

Proyecto Final

María Jesús Pérez Hernández

1. Introducción:

El bosque mesófilo de montaña (BMM) constituye uno de los ecosistemas más importantes y, al mismo tiempo, más amenazados de México. Su relevancia radica en la alta diversidad biológica que alberga, ya que presenta una notable concentración de especies endémicas y una gran riqueza florística y faunística (Villaseñor & Ortiz, 2014).

Además, este ecosistema desempeña un papel fundamental en la provisión de servicios ecosistémicos. Destaca su capacidad de captación y regulación hídrica, que abastece de agua a numerosas comunidades asentadas en cuencas prioritarias (CONABIO, 2010). También contribuye significativamente a la captura y almacenamiento de carbono, favoreciendo la mitigación del cambio climático (Toledo-Aceves et al., 2011). En términos sociales y culturales, el BMM es esencial para comunidades rurales e indígenas que dependen de él para la obtención de recursos como leña, plantas medicinales y agua, además de formar parte de sus prácticas tradicionales de manejo del territorio (CONABIO, 2010). Sin embargo, a pesar de su importancia, este ecosistema es el más reducido y fragmentado del país, cubriendo menos del 1% de la superficie nacional y enfrentando presiones derivadas del cambio de uso de suelo y del cambio climático (Villaseñor & Ortiz, 2014).

Para plantear acciones efectivas de protección y conservación del bosque mesófilo de montaña es indispensable contar con un diagnóstico integral de su estado actual. Este diagnóstico debe contemplar tanto el componente estructural como el componente funcional. El análisis de estos elementos a nivel de paisaje permite identificar patrones de fragmentación, niveles de resiliencia y áreas críticas que requieren atención prioritaria. Con base en este conocimiento, es posible diseñar estrategias de manejo adaptativo que no solo busquen la conservación de la biodiversidad, sino también la restauración de los procesos ecológicos que garantizan la provisión de servicios ambientales fundamentales para las comunidades humanas y el equilibrio de los ecosistemas.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es estimar métricas de fragmentación y conectividad del paisaje para evaluar el estado actual de los remantes de bosque mesófilo de montaña de la zona norte de Michoacán.

2. Metodología:

Área de estudio

El área de estudio se ubica en la zona norte del estado de Michoacán (Figura 1), considera como paches a los remanentes de Bosque Mesófilo de Montaña. Se consideraron tres años, 1995, 1023 y 2018.

