Clases para el mapa de fallas y fracturas

Fuente: Elaboración propia

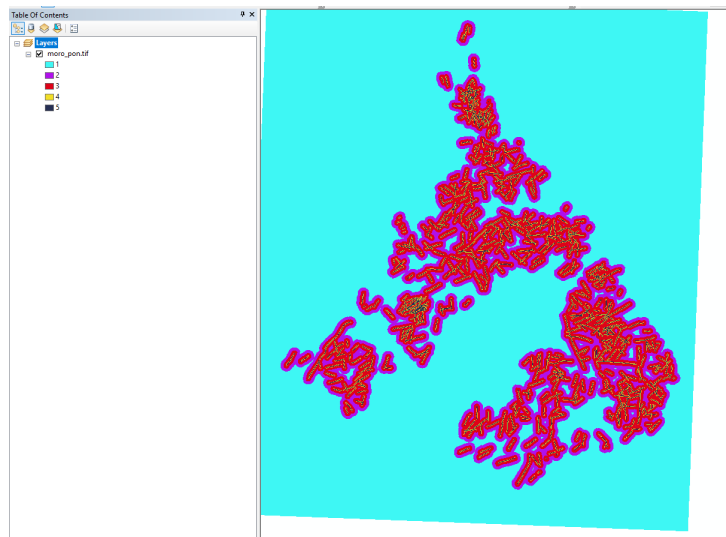


Figura 5. Capa de morfolineamientos para Lagos de Moreno.

Fuente: elaboración propia a partir de los archivos vectoriales de Mapa Jalisco (2021), a escala 1:50,000 y CENAPRED (2020).

## 6. Uso de suelo y vegetación

Para el análisis de cobertura de suelo se partió de la capa de uso de suelo y vegetación proporcionada por SEMADET (2023). Se siguió la clasificación establecida en el proyecto elaborado por Semadet y el INECC (2021) titulado "Sistemas de alerta temprana y

reducción del riesgo por inestabilidad de laderas asociadas a deforestación y degradación en el contexto del cambio climático”. Se hizo una equivalencia entre los tipos de suelo presentados en dicho documento y aquellos proporcionados por SEMADET (2023). La ponderación se basa en el nivel de peligro asociado a cada tipo de uso de suelo; las áreas sin vegetación aparente (suelo desnudo/deforestado ) y aquellas que corresponden a las áreas urbanas presentan el mayor nivel de peligro por lo que se les asigna una mayor ponderación.

Tabla 6. Clases para el mapa de uso de suelo y vegetación de Semadet 2023.

Parámetro	Clase	Ponderación
Uso de suelo y vegetación	Agua/Vegetación de galería/Bosque de Encino/Selva Baja Caducifolia/Bosque de Mezquites/Bosque de Coníferas/Matorral Crasicaule	1
	Bosque Cultivado e Inducido	2
	Pastizales Cultivados e Inducidos/Pastizales Naturales/Tierras Agrícolas Cultivos Anuales/Tierras Agrícolas Cultivos Perennes	3
	Suelo desnudo	4
	Urbano y construido	5

Fuente: Elaboración propia

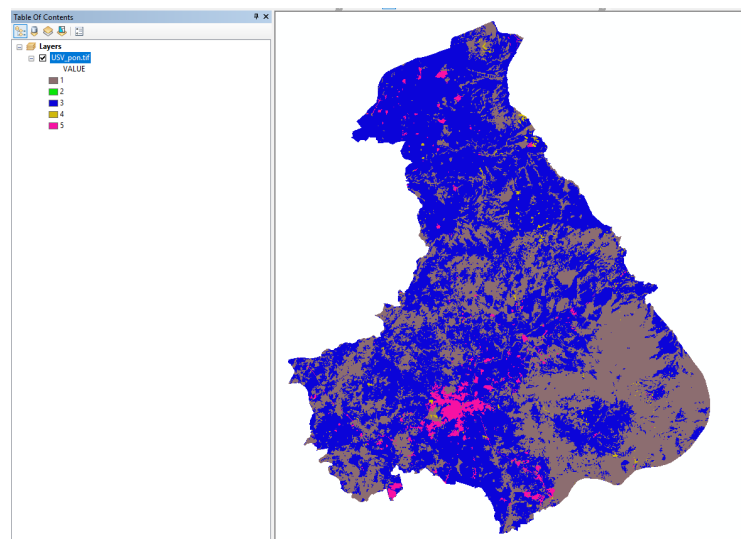


Figura 6. Capa de uso de suelo y vegetación clasificada y ponderada para Lagos de Moreno.

Fuente: Elaboración propia con datos de SEMADET 2023.

## 7. Vías de comunicación

Para el parámetro de vías de comunicación, se partió de los datos vectoriales correspondientes a la red vial de la Red de Caminos Nacional (SCT, 2020). Al igual que en

la capa de morfolinamientos, se utilizó la herramienta “Zona de influencia en anillos múltiples” de ArcGis para crear buffers a diferentes distancias de las vías de comunicación. Para la reclasificación de los datos, en la Tabla 7 se indican las distintas clases utilizadas y sus respectivas ponderaciones. La clasificación se basa en el artículo “Un enfoque heurístico para el mapeo global de susceptibilidad a deslizamientos de tierra” (Stanley, T. & Kirschbaum, D., 2017). En el que se asocian los registros globales de deslizamientos con la presencia de caminos; ya que comúnmente se establecen en terrenos montañosos.

