



# **ESTRUCTURA DEL PAISAJE Y SU RELACIÓN CON EL HÁBITAT DE *Danaus plexippus* EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA MARIPOSA MONARCA (MÉXICO)**

**Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas**

**Presentado por:**

**D<sup>a</sup> FRIDA REBECA CASTILLO INFANTE**

**Director:**

**Dr. VALENTÍN GÓMEZ SANZ**

**Tutor académico:**

**Dra. MA. DOLORES JIMÉNEZ ESCOBAR**

**EN MADRID A 26 DE ENERO DEL 2021**

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	4
<b>ABSTRACT</b> .....	5
<b>PALABRAS CLAVE</b> .....	5
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	6
1.1 Características de la especie <i>Danaus plexippus</i> .....	6
1.2 Proceso migratorio .....	7
1.3 Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca .....	9
1.4 Ecología del paisaje.....	10
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	11
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	12
3.1 Objetivo general .....	12
3.2 Objetivos particulares.....	12
<b>4. METODOLOGÍA</b> .....	12
4.1 Área de estudio.....	12
4.2 Identificación de los requerimientos y preferencias de hábitat de la especie .....	13
4.3 Análisis del paisaje.....	14
<b>5. RESULTADOS</b> .....	15
5.1 Requerimientos de hábitat de <i>Danaus plexippus</i> .....	15
5.1.1 Requerimientos de hábitat de la especie con base en la literatura .....	15
5.1.2 Requerimientos de hábitat de la especie con base en la información espacial .....	16
5.2 Preferencia del hábitat dentro de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca .....	17
5.3 Análisis de la estructura del paisaje. ....	19
5.3.1 Análisis a escala de clase teselar.....	19
5.3.2 Análisis a escala del paisaje.....	25
<b>6. DISCUSIÓN</b> .....	28
6.1 Heterogeneidad .....	28
6.2 Fragmentación.....	29
6.3. Conectividad .....	31
<b>7. CONCLUSIONES</b> .....	32
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	34
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	34
<b>ANEXOS</b> .....	37

## FIGURAS

Figura 1. Migraciones de otoño de la Mariposa Monarca.....	7
Figura 2. Migraciones primaverales de la mariposa monarca.....	8
Figura 3. Polígonos de la REBMM y la RBMM .....	10
Figura 4. Ubicación del área de estudio .....	13
Figura 5. Distribución de los registros de <i>D. plexippus</i> a través del tiempo .....	16
Figura 6. Preferencias de uso de suelo y vegetación de <i>D. plexippus</i> de acuerdo a registros. ....	17
Figura 7. Preferencia de hábitat en la RBMM .....	19
Figura 8. Número de teselas (NP) y densidad (PD) en la RBMM. ....	19
Figura 9. Área, perímetro y MNN para la RBMM. ....	20
Figura 10. Área, perímetro y distancia media al vecino más cercano (MNN) para la RBMM. ....	20
Figura 11. Índices para las clases teselares de la RBMM .....	21
Figura 12. Preferencia de hábitat en la zona buffer .....	22
Figura 13. Número de teselas (NP) y densidad (PD) en la zona buffer. ....	22
Figura 14. Área, perímetro y distancia media al vecino más cercano (MNN) para la zona buffer....	23
Figura 15. Índices para las clases teselares de la zona buffer. ....	24
Figura 16. Registros de <i>D. plexippus</i> y uso del suelo en la RBMM para el año 1979. ....	37
Figura 17. Registros de <i>D. plexippus</i> y uso del suelo en la RBMM para el año 2009. ....	37
Figura 18. Registros de <i>D. plexippus</i> y uso del suelo en la RBMM para el año 2013. ....	38
Figura 19. Registros de <i>D. plexippus</i> y uso del suelo en la RBMM para el año 2016. ....	38
Figura 20. Registros de <i>D. plexippus</i> y uso del suelo en la RBMM para el año 2017. ....	39

## TABLAS

Tabla 1. Tenencia de la tierra de la RBMM por estados.....	10
Tabla 2. Preferencia de hábitat de las teselas de uso de suelo y vegetación de la RBMM. ....	18
Tabla 3. Índices de composición y configuración del paisaje para la RBMM. ....	25
Tabla 4. Matriz de contagio y valores de contraste para la RBMM. ....	26
Tabla 5. Índices de composición y configuración del paisaje para la zona buffer. ....	27
Tabla 6. Matriz de contagio y valores de contraste para la zona buffer .....	28

## RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un análisis de la estructura del paisaje de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM) y su zona buffer perimetral en relación con el hábitat de la mariposa monarca (*Danaus plexippus*). Una especie migratoria que comienza su migración en otoño cuando migran del sur de Canadá y el norte de Estados Unidos hacia México y termina a mediados de marzo cuando comienza su periodo reproductivo y migración hacia el norte. Esta especie tiene relevancia desde el punto de vista ecológico y social y presenta una serie de amenazas ambientales en el territorio. Por lo tanto, es necesario realizar una valoración ecológica a escala paisaje que permita conocer las características actuales de la RBMM en cuanto a sus condiciones para acoger las poblaciones migrantes de mariposa monarca y, a partir de ello, evaluar la posibilidad de implementar medidas de gestión ambiental. La valoración del espacio fue llevada a cabo desde la ecología del paisaje y sus índices para medir los patrones espaciales y los procesos ecológicos asociados a ellos. Se realizó un análisis de las preferencias de hábitat de la especie y se aplicaron los índices de composición y configuración para dos ámbitos territoriales (reserva y zona de influencia perimetral o zona buffer). Los resultados identificaron seis diferentes tipos de preferencias de hábitats y los índices del paisaje mostraron que el patrón del paisaje de la RBMM tiene al bosque de pino-encino y al bosque de encino-pino como componentes esenciales, mientras que en el paisaje de la zona buffer es el pastizal-agrícola el que tiene una presencia matricial. La RBMM se encuentra menos fragmentada en comparación con la zona buffer, sin embargo, la zona buffer presenta mayor conectividad estructural del paisaje. La RBMM cuenta con teselas más grandes y complejas que favorecen a la especie. De forma general, el patrón del paisaje de la RBMM se encuentra en buen estado ecológico desde la perspectiva del paisaje, sin embargo, se requieren esfuerzos para aumentar su conectividad estructural y mejorar el estado de conservación de algunas de sus clases de preferencia de hábitat para la mariposa monarca. Además, en la zona buffer surge la necesidad de implementar medidas que reduzcan la fragmentación y el cambio de uso del suelo.

## **ABSTRACT**

In this study, the landscape structure of the Monarch Butterfly Biosphere Reserve (RBMM) and its buffer zone in relation to the habitat of the monarch butterfly (*Danaus plexippus*) was analyzed. This specie is migratory and begins its migration in the fall when they migrate from southern Canada and the northern United States to Mexico and ends in mid-March when it begins its reproductive and northward migration. This species is relevant from the ecological and social point of view and presents a series of environmental threats in the territory. Therefore, it is necessary to carry out an ecological assessment at a landscape scale that allows knowing the current characteristics of the RBMM in terms of its conditions to host migrant populations of monarch butterfly and, based on this, evaluate the possibility of implementing management measures. The valuation of the space was carried out from the landscape ecology and its indexes to measure the spatial patterns and the ecological processes associated with them. An analysis of the habitat preferences of the species was generated and the composition and configuration indices were applied for the two territorial areas (reserve and buffer). The results identified six different types of habitat preferences and the landscape indices demonstrated that the RBMM landscape is type C (pine-oak forest and oak-pine forest) and the landscape of the buffer zone is type E (pasture-agricultural). The RBMM is less fragmented compared to the buffer zone, however, the buffer zone presents greater landscape connectivity. The RBMM has larger and more complex tiles that favor the species. In general, the RBMM is in good ecological condition based on a landscape perspective, however, efforts are required to increase its connectivity and to improve the conservation status of some of its habitats. Furthermore, in the buffer zone there is a need to implement measures that reduce fragmentation and land use change.

**PALABRAS CLAVE** (preferencia de hábitat, fragmentación, conectividad, ecología del paisaje, índices de estructura del paisaje)

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Características de la especie *Danaus plexippus*

La mariposa monarca (*Danaus plexippus*) pertenece a la familia Nymphalidae del orden Lepidoptera, esta especie es una de las 157 mariposas pertenecientes al grupo de las “milkweed butterflies”, nombradas de esta manera debido a que las larvas se alimentan únicamente de plantas de la familia Asclepiadaceae, conocida como “milkweed” en Estados Unidos y como “algodoncillo” en México. La mayoría de las especies del genero *Danaus* se encuentran en África y Asia, siendo cuatro especies las que viven en Norteamérica y únicamente las Monarcas son migratorias (Arellano, 1998).

Esta especie es potencialmente longeva ya que pueden tener un periodo de vida de dos a cuatro meses en ambientes naturales (Urquhart, 1960). La primera etapa de su ciclo de vida comienza en primavera y verano cuando los huevos de aproximadamente 1,2 x 0,9 mm de tamaño son depositados individualmente en la parte inferior de una hoja joven de la planta de algodoncillo (Upadhyaya & Poudel, 2020) particularmente en las especies de la familia Asclepiadaceae: *Asclepias amplexicaulis*; *A. cordifolia*; *A. curassavica*; *A. nivea*; *A. purpurascens*; *A. verticillata*; *A. fascicularis*; *A. sriocapra*; *A. humistrata*; *A. curtisii*; *A. californica*; *A. exaltata*; *A. subulata*; *A. erosa*; *A. asperula*; *A. physocarpa*; entre otras (Arellano, 1998)

Las hembras pueden depositar de 400 a 500 huevos 5 a 7 días después de ser fecundadas (Urquhart, 1960) y los huevos tardan entre tres a ocho días en desarrollarse hasta eclosionar en larvas u orugas (Upadhyaya & Poudel, 2020). La segunda es la etapa larvaria que dura entre diez a catorce días donde se alimentan y obtienen nutrientes de la planta huésped. Durante este periodo están en constante crecimiento y muda de piel que corresponde a distintos estadios que hacen que las larvas cambien de color. Posteriormente las larvas pasan a ser pupas donde la oruga cuelga boca abajo y forma un capullo de seda con su piel vieja, esta etapa dura de 10 a 14 días para pasar a la fase adulta donde presentan una coloración negro, naranja y blanco (Upadhyaya & Poudel, 2020).