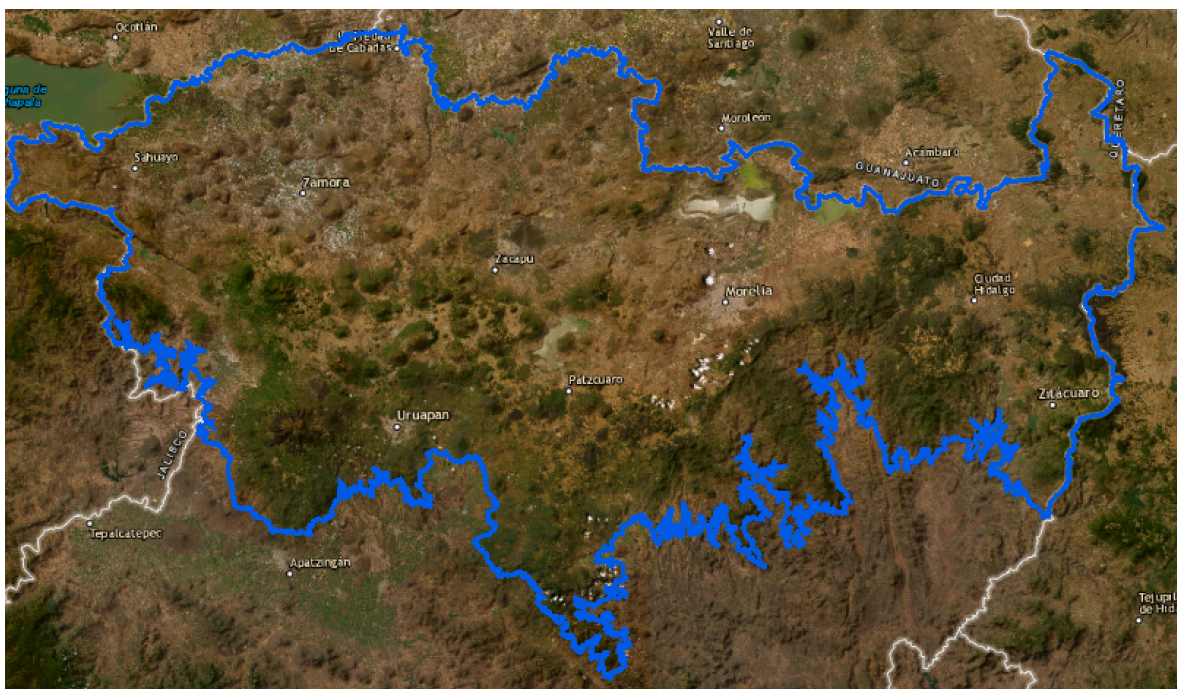


Figura 1. Área de estudio

Para el cálculo de las métricas de fragmentación se utilizó la función `MK_Fragmentation` y se usaron los polígonos de bosque mesófilo de montaña del año 2018. Se utilizó una distancia de borde de 300 metros.

Para calcular la conectividad del paisaje en diferentes fechas, se usó la función `MK_dECA()`, y se usaron los parches de bosque mesófilo de montaña de los años 1995, 2013 y 2018, con un umbral de dispersión de 5000 m.

3. Resultados:

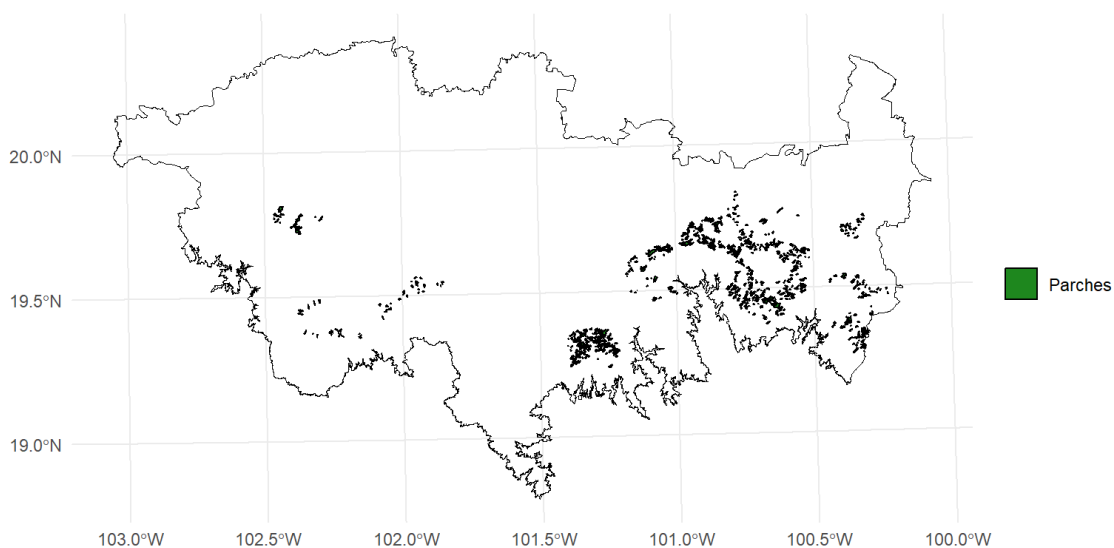


Figura 2. Parches de Bosque Mesófilo de Montaña del año 2018.