Parámetro	Clase (m)	Ponderación
Vías de comunicación	0 - 50	5
	50 - 250	4
	250 - 500	3
	500 - 750	2
	> 750	1

Tabla 7. Clases y ponderaciones para el mapa de vías de comunicación en Lagos de Moreno.

Fuente: Elaboración propia

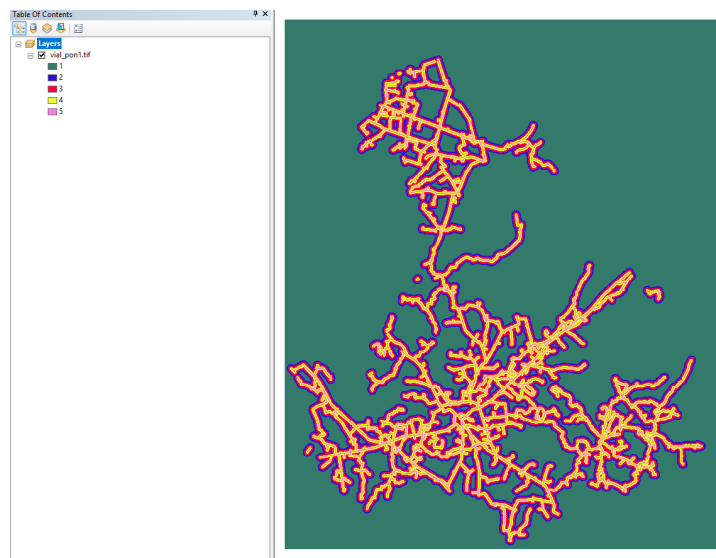


Figura 7. Capa de vías de comunicación ponderada de la Lagos de Moreno

Fuente: Elaboración propia

## Suma ponderada

Una vez teniendo cada una de las capas, de las variables anteriormente descritas, se agruparon en los siguientes tres factores:

- Factor topográfico. - se incluyeron las variables correspondientes a las condiciones de la inclinación del área de estudio; como la pendiente y las geoformas.
- Factor geotecnia. - se incluyeron las variables correspondientes a las condiciones geológicas terreno, la pendiente y geomorfología en la que se integraron las condiciones del área de estudio; como geología, la edafología y los morfolineamientos (fallas y/o fracturas)
- Factor ambiental. - se incluyeron las vías de comunicación y los usos de suelo y vegetación.

En la Tabla 8, se indica el peso asignado a cada parámetro, al igual que el peso asignado a cada uno de los tres factores anteriormente especificados.

Factor	Parámetro	Peso por parámetro	Peso por factor
Topografía	Pendientes	60%	50%
	Geomorfología	40%	
Geotecnia	Geología	50%	40%
	Edafología	30%	
	Fallas y fracturas	20%	
Ambiental	Uso de suelo y vegetación	80%	10%
	Vías de comunicación	20%	

Tabla 8. Ponderaciones por parámetro y por factor utilizadas en el análisis. Fuente: Elaboración propia a partir de CENAPRED (2020) y SEMARNAT, INECC (2021).

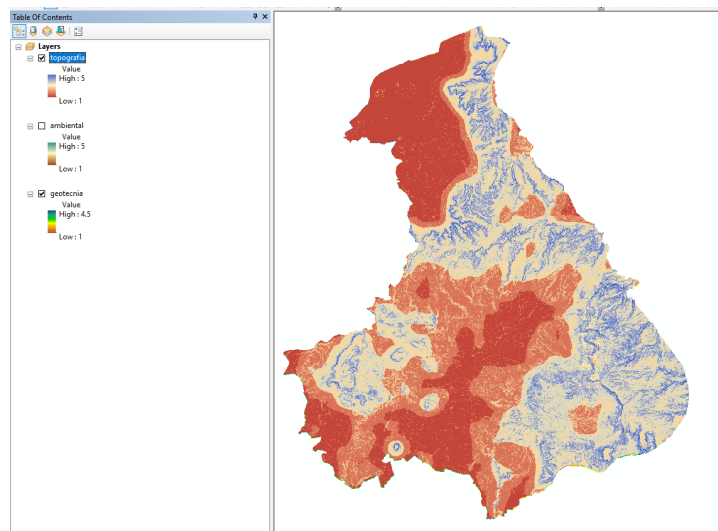


Figura 8. Capa del factor topográfico en Lagos de Moreno.

Fuente: Elaboración propia.

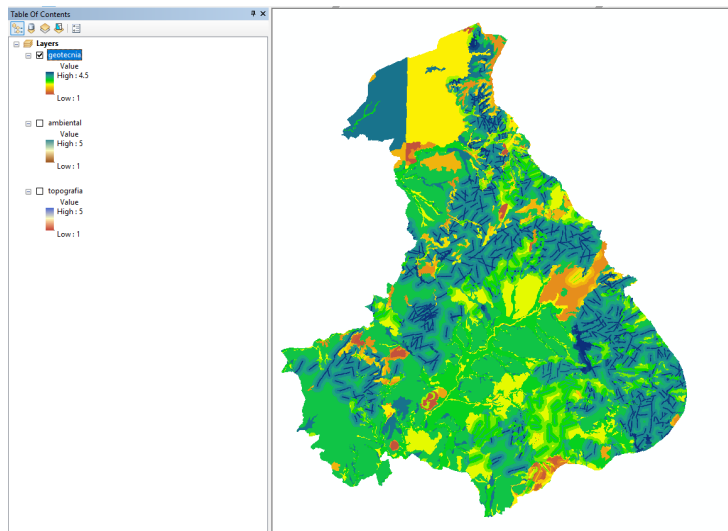


Figura 8. Capa del factor de geotecnia en Lagos de Moreno.