(Inaturalist, 2020)



(Heupel, 2000)



(IIEH, 2013)

Los adultos presentan diferencias entre individuos de distinto sexo, los machos presentan mayor peso que las hembras probablemente por los músculos torácicos más grandes. Las hembras presentan más lípidos y más cardenólidos en términos de concentración (Brower & Calvert, 1985). El contenido de lípido de las hembras puede aumentar hacia el final del periodo de hibernación cuando comienza el periodo reproductivo. Se considera que las monarcas que vuelan largas distancia de regreso hacia Estados Unidos y Canadá son aquellas que conservaron mayor cantidad de lípidos durante el invierno (Brower & Calvert, 1985). La temperatura cálida y el vuelo en las actividades diarias incrementan el uso de las reservas de grasa en los individuos, no obstante, las características de inclinación suroeste de las montañas en donde generalmente se establecen las colonias, satisfacen los requerimientos de la especie para conservar su energía (Brower & Calvert, 1985)

## 1.2 Proceso migratorio

*Danaus plexippus* es la mariposa cuya distancia migratoria es la más larga del mundo ya que la mayoría de los adultos que se encuentran en el este de Estados Unidos y Sur Canadá pasan el invierno en el eje neovolcánico del centro de México (Arellano, 1988). Existen dos poblaciones migratorias de la monarca en Norteamérica (Figura 1), la población occidental se reproduce al oeste de las Montañas Rocallosas durante la primavera y el verano y migran hacia las costas de California desde el norte de San Francisco hasta el sur de los Ángeles para hibernar (Brower, 1995). La segunda población es mucho más grande y se encuentra al este donde se reproducen en las Montañas Rocallosas y migran hacia el sur en el centro de México (Brower, 1995)

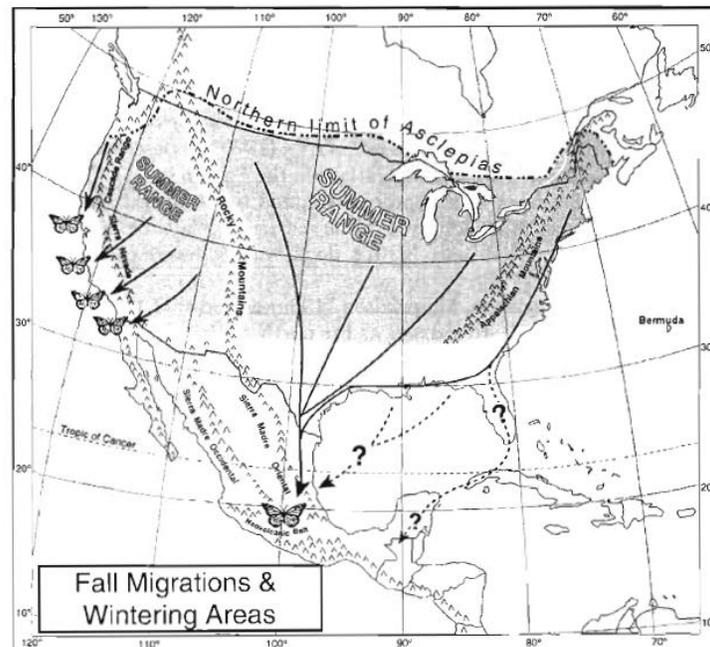


Figura 1. Migraciones de otoño de la Mariposa Monarca (Brower, 1995)

Siguiendo las corrientes de aire, las mariposas viajan aproximadamente 73 kilómetros al día aunque son capaces de recorrer más distancia. Viajan a través de Texas y cuando encuentran la Sierra Madre Oriental, cambian el curso para dirigirse hacia el Eje Neovolcánico al Noreste de Michoacán para hibernar (Brower, 1985). El proceso migratorio comienza a finales de otoño cuando las mariposas migran del sur de Canadá y el norte de Estados Unidos hacia México. Una vez en México, en noviembre se observa poca actividad donde comienzan su periodo de hibernación agrupándose en las ramas de los oyameles, formando racimos que hacen que se cuelguen de los árboles. Las colonias ocupan una zona diferente a lo largo de la temporada de hibernación, los individuos llegan a las partes altas en noviembre y descienden a medida que pasa el tiempo y el clima se torna más cálido (López, 2013). A finales de enero o principios de febrero se inicia una gran actividad y hacia finales de febrero principios de marzo las colonias tienden a desplazarse hacia cañadas o lugares cerca de arroyos donde las condiciones son más húmedas (López, 2013). A mediados de marzo cuando la temperatura en México aumenta, comienza el periodo reproductivo y su migración hacia el norte de Estados Unidos y sur de Canadá (Figura 2) donde encuentran condiciones menos cálidas para depositar sus huevecillos (López, 2013; Arellano 1998; Brower, 1995).