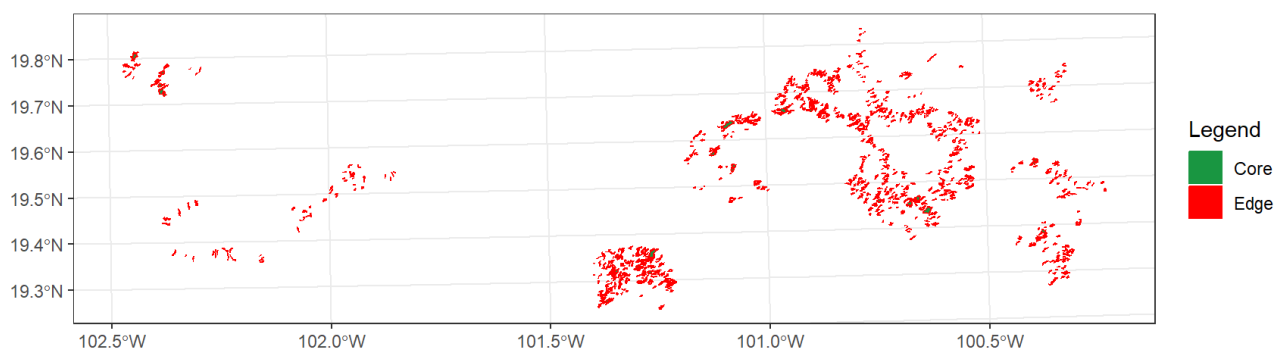


Figura 3. Áreas núcleos y bordes.

En la figura 4, se muestran las métricas de fragmentación, el tamaño promedio de parche es de 26.87 ha, el área núcleo es mínimo en relación con el área de todos los parches.

Metric	Value
Patch area (ha)	20771.4895
Number of patches	773.0000
Size (mean)	26.8713
Patches < minimum patch area	742.0000
Patches < minimum patch area (%)	75.6382
Total edge	2343.2240
Edge density	0.1128
Patch density	0.0235
Total Core Area (ha)	273.7243
Cority	0.0375
Shape Index (mean)	Inf
FRAC (mean)	0.5689
MESH (ha)	0.4754

Figura 4. Métricas de fragmentación de BMM para el año 2018.

Los resultados de la Función MK_dECA(), muestran que desde la fecha 1 (año 1995) se tenía muy poca área considerada hábitat, y que esta tendencia ha ido en aumento, representando la pérdida drástica de hábitat y conectividad.

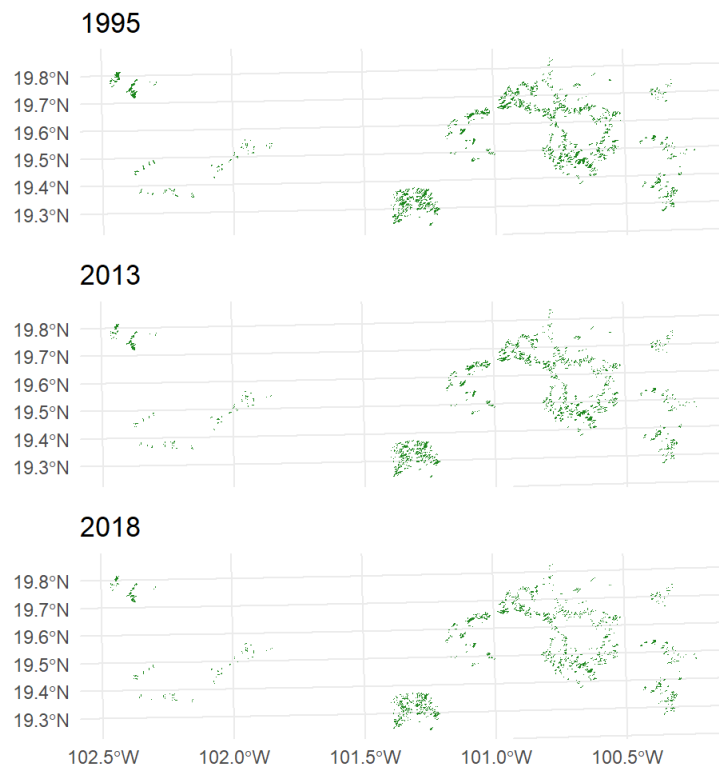


Figura 5. Parches de BMM de los años 1995, 2013 y 2018.