Fuente: Elaboración propia.

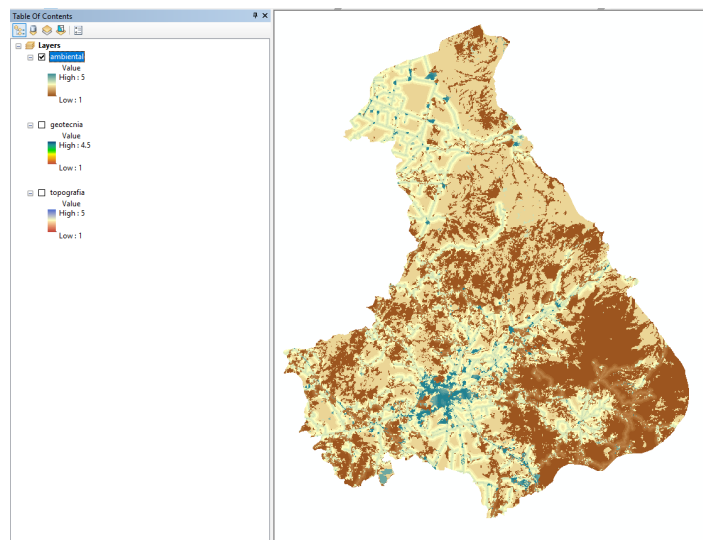


Figura 8. Capa del factor ambiental en Lagos de Moreno.

Fuente: Elaboración propia.

Los tres factores se sumaron con la herramienta de ArcGis “Suma ponderada”, al finalizar el proceso los valores obtenidos se clasificaron con el método Natural Break (Jenks) para tener el resultados en números enteros del 1 y 5. Posteriormente se clasificaron en las siguientes categorías de susceptibilidad; muy alta (5), alta (4), moderada (3), baja (2) y muy baja (1). La categorización se basa en en la metodología propuesta para la generación de insumos del mapa nacional de susceptibilidad por inestabilidad de laderas de CENAPRED 2015.

## Resultados

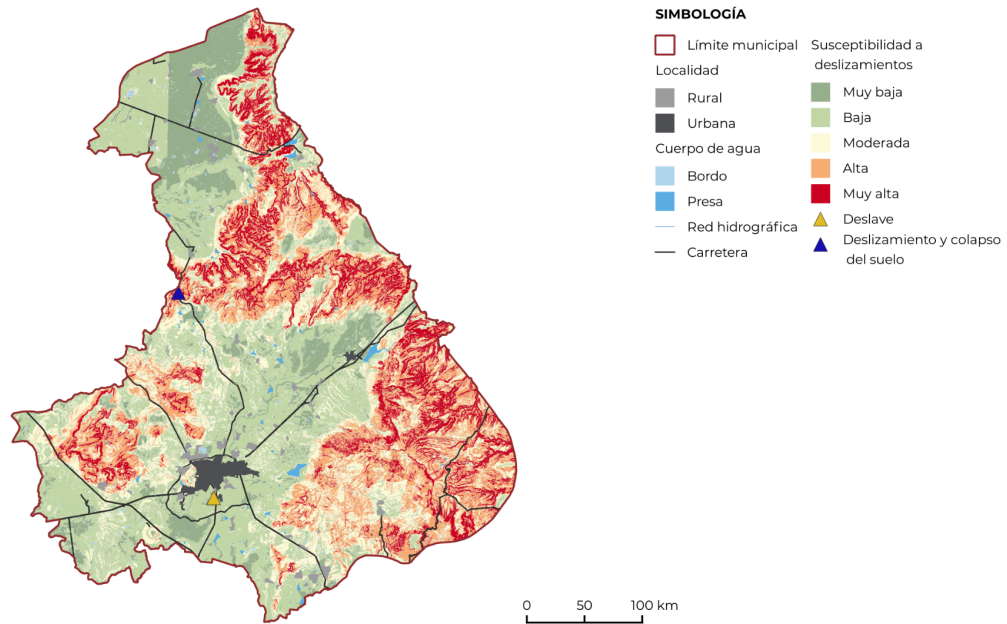
De acuerdo con la Tabla 9, la mayor parte del territorio (100,340.6 ha) presenta una susceptibilidad baja, que corresponde al 34.5% de la superficie total del área de estudio. Seguido de una susceptibilidad alta, con 62,335.8 ha lo que representa el 21.4%. El grado de susceptibilidad con la menor incidencia dentro del área de estudio corresponde a la clase denominada “Muy alta” que representa el 11.4% de la superficie total del municipio.

<b>Grado de susceptibilidad</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentaje del territorio (%)</b>
Muy baja	36,677.4	12.6
Baja	100,340.6	34.5
Moderada	58,212.3	20.0
Alta	62,335.8	21.4
Muy alta	33,325.7	11.4

Tabla 9. Superficie por grado de susceptibilidad a deslizamientos en Lagos de Moreno.