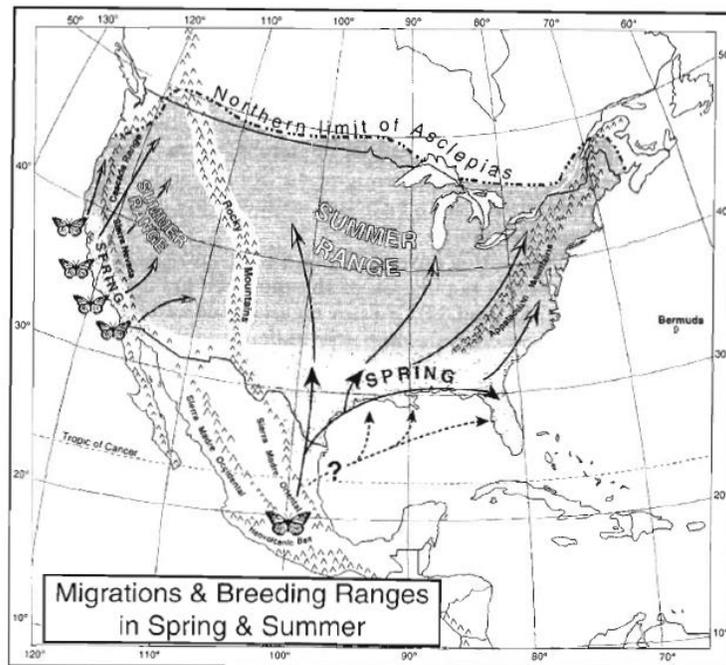


Figura 2. Migraciones primaverales de la mariposa monarca (Brower, 1995)

Además de las poblaciones que migran cada año, también existen algunas poblaciones que aparentemente no migran, las cuales son llamadas poblaciones residentes debido principalmente a la presencia de plantas hospederas para las larvas (Urquhart, 1977). Se pueden encontrar colonias que

pasan el invierno en la costa de California cerca de San Francisco (Arellano,1988). De igual manera, se han identificado en el Este y Sur de las áreas de hibernación en México, en el Caribe, Islas del pacífico y algunas partes de Australia (Urquhart, 1960)

### **1.3 Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca**

En 1976 el Dr. Freud Urquhart de la Universidad de Toronto dio a conocer el fenómeno de migración de la mariposa monarca hacia México gracias a su trabajo de marcaje y recaptura de las mariposas (Arellano, 1998). Sin embargo, fue hasta el 25 de mayo de 1980 que se emite el primer decreto de protección en todo el territorio nacional. Se establece por causa de utilidad pública, como zona de reserva y refugio de fauna silvestre, a los lugares donde la Monarca hiberna y se reproduce (Diario Oficial de la Federación, 1980). A medida que se obtuvo mayor información sobre la biología de la especie y el proceso migratorio, se delimitaron cinco zonas de protección. En 1986 se decreta la Reserva Especial de la Biósfera Mariposa Monarca (REBMM) con 16 110 ha de extensión. Este decreto delimitó cinco áreas de conservación (santuarios) donde se encuentran las colonias de hibernación. Cada santuario contaba con una zona núcleo donde no era permitida la explotación forestal y una zona de amortiguamiento donde era permitido el aprovechamiento (Diario Oficial de la Federación, 1986).

No obstante, poco tiempo después, estas zonas de protección fueron modificadas debido a que originalmente eran de forma rectangular debido a acuerdos políticos y no correspondían a ningún atributo ecogeográfico (López, 2013). Se identificó la necesidad de establecer una zona de mayor amplitud y continuidad que permitiera proteger el hábitat de la especie, sobre todo debido a que las mariposas no se restringían a una zona en particular, si no que cambian su colonia de hibernación año con año (López, 2013). El 10 de noviembre del 2000 se amplía la superficie de protección y se establece como Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca (RBMM) aumentando la superficie de 16 100 ha a 56 259, de las cuales 42 678 corresponden a dos zonas de amortiguamiento y 13 581 a tres zonas núcleo (Diario Oficial de la Federación, 2000) (Figura 3). En cuanto a la tenencia de la tierra, la RBMM para el 2000 estaba compuesta por 107 predios de los cuales 89 se encuentran en el estado de Michoacán y 58 en el Estado de México, repartidos en 53 ejidos, 13 comunidades indígenas, 18 pequeñas propiedades, una propiedad federal, una propiedad estatal y tres predios en litigio (Tabla 1) (López, 2013).

Tabla 1. Tenencia de la tierra de la RBMM por estados (López, 2013)

Tenencia	Michoacán	Estado México	Total
<b>Ejidos</b>	19 417.36	13 299.45	32 716.81
<b>Comunidades indígenas</b>	13 745.32	2 968.04	16 713.35
<b>Pequeña Propiedad</b>	2 038.32	3 824.82	5 863.14
<b>Propiedad Federal</b>	599.42	0.00	599.42
<b>Propiedad Estatal</b>	113.79	0.00	113.79
<b>Litigio</b>	0.00	252.54	252.54
<b>Total</b>	35 914.21	20 344.84	56 259.05

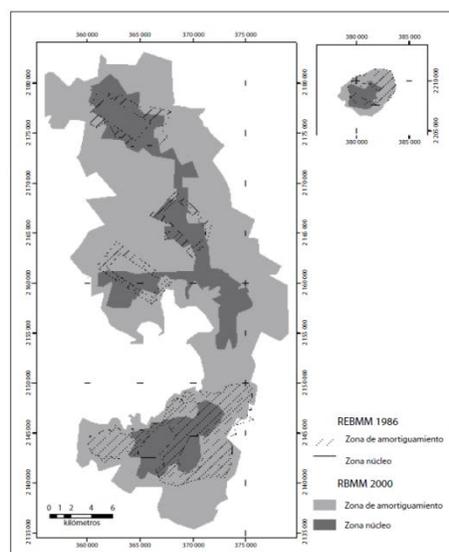


Figura 3. Polígonos de la REBMM y la RBMM (López, 2003)