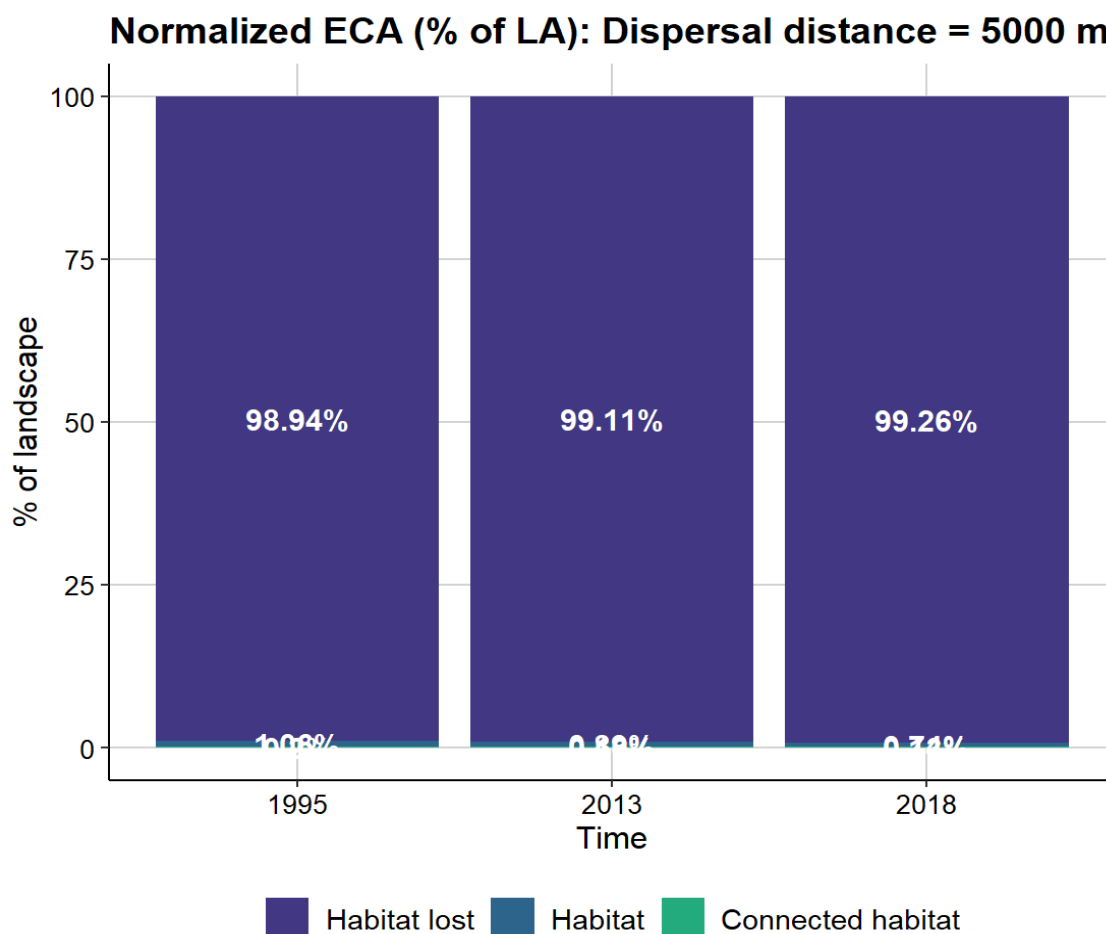


Figura 6. Valores del ECA normalizado.

Con base en el valor de rECA superior a 1, se puede afirmar que los cambios afectaron fuertemente a la conectividad.