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en el Mapa 1, las zonas con susceptibilidad “alta” y “muy alta”, son aquellas ubicadas en las partes de territorio con las pendientes más pronunciadas (mayores a 15° ); como en la la parte alta de la sierra Alta-Comanja ubicada al sureste del área de estudio. De igual manera, al oeste de la cabecera municipal, la susceptibilidad al deslizamiento de laderas es alta; a pesar de las geoformas de dicha zona corresponden principalmente a montañas ligeramente diseccionadas. Cabe mencionar que las localidades de El Bernalejo y Santa Inés se localizan en dicha área. Otra zona con alta susceptibilidad corresponde a la serranía denominada Los Puestos y todo el conjunto de cerros que cruza de oeste a este el municipio. Se tiene el registro de un deslizamiento sobre la carretera que va de la cabecera municipal hacia la localidad El Puesto, ubicada en el área mencionada anteriormente.



Mapa 1. Susceptibilidad a deslizamientos en Lagos de Moreno.

Fuente: Elaboración propia.

## Bibliografía

CENAPRED (2015). Generación de insumos para el atlas nacional de riesgos : Mapa nacional de susceptibilidad por inestabilidad de laderas. Recuperado de: <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/descargas/Methodologias/SusceptibilidadLaderas.pdf>

CENAPRED. (2020). Mapa nacional de susceptibilidad por inestabilidad de laderas. Recuperado de: <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/inestabilidad-laderas.html>

Curcic, Nina & Djurdjic, Snezana. (2013). The actual relevance of ecological corridors in nature conservation. Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic, SASA. 63. 21-34. 10.2298/IJGI1302021C.

Haddad et al. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. Sci. Recuperado de: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1500052>

IIEG. (2015). Cartas Edafológicas Vectorizadas, Escala 1: 50 000. Unidades de suelo [Capa vectorial]. Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco.

IIEG. (2016). Conjunto de datos vectoriales geológicos, Escala 1: 50 000. Estructura geológica [Capa vectorial]. Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco.

Instituto Mexicano del Transporte (SCT). (2020). Red Nacional de Caminos. Recuperado de: <http://rnc.imt.mx/>

Mendoza & Domínguez (2018). Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Sistema nacional de protección civil. Recuperado de [https://pcivil.michoacan.gob.mx/wp-content/uploads/2018/02/Guia\\_Basica\\_para\\_la\\_Elaboracion\\_de\\_Atlas\\_Estatales\\_y\\_Municipales\\_de\\_Peligro\\_y\\_Riesgos.pdf](https://pcivil.michoacan.gob.mx/wp-content/uploads/2018/02/Guia_Basica_para_la_Elaboracion_de_Atlas_Estatales_y_Municipales_de_Peligro_y_Riesgos.pdf)

Priego et al. (2010). Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisajes. Planeación territorial. Recuperado de: <https://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/view/view.php?doc=propuestaSemi.pdf>

Stanley, T. & Kirschbaum, D (2017). Recuperado de: [https://www.readcube.com/articles/10.1007/s11069-017-2757-y?author\\_access\\_token=GSmzkZxz6\\_Yr47IZjf9Zve4RwlONchNByi7wbcMAY4L-cunzJi53YgF0Irs\\_GdO8IOBaBqHXT3z5EMxIUhmrvCSvAkJCfqDsd3A9Z3rkd8jwoSpMAnOj4nWF6TIXpAgbew2mwnWe5eJRm3MkCo6uO%3D%3D](https://www.readcube.com/articles/10.1007/s11069-017-2757-y?author_access_token=GSmzkZxz6_Yr47IZjf9Zve4RwlONchNByi7wbcMAY4L-cunzJi53YgF0Irs_GdO8IOBaBqHXT3z5EMxIUhmrvCSvAkJCfqDsd3A9Z3rkd8jwoSpMAnOj4nWF6TIXpAgbew2mwnWe5eJRm3MkCo6uO%3D%3D)

Taylor, Philip & Fahrig, Lenore & With, Kimberly. (2006). Landscape connectivity: A return to the basics. 10.1017/CBO9780511754821.

WHO (s.f) Deslizamientos. Temas de Salud. Recuperado de: [https://www.who.int/health-topics/landslides#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/landslides#tab=tab_1)

WRI, PNUD, SEMARNAT, INECC( 2021). Sistemas de alerta temprana y reducción de riesgos por inestabilidad de laderas asociados a la deforestación y degradación en contextos de cambio climático. Recuperado de: <https://www.undp.org/es/mexico/publications/sistemas-de-alerta-temprana-y-reduccion-de-riesgos-por-inestabilidad-de-laderas-asociados-la-deforestacion-y-degradacion-en>

## 5. Susceptibilidad a inundaciones

### Introducción

Las inundaciones son uno de los desastres naturales más severos, los efectos que llegan a causar pueden ser irreversibles; en los que se incluye el daño a la propiedad privada, daños a la infraestructura del lugar e incluso la pérdida de vidas humanas. Los mapas de susceptibilidad a inundaciones son una herramienta necesaria para caracterizar cuáles son las áreas dentro de un territorio específico son más susceptibles a sufrir del fenómeno y a partir de ello crear planes de mitigación adecuados para la zona y políticas de prevención de riesgos.

### Metodología

El mapa de susceptibilidad a inundaciones, se realizó a partir de un análisis multicriterio con ayuda de ArcGis (sistema de información geográfica). Primero se hizo una selección de variables, luego se realizó una categorización y a cada una se le asignó una ponderación según su relación con el fenómeno. Por último, con la herramienta de suma ponderada, se juntaron las variables en un solo raster y se creó el mapa. A continuación se especifica cada paso del proceso.