#### 1.4 Ecología del paisaje

El presente trabajo será llevado a cabo a través de la perspectiva de ecología del paisaje, entendiendo por paisaje a la porción del territorio con características heterogéneas compuesta por teselas de distintos hábitats que interactúan entre sí. Este concepto ha sido utilizado para estudiar las relaciones entre los distintos hábitats, tratando de explicar los patrones espaciales del paisaje y los procesos ecológicos asociados a ellos (Troll, 2003). Este enfoque es de gran importancia para combatir las consecuencias de la degradación del paisaje que ocasionan la falta de integridad ecológica y la disminución de la conectividad entre los ecosistemas. De modo que los principales procesos que afectan los patrones del paisaje son la perforación, división, fragmentación, reducción y desaparición de los componentes del paisaje (Forman, 1995). Estos cambios generan efectos ecológicos negativos como pérdida de diversidad biológica asociada a la destrucción y modificación del hábitat (fragmentación) y alteraciones en su funcionalidad ecosistémica (conectividad). Así mismo, pueden verse incrementados los efectos de borde, aumento en las tasas de extinción de las especies, disminución de especies especialistas y aumento de aquellas exóticas o generalistas (McIntyre & Hobbs, 1999). Por lo tanto, resulta de gran importancia aplicar los conceptos de ecología del paisaje para entender los flujos de los ecosistemas, la forma en la que los seres vivos se desplazan a través del paisaje y cómo se ven condicionados por su estructura. Para esto, el uso de las herramientas del SIG y el procesamiento de imágenes permiten identificar los cambios ocurridos en terminada área y las interacciones entre el medio físico y los procesos ecológicos (Medley et al., 1995).

## 2. JUSTIFICACIÓN

La mariposa monarca es una especie importante en distintos ámbitos, desde el punto de vista ecológico es un gran polinizador, así como un potencial bioindicador debido a su sensibilidad a los cambios en el ambiente como la temperatura, humedad, luz, entre otros. De igual manera, es un recurso de alimento para ciertas especies de roedores y aves. Además, a través de su migración mueven el polen de las plantas promoviendo la diversidad genética (Semarnat & Conanp, 2018). Gracias a esta especie y a su ciclo migratorio se creó la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca la cual se encuentra catalogada como Patrimonio de la Humanidad por la Unesco.

En cuanto a su importancia cultural, en México el proceso migratorio de la especie es considerado como un gran espectáculo de la naturaleza el cual atrae a cientos de turistas cada año. En este sentido, la Reserva de la Biosfera y sus santuarios representan sitios ecoturísticos que sirven como fuente de ingresos para las comunidades presentes en la región. De las cuales en su mayoría son ejidos y comunidades indígenas consideradas fuertemente dependientes de sus recursos naturales al desarrollar actividades agrícolas, ganaderas y oficios tradicionales como la elaboración de artesanía y la recolección de flores y frutos (Carranza, 1999).

Sin embargo, la RBMM presenta ciertos riesgos ambientales como los asentamientos humanos que pueden invadir y afectar los santuarios, la explotación forestal clandestina, los incendios forestales, las plagas forestales, la erosión generada por el desmonte, cacería no autorizada, actividad turística inadecuada, el cambio de uso del suelo, entre otros (Carranza, 1999). Por lo tanto, en vista de la importancia ecológica y social de la RBMM, así como las amenazas que presenta, surge la necesidad de desarrollar un análisis de la estructura del paisaje en la RBMM y en las condiciones del hábitat del exterior. De esta manera, identificar las relaciones entre la especie, los distintos hábitats y los procesos ecológicos asociados a ellos. Así, podrá determinarse la eficacia en el diseño de la RBMM o bien plantear nuevas medidas de gestión que permitan la conservación de la especie desde un enfoque más holístico dentro y fuera del área protegida.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general**

Analizar la estructura del paisaje y su relación con las preferencias de hábitat observadas de *Danaus plexippus* en la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca y en la zona de influencia que la rodea (zona buffer).

#### **3.2 Objetivos particulares**

- Identificar las preferencias de hábitat de *D. plexippus* con base en la literatura y en los registros de presencia de la especie.
- Elaborar un teselado del área de estudio (reserva y zona buffer perimetral) y asignar a cada tesela un tipo de preferencia de hábitat para la mariposa monarca (clase teselar)
- Generar estadísticos descriptivos a escala de clase teselar y a nivel paisaje para los dos ámbitos territoriales (RBMM y buffer).
- Realizar una comparativa paisajística entre los dos ámbitos territoriales
- Identificar el estado general de la RBMM y sus necesidades de gestión ambiental
- Evaluar el grado de adecuación de las condiciones del patrón del paisaje para la presencia de *D. plexippus*.