Time	Max. Landscape attribute (ha)	Habitat area (ha)	Distance threshold	ECA (ha)	Normalized ECA (% of LA)	Normalized ECA (% of habitat area)	dA	dECA	rECA	dA/dECA comparisons	Type of change
1995	2811444	29809.58	5000	5655.105	0.2011459	18.97076	-98.93971	-99.79885	1.008684	dECA < dA < 0	+ Connectivity loss
2013	2811444	24883.38	5000	4517.198	0.1606718	18.15348	-16.52558	-20.12176	1.217613	dECA < dA < 0	+ Connectivity loss
2018	2811444	20771.49	5000	3572.762	0.1270793	17.20032	-16.52463	-20.90756	1.265236	dECA < dA < 0	+ Connectivity loss

Figura 7. Métricas calculadas con la función MK_dECA(),

4. Discusión:

En el área de estudio, desde el año de 1995 ha presentado pérdida de hábitat, mismo que ha ido en incremento debido principalmente a la agricultura, se puede afirmar que para el 2018 se contaba con menos del 1% del hábitat en el área de estudio, y que desde 1995 a 2018 se perdió 0.32% del hábitat original.

Esto representa una pérdida considerable de la conectividad de los remanentes de bosque mesófilo, lo que en términos ecológicos representa que muchas especies especialistas se quedan aisladas pudiendo llegar a ocasionar su extinción o extirpación.

Además, el patrón observado concuerda con lo señalado por estudios previos (Rzedowski, 1996; Toledo-Aceves et al., 2011), que identifican a la agricultura y al cambio de uso de suelo como las principales amenazas para este ecosistema. La fragmentación no solo disminuye la disponibilidad de hábitat, sino que también genera efectos de borde que alteran las condiciones microclimáticas y reducen la viabilidad de las poblaciones a largo plazo.

En términos de servicios ecosistémicos, la reducción drástica del bosque mesófilo implica una pérdida significativa en la capacidad de regulación hídrica y en la captura de carbono. Es importante señalar que la tendencia de pérdida observada podría intensificarse en los próximos, lo que hace aún más urgente la integración de planes de conservación protección y restauración de los remanentes de bosque mesófilo en el estado de Michoacán.

5. Conclusión

El análisis realizado evidencia que el Bosque Mesófilo de Montaña en la zona norte de Michoacán se encuentra en un estado crítico de fragmentación y pérdida de conectividad. Desde 1995 hasta 2018 se ha registrado una disminución constante de hábitat, alcanzando menos del 1% de cobertura en el área de estudio. Esta tendencia refleja no solo la reducción de la superficie disponible, sino también la creciente vulnerabilidad de las especies que dependen de este ecosistema, las cuales enfrentan un alto riesgo de aislamiento y extinción local.

La fragmentación observada, con parches pequeños y núcleos reducidos, compromete los procesos ecológicos fundamentales, como el flujo genético y la provisión de servicios ecosistémicos. Los resultados confirman la urgencia de implementar estrategias integrales de conservación y restauración que fortalezcan la conectividad del paisaje.

6. Anexos

Scrip para estimar las métricas de fragmentación

```
library(Makurhini)
```

```
library(sf)
```

```
habitat_nodes <- read_sf("C:/SIG/MAku/BMM_GENERAL/BMM_18.shp")
```

```
nrow(habitat_nodes)
```

```
paisaje <- read_sf("C:/SIG/MAku/BMM_GENERAL/Pol_utm.shp")
```

```
install.packages("ggplot2", dependencies = TRUE)
```

```
install.packages("RColorBrewer", dependencies = TRUE)
```

```
library(ggplot2)
```

```
library(RColorBrewer)
```

```

ggplot() +
  geom_sf(data = paisaje, aes(color = "Study area"), fill = NA, color = "black") +
  geom_sf(data = habitat_nodes, aes(color = "Parches"), fill = "forestgreen", linewidth =
0.5) +
  scale_color_manual(name = "", values = "black")+
  theme_minimal() +
  theme(axis.title.x = element_blank(),
        axis.title.y = element_blank())
area_paisaje <- st_area(Paisaje)
area_paisaje <- unit_convert(area_paisaje, "m2", "ha")
Fragmentacion <- MK_Fragmentation(nodes = habitat_nodes,
                                   edge_distance = 300,
                                   min_node_area = 100,
                                   landscape_area = area_paisaje,
                                   area_unit = "ha",
                                   perimeter_unit = "km",
                                   plot = TRUE)