## Selección de variables.

Para identificar las variables determinantes para el análisis, se revisaron múltiples metodologías y estudios previos sobre mapas de susceptibilidad a inundaciones. A pesar de que no existe como tal un consenso sobre cuáles son las variables que más influyen en la incidencia a la susceptibilidad del fenómeno; se pudo hacer una selección de las se eligieron las siguientes. Cabe mencionar que no se incluyeron las variables de

### 1. Pendiente

Para la elaboración del mapa de pendiente del área de estudio, se partió del modelo digital de elevación (MDE) con un tamaño de píxel de dimensiones (12,5,12,5). Con el geoproceso de ArcMap llamado "Pendiente" se obtuvo el ráster de pendiente, el cual posteriormente se clasificó en dos grupos. El primero, va del intervalo de los 0° a los 2°; al que se le asignó un valor de 5. De acuerdo con Vojtek y Vojteková (2019) los puntos de inundación se asocian a pendientes planas menores a los 2°. A las pendientes mayores a los 2°, se les asignó el valor de 1. En la figura 1 se muestra el mapa de pendientes reclasificado.

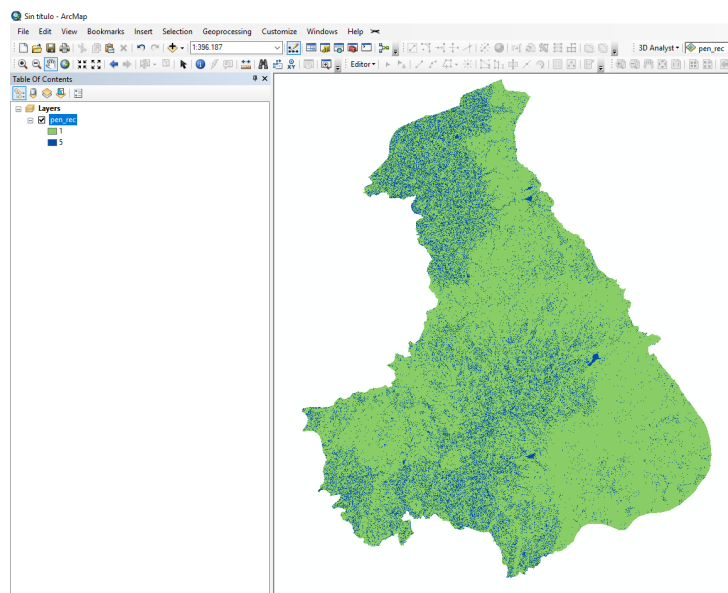


Figura 1. Capa reclasificada y ponderada de pendientes para Lagos de Moreno.

Fuente: Elaboración propia.

### 2. Altura

Para definir las alturas se partió del modelo de elevación digital (MDE) de Lagos de Moreno. Dicho ráster fue reclasificado en ArcMap con la herramienta "Reclassify". Se formaron dos categorías, la primera con alturas de 1,500 a 2,000 msnm y la segunda con elevaciones mayores a 2,000 msnm. Se les asignaron ponderaciones de 3 y 1 respectivamente. El resultado se muestra en la figura 5.

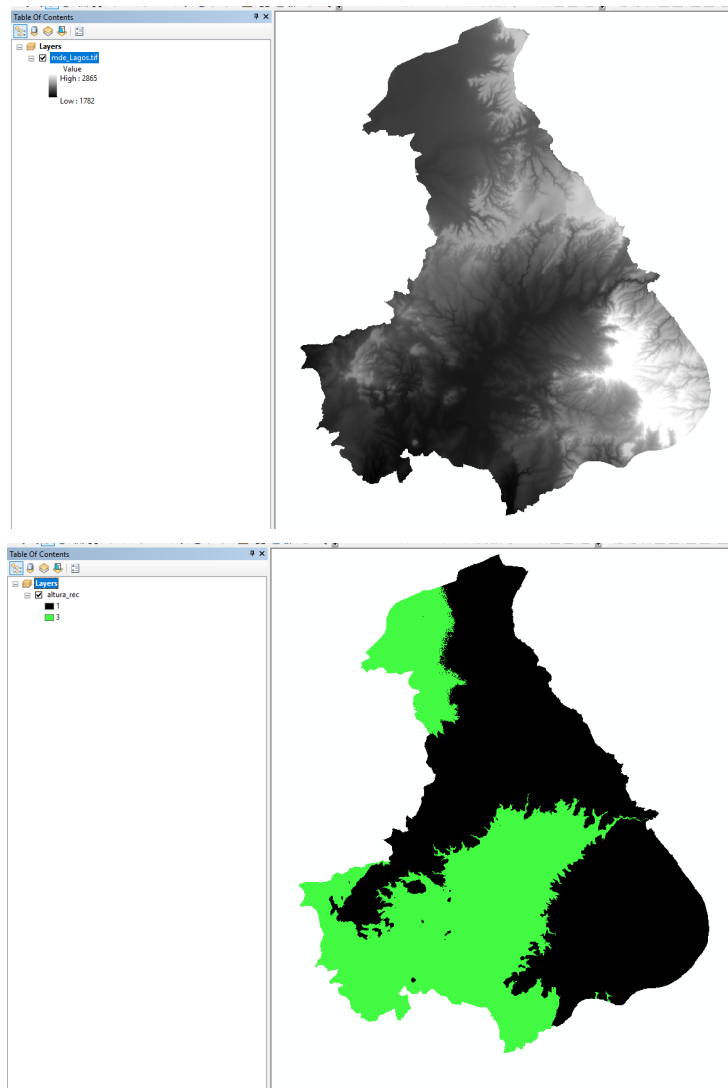


Figura 5. Capa de altura reclasificada y ponderada  
Fuente: Elaboración propia.