### **4. METODOLOGÍA**

#### **4.1 Área de estudio**

La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM) está ubicada dentro de dos estados de la República Mexicana, los cuales corresponden al estado de Michoacán y al Estado de México. Se localiza al oriente del estado de Michoacán en los límites con el poniente del estado de México; abarca los municipios de Temascalcingo, San Felipe del Progreso, Donato Guerra y Villa de Allende en el estado de México, y Contepec, Senguío, Angangueo, Ocampo, Zitácuaro, y Aporo en el estado de Michoacán. Sus coordenadas geográficas son -100,231161 de longitud y 19,625983 latitud (Figura 4). Esta reserva cuenta con aproximadamente 56 259 ha de extensión, de las cuales 42 678 pertenecen a las dos zonas de amortiguamiento y 13 581 ha en tres zonas núcleo. (López, 2013). El clima de la región es templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw) de acuerdo a la clasificación climática de Köppen-Geiger. Presenta temperaturas medias anuales de 8° a 22° C, precipitaciones promedio desde 700 mm. hasta 1 250 mm. y temperaturas mínimas para el mes más frío de entre -3° y 18° C. El ecosistema se encuentra caracterizado por oyamel, oyamel-pino, pino, pino-encino, encino, cedro y mesofilo de Montaña.

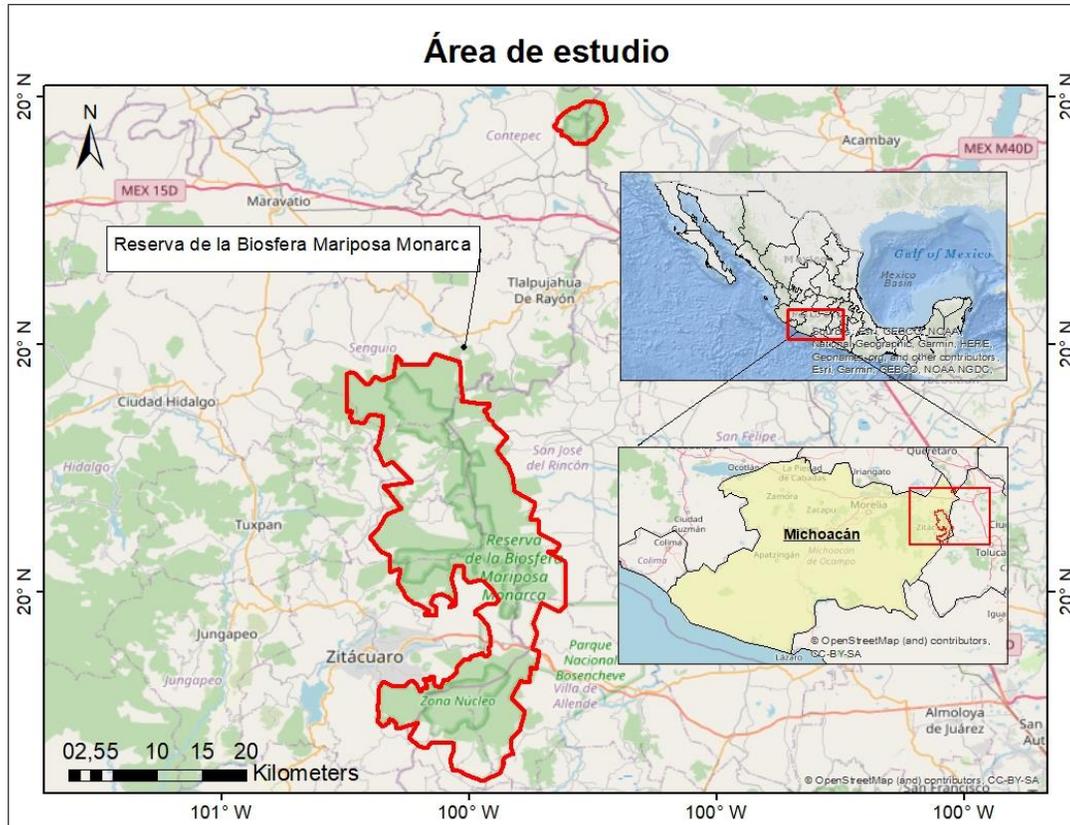


Figura 4. Ubicación del área de estudio (Elaboración propia)

#### 4.2 Identificación de los requerimientos y preferencias de hábitat de la especie

Para asignar los valores de preferencia de hábitat sobre las distintas teselas del conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación, se realizaron dos procedimientos: **1)** revisión bibliográfica sobre los requerimientos de hábitat de la especie donde se utilizaron buscadores como la biblioteca digital de la Universidad Nacional Autónoma de México, Google académico, Scopus, entre otros; y **2)** Uso de Sistemas de Información Geográfica (ArcMap 10.7.1) para identificar la preferencia de hábitat de acuerdo a registros de ocurrencia de la especie.

Para llevar a cabo esto último, se descargaron registros de ocurrencia georreferenciados (latitud, longitud) del portal de datos sobre biodiversidad “Global Biodiversity Information Facility (GBIF)” y se identificaron aquellos encontrados dentro del área de estudio. Se obtuvo información espacial sobre las características del ambiente relacionadas con el uso de suelo y vegetación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). De modo que, a través de ArcMap 10.7.1 se unieron los atributos de entidades por su ubicación espacial para extraer los valores de estas características ambientales asociados a cada uno de los registros de presencia de la especie. Sin embargo, debido a que los registros de *D. plexippus*

tienen una temporalidad heterogénea desde 1979 al 2020 y en el área de estudio ha ocurrido un importante cambio de uso del suelo dentro de este periodo (López, 2013), se descargaron distintos “shapefiles” del uso del suelo y vegetación con diferentes temporalidades para lograr hacer un análisis más acertado sobre las preferencias de la especie.