```

Scrip para Función MK_dECA(),

```

library(ggplot2)
library(sf)
library(terra)
library(raster)
library(Makurhini)
library(RColorBrewer)
habitat_nodes <- read_sf("C:/SIG/MAku/BMM_GENERAL/BMM_95.shp")
nrow(habitat_nodes)
paisaje <- read_sf("C:/SIG/MAku/BMM_GENERAL/Pol_utm.shp")
ggplot() +
  geom_sf(data = paisaje, aes(color = "Study area"), fill = NA, color = "black") +

```



```

  geom_sf(data = habitat_nodes, aes(color = "Parches"), fill = "forestgreen", linewidth =
0.5) +
  scale_color_manual(name = "", values = "black")+
  theme_minimal() +
  theme(axis.title.x = element_blank(),
        axis.title.y = element_blank())
#Sustituir ruta de los .shp
T_1995 <- read_sf("C:/SIG/MAku/BMM_GENERAL/BMM_95.shp")
T_2013 <- read_sf("C:/SIG/MAku/BMM_GENERAL/BMM_13.shp")
T_2018 <- read_sf("C:/SIG/MAku/BMM_GENERAL/BMM_18.shp")
#Creamos una lista, puedes cambiar los nombres, etc.
lista_f <- list("1995" = T_1995,
               "2013" = T_2013,
               "2018" = T_2018)

length(lista_f)
names(lista_f)
library(ggplot2)
library(patchwork)

p1 <- ggplot() +
  geom_sf(data = T_1995, fill = "forestgreen", color = NA) +
  ggtitle("1995") +
  theme_minimal() +
  theme(axis.text.x = element_blank(), # Ocultar etiquetas del eje X
        axis.ticks.x = element_blank()) # Ocultar marcas del eje X

p2 <- ggplot() +
  geom_sf(data = T_2013, fill = "forestgreen", color = NA) +
  ggtitle("2013") +

```

```

theme_minimal() +
theme(axis.text.x = element_blank(), # Ocultar etiquetas del eje X
      axis.ticks.x = element_blank()) # Ocultar marcas del eje X

p3 <- ggplot() +
  geom_sf(data = T_2018, fill = "forestgreen", color = NA) +
  ggtitle("2018") +
  theme_minimal()

# Combinar los gráficos en una cuadrícula 1x1 usando patchwork
(p1)/ (p2) / (p3)

area_estudio <- read_sf("C:/SIG/MAku/BMM_GENERAL/Pol_utm.shp")
#Atributo máximo
Max_atributo <- as.numeric(st_area(area_estudio)) * 0.0001 # Hectáreas
Max_atributo

dECA_test <- MK_dECA(nodes= lista_f,
  attribute = NULL,
  area_unit = "ha",
  distance = list(type= "edge", keep = 0.1),
  metric = "PC",
  probability = 0.05,
  distance_thresholds = 5000,
  LA = Max_atributo,
  plot= c("1995", "2013", "2018"),
  intern = FALSE)#Puedes cambiar a TRUE para ver el avance

class(dECA_test)
names(dECA_test)
dECA_test$dECA_table

```

Referencias

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2010). El bosque mesófilo de montaña en México: Amenazas y oportunidades para su conservación y manejo sostenible. México: CONABIO.
- Rzedowski, J. (1996). Análisis de la distribución geográfica del bosque mesófilo de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana*, (35), 3–21. <https://doi.org/10.21829/abm35.1996.1000>
- Toledo-Aceves, T., Meave, J. A., González-Espinosa, M., & Ramírez-Marcial, N. (2011). Tropical montane cloud forests: Current threats and opportunities for their conservation and sustainable management in Mexico. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 974–981. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.007>
- Villaseñor, J. L., & Ortiz, E. (2014). Biodiversity of the montane cloud forest in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 130–142. <https://doi.org/10.7550/rmb.37658>
- Toledo-Aceves, T., Meave, J. A., González-Espinosa, M., & Ramírez-Marcial, N. (2011). Tropical montane cloud forests: Current threats and opportunities for their conservation and sustainable management in Mexico. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 974–981. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.007>