### 3. Cobertura

Para la variable de cobertura se usó la capa de uso de suelo y vegetación proporcionada por SEMADET (2023). Se agruparon las coberturas en cinco clases (forestal, herbáceo, agrícola, impermeable y agua) y se les asignó a cada una un valor del 1 al 5, de acuerdo con su relación en la ocurrencia de las inundaciones. Los valores asignados y la agrupación correspondiente a cada cobertura se muestran en la siguiente tabla.

Uso de suelo y vegetación	Agrupación	Ponderación
Bosque de encino	Forestal	1
Bosque coníferas	Forestal	1
Bosque inducido y cultivado	Forestal	1

Selva baja caducifolia	Forestal	1
Matorral crasicaule	Forestal	1
Pastizal cultivado e inducido	Herbáceo	2
Pastizal natural	Herbáceo	2
Tierras agrícolas anuales	Agrícola	3
Tierras agrícolas perennes	Agrícola	3
Urbano y construido	Impermeable	4
Suelo desnudo	Impermeable	4
Vegetación halófila/hidrófila	Agua	5
Agua	Agua	5

Tabla 1. Clases de coberturas agrupadas y valores asignados

Fuente: Elaboración propia.

#### 4. Textura del suelo

Para la elaboración de la capa de textura del suelo, se utilizó la capa vectorial de Edafología en Jalisco a una escala 1:50,000 del Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIEG,2015). La clasificación y ponderación de la capa, se realizó con respecto a la información que contiene referente a la textura del suelo. A los suelos de textura fina se les asignó una ponderación de 5, a los de textura media 3 y por último a los de textura gruesa 1. La ponderación anterior se basa en la descripción de permeabilidad de cada suelo de la “Base referencial mundial del recurso de suelo” del 2014; elaborado por la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (IUSS-Working-Group-WRB, 2015).

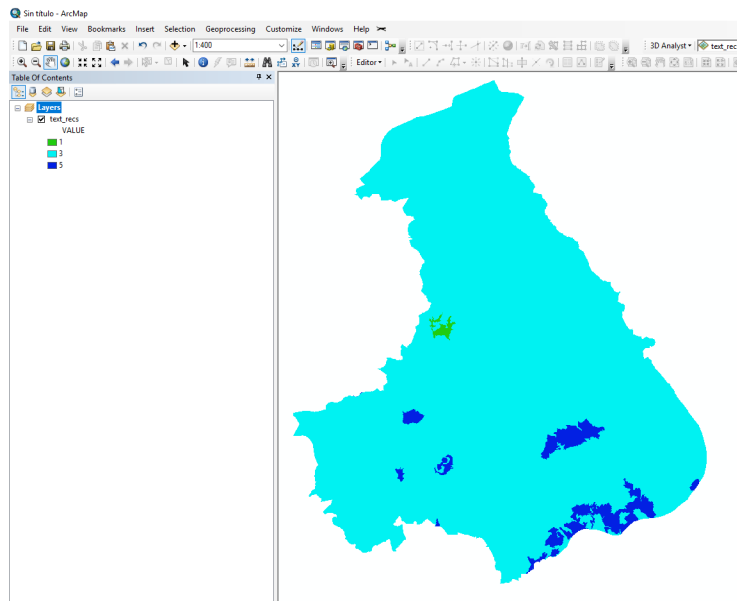


Figura 5. Capa de textura de suelo reclasificada y ponderada.  
Fuente: Elaboración propia.

## 5. Cercanía a escurrimientos

Respecto a la cercanía a los escurrimientos, se tomó como insumo la red hidrográfica en formato vectorial elaborado por el equipo técnico de hidrología. Con la herramienta “Zona de influencia en anillos múltiples” de ArcGis se crearon buffers a distintas distancias de la red. Al intervalo de 0 a 100 metros se le asignó un valor de 5, de los 100 a los 150 se le asignó un 4, de 150 a 200 un 3 y de 200 metros en adelante un valor de 5. Las categorías y los valores utilizados se especifican en la Tabla 5.

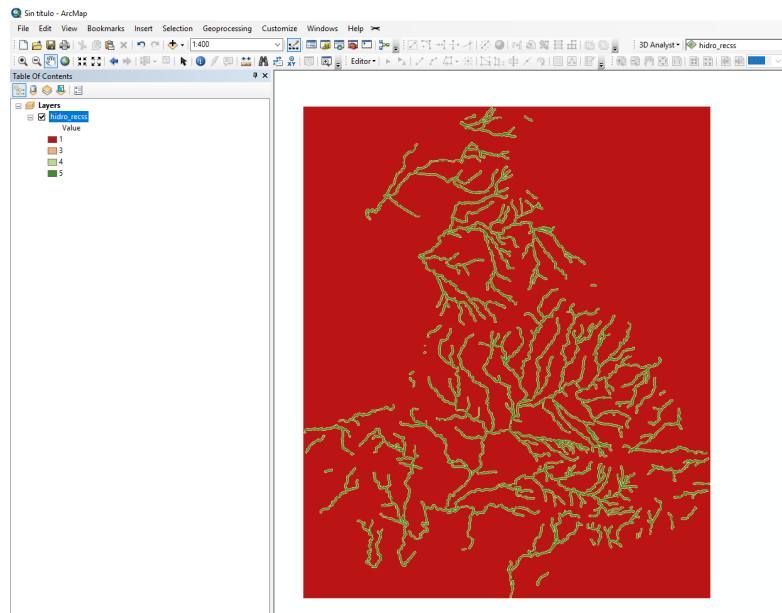


Figura 5. Capa de cercanía a escurrimientos reclasificada y ponderada . Fuente: Elaboración propia.