### **4.3 Análisis del paisaje**

Primeramente, se diferenciaron las dos zonas de análisis correspondientes a la RBMM y el área perimetral de influencia. Para la RBMM se utilizó el “shapefile” sobre las Áreas Naturales Protegidas Federales de México descargado del geoportal de la Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO). Para determinar el área perimetral de influencia (zona buffer), se creó un “buffer” de 3 km alrededor del polígono de la reserva. De esta manera, el área contenida en la RBMM y el buffer fue la más próxima posible para asegurar una buena comparativa. Posteriormente, se procedió a realizar dos tipos de análisis de acuerdo a diferentes escalas: clase teselar (preferencia de hábitat) y paisaje.

A nivel de clase teselar, se calcularon mediante Arcmap el área, perímetro, distancia al vecino más próximo (MNN) y contagio para cada una de las teselas. Posteriormente se realizaron diagramas de cajas y bigotes sobre estas cuatro variables en los dos ámbitos territoriales (reserva y buffer) para hacer una comparativa e identificar la media, máximos y mínimos de cada una de ellas. Además, se obtuvieron los índices de número de teselas (NP), densidad (PD), tamaño teselar medio (MPS), índice de la mayor tesela (LPI), longitud de bordes teselares (TE), densidad de bordes teselares (ED), índice medio de forma (MSI) e índice de forma del paisaje (LSI - cuadrado). Por último, a escala de paisaje, se identificaron las siguientes métricas de estructura del patrón del paisaje a partir de la aplicación Patch Analyst de ArcMap: **1**) Heterogeneidad: riqueza teselar (M), abundancia relativa de cada tesela (CA), índice de diversidad de Shannon (SDI); **2**) Subdivisión: número de teselas a nivel paisaje, tamaño teselar medio (MPS); **3**) Complejidad de formas teselares: densidad de bordes teselares (ED), índice de forma medio (MSI); **4**) Dispersión: Distancia media al vecino más próximo por clase (MIP) y **5**) Entremezcla: índice de entremezcla (IJI).

## **5. RESULTADOS**

### **5.1 Requerimientos de hábitat de *Danaus plexippus*.**

#### **5.1.1 Requerimientos de hábitat de la especie con base en la literatura**

Se logró identificar que las condiciones ambientales del bosque de oyamel propician la llegada de la Mariposa Monarca debido a su orientación geográfica, altitud, estado de conservación y otra serie de atributos idóneos para la especie. En cuanto a la parte litológica se encuentran en rocas andesíticas, traquitas y traquiandesitas pseudoestratificadas, en afloramientos o escarpes cercanos a las zonas de hibernación. Estas rocas poseen importantes contenidos de ferromagnesios que podrían servir como un imán para atraer a las mariposas cada año, se tiene identificado que esta especie de mariposa contiene magnetita en la cabeza y abdomen lo cual puede explicar que lleguen a este sitio por atracción magnética (López, 2013). En cuanto al clima, las condiciones de temperaturas bajas en el norte del continente americano hacen que migren hacia el sur a finales del otoño y a principios de primavera debido a que las condiciones en México son más cálidas, las mariposas migran nuevamente hacia el norte de Estados Unidos y el Sur de Canadá rompiendo la diapausa y entrando en estado reproductivo (López, 2013).

Las condiciones de humedad son parecidas a un bosque mesófilo, ubicado en laderas con depósitos de material piroclástico como ceniza volcánica y material pumítico que son capaces de retener grandes cantidades de agua (más de 400% su peso) (López, 2013). Estas características crean condiciones microclimáticas especiales que corresponden a los sitios de hibernación de las mariposas. La vegetación tiene un papel muy importante ya que los bosques de oyamel cuentan con hojas aciculares que permiten a las mariposas adherirse a ellas en un rango altitudinal de 2900 a 3200 msnm. Las mariposas tienen preferencia por los bosques con coberturas semicerradas con áreas de claros que permitan la entrada de luz solar para que la especie pueda entrar en actividad en algunas horas del día. Este tipo de cobertura vegetal crea condiciones de temperatura y humedad que son poco afectadas por las corrientes de aire, estableciendo estabilidad y creando hábitats apropiados para la hibernación (López, 2013). Además, los santuarios presentan musgo que sirve como indicador de sistemas bien conservados, donde las variaciones del día y la noche no deberían ser muy marcadas, creando ambientes adecuados para las mariposas. De modo que los santuarios representan áreas con idoneidad ambiental para la especie debido al conjunto de elementos ambientales y su interacción que posibilitan la llegada de la Mariposa Monarca cada año (López, 2013).

Uno de los factores de mortalidad de las mariposas son las condiciones físicas como las bajas temperaturas, la lluvia, la nieve y el granizo. Las tormentas causan fuertes efectos sobre la vegetación y en consecuencia a las mariposas que se encuentran en ella. Así mismo, los individuos que se

encuentran en las ramas más expuestas pueden llegar a congelarse y morir (Arellano, 1988). La tolerancia a la congelación puede llegar debajo de los 10°C con un promedio de -7.7 °C cuando las mariposas se encuentran secas, sin embargo, si la superficie corporal esta mojada, la temperatura promedio aproximada a la que mueren es -3.3°C (Arellano, 1988).