## Suma ponderada

Una vez teniendo los archivos ráster de todas las variables descritas anteriormente, se sumaron mediante la herramienta de ArcGis llamada "Suma ponderada". La ponderación que se le asignó a cada capa para dicho proceso, se indica a continuación en la Tabla 2.

Variable	Clase	Valor	Ponderación
Pendientes	0 - 2 %	5	30
	> 2%	1	
Altura	1,5000 - 2,000	3	10
	> 2,000	1	
Textura de los suelos	Fina	5	10
	Media	3	
	Gruesa	1	
Coberturas	Forestal	1	20
	Herbáceo	2	
	Agrícola	3	
	Impermeable	4	
	Agua	5	
Cercanía a escurrimientos	100	5	30
	150	4	
	200	3	
	> 200	1	

Tabla 2. Parámetros utilizados en la suma ponderada para Lagos de Moreno.

Fuente: Elaboración propia.

## Clasificación de niveles de susceptibilidad

Para que los valores de las ponderaciones finales correspondieran a un número entero dentro del intervalo 1 - 5 . Se hizo una reclasificación de cinco clases mediante el método "Natural Break" (JENKS).

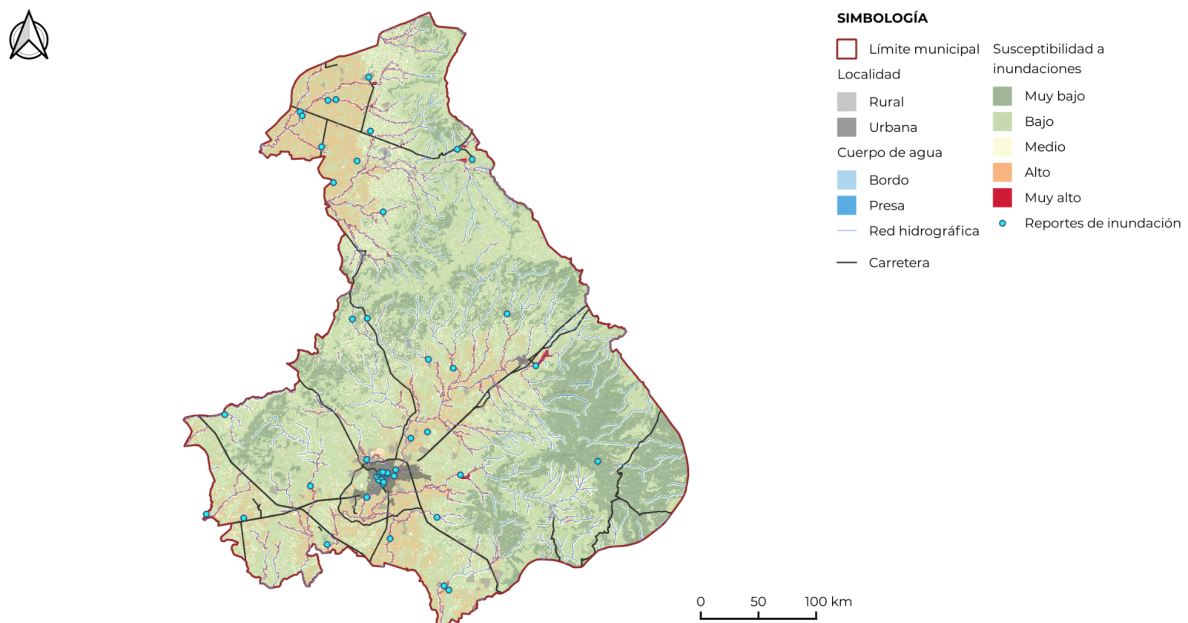
## Resultados

De acuerdo con la información de la Tabla 3, la mayor parte del territorio entra dentro de las categorías de susceptibilidad denominadas como "baja" y "muy baja"; con porcentajes de 53.9% y 18.9% respectivamente. Lo anterior se aprecia mayoritariamente en las zonas en las que la cobertura del suelo es forestal. Las zonas con alta susceptibilidad son aquellas localizadas dentro de las áreas urbanas y en donde la textura de los suelos es más fina lo

que representa una menor permeabilidad del suelo; como al norte del municipio en las localidades de Betulía, El Reparó y El Puesto. Las áreas que corresponden a la categoría más alta de susceptibilidad a inundaciones representan apenas el 1.9% de la superficie total del territorio y se relacionan directamente con la cercanía que tienen a los escurrimientos de los cuerpos de agua.