### 5.1.2 Requerimientos de hábitat de la especie con base en la información espacial

Se identificaron 575 registros de presencia de *D. plexippus* dentro de la RBMM repartidos homogéneamente entre 1979 al 2020. El 37 % de los datos (216 registros) se documentaron en 1981, seguido del año 1979 con el 21 % (122 registros); 1982 con el 13% (76 registros) y el 2018 con el 10% de los datos (61 registros). Para el resto de los años, los registros se distribuyen en un porcentaje menor al 5% para cada año (Figura 5).



Figura 5. Distribución de los registros de *D. plexippus* a través del tiempo (Elaboración propia)

Como se mencionó anteriormente en el apartado 5.2 de la metodología, se descargaron distintos “shapefiles” correspondientes al uso del suelo y vegetación del área de estudio a través del tiempo. Esto debido a que la RBMM ha sufrido cambios en el uso del suelo en este periodo (López, 2003) y analizar los registros de la especie en un solo año arrojaría información incorrecta. Por lo tanto, se obtuvo el uso del suelo y vegetación correspondiente a los años 1979, 2009, 2013, 2016 y 2017. Posteriormente, se dividieron los registros de presencia en cinco grupos correspondientes a los cinco “shapefiles” y se identificó en que categoría de uso del suelo y vegetación correspondía cada registro. De modo que la información se analizó de la siguiente manera: **1)** para los registros reportados en los años 1979,1980,1981,1982 y 1984 se utilizó la capa del uso del suelo del año 1979; **2)** para los registros entre 2008-2011 se utilizó la capa del 2009; **3)** los datos del 2012-2014 se analizaron con la capa del 2013; **4)** para la información del 2015 y 2016 se utilizó la capa del 2016 y **5)** para los registros

de presencia de *D. plexippus* encontrados entre los años 2017-2020 se utilizó la capa del uso del suelo y vegetación de máxima actualidad correspondiente al 2017. (Ver Anexo I)

De manera general, los registros de la especie se reportaron mayormente en bosque de encino-pino con un 75% de los datos (432 registros); seguido del bosque de oyamel en un 10% (55 registros); agricultura de temporal anual 8% (43 registros); bosque de pino-encino 6% (35 registros); vegetación secundaria arbórea de bosque de oyamel 1% (5 registros) y en menor medida la vegetación secundaria arbustiva de bosque de oyamel y el uso de suelo urbano con dos registros de presencia de la especie en ambas categorías (Figura 6)

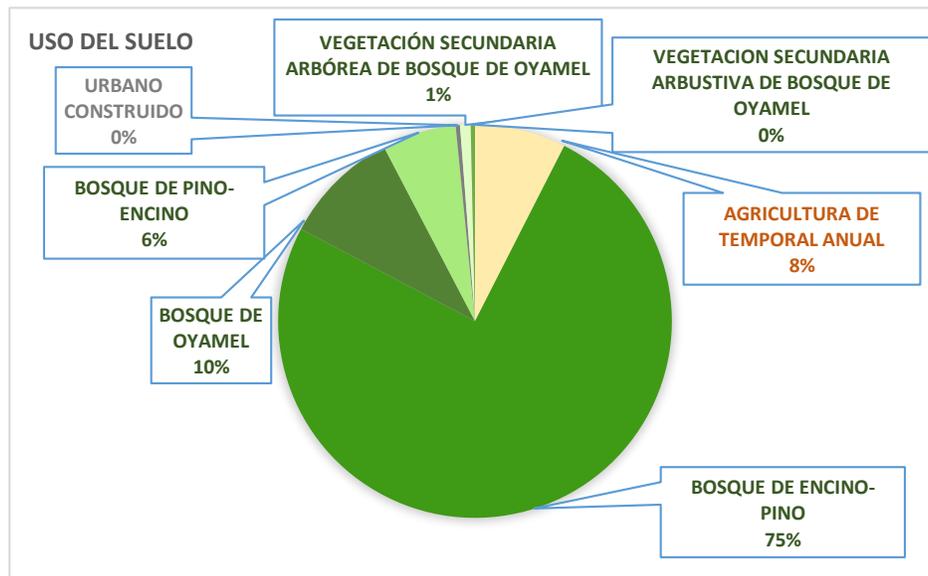


Figura 6. Preferencias de uso de suelo y vegetación de *D. plexippus* de acuerdo a registros.

## 5.2 Preferencia del hábitat dentro de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca

A partir de los resultados anteriores sobre los requerimientos de la especie, se asignaron categorías de preferencia de hábitat a cada una de las teselas encontradas en el Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000, SERIE VI (INEGI, 2017). Primeramente, se le dio prioridad a la información encontrada en la literatura debido a que los registros de presencia de la especie que son accesibles al público pueden presentar sesgos de información y posteriormente se asignaron categorías de acuerdo a la información espacial.

La preferencia del hábitat se categorizó de la “A” a la “F”, donde la “A” representa mayor preferencia de hábitat y la “F” menor preferencia de hábitat. (Tabla 2). Se les dio prioridad a los bosques de coníferas ya que son los que brindan refugio a las mariposas (Alonso, 1993). De tal manera que la clasificación se realizó de la siguiente manera: **A)** Bosque