Grado de susceptibilidad	Área (ha)	Porcentaje del territorio (%)
Muy bajo	54,997.7	18.9
Bajo	157,135.0	53.9
Medio	49,831.9	17.1
Alto	23,654.0	8.1
Muy alto	5,649.2	1.9

Tabla 3. Superficie por grado de susceptibilidad y porcentaje del territorio total de Lagos de Moreno.  
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 1. Susceptibilidad a inundaciones en Lagos de Moreno.  
Fuente: Elaboración propia.

## Bibliografía

IUSS-Working-Group-WRB (2015). Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. FAO. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/i3794es/i3794es.pdf>

Vojtek M, Vojteková J (2019). Flood Susceptibility Mapping on a National Scale in Slovakia Using the Analytical Hierarchy Process. *Water*. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/w11020364><https://www.mdpi.com/2073-4441/11/2/364>

## 6. Susceptibilidad a incendios

### Introducción.

Los incendios forestales representan un riesgo latente en parcelas agrícolas, áreas naturales y sitios cercanos a zonas con cobertura forestal, por lo que su prevención, control y mitigación de daños debe ser prioridad para el desarrollo del municipio. Entre los años 2010 y 2020, en México, se han reportado un promedio de 7,500 incendios, con una afectación de aproximadamente 4.5 millones de hectáreas. Las afectaciones a la cobertura forestal se han dado principalmente por carecer de actividades preventivas y tener una baja eficiencia y distribución de recursos humanos y materiales para la detección, llegada y combate de incendios (González-Rosales et al., 2022). El siguiente análisis identifica las áreas con mayor probabilidad de presentar incendios, con la finalidad de determinarlas como áreas de prioridad para las acciones de control de fuego.

### Metodología

Se utilizó el análisis realizado por el área de geomática de Semadet, el cual usa distintas variables como; localidades, vías de comunicación, ocurrencia histórica de incendios, causa y frecuencia de incendios, comportamiento y efecto del fuego, pendiente, exposición, precipitación, temperatura y combustibles forestales, para el desarrollo de un análisis multicriterio.

### Resultados

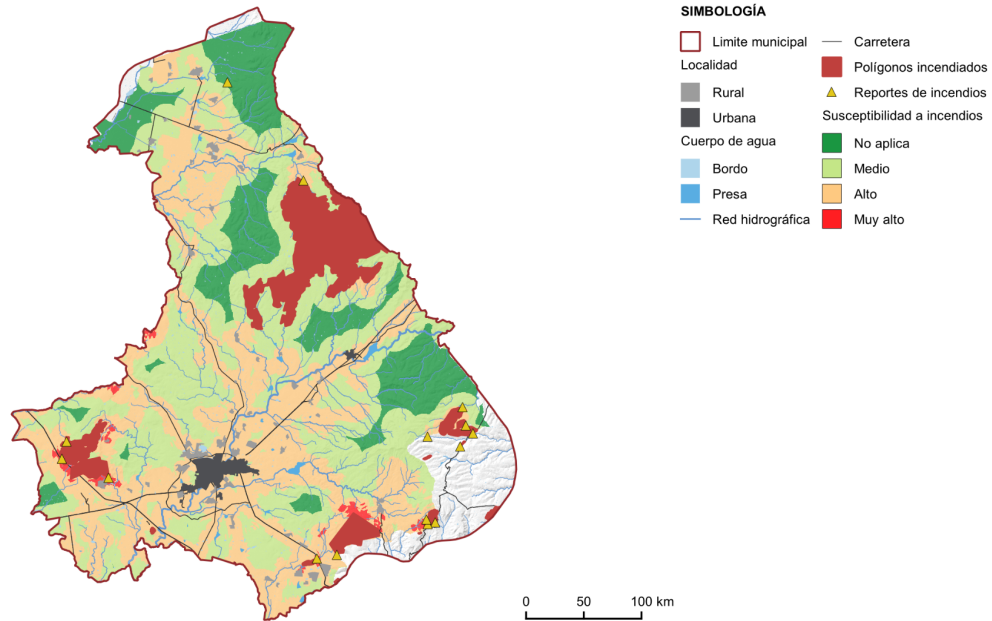
El análisis dio como resultado un 41.96 % de superficie en una susceptibilidad media ante incendios y solamente el 1.34% se encuentra en la categoría de susceptibilidad alta.

Nivel de riesgo	Area (ha)	Porcentaje
No aplica	42,099.31	14.45%
Bajo	100,024.11	34.33%
Medio	122,224.77	41.96%
Alto	3,922.28	1.34%

Tabla 1. Superficie por nivel de riesgo a incendios en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

El nivel de riesgo alto se presenta en las localidades de Bernalejo, Santa Inés, El Refugio, La Cruz y Fraccionamiento Valle de los Reyes, mencionados en orden de mayor a menor superficie que presenta un nivel alto de riesgo a incendios. En el siguiente mapa se puede observar lo mencionado.



Mapa 1. Susceptibilidad a incendios en Lagos de Moreno  
Fuente: Elaboración propia

## Bibliografía

SEMADET. (2021). Análisis de áreas de atención prioritaria contra incendios forestales en el estado de Jalisco. Recuperado de:  
file:///C:/Users/Windows%2011/Downloads/AreasPrioritarias\_Incendios.pdf

González-Rosales, Andrés, & Ortiz-Paniagua, Carlos Francisco. (2022). Superficie forestal afectada por incendios en México: apuntes iniciales hacia un modelo de manejo preventivo. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 1-27. <https://dx.doi.org/10.15359/rca.56/1.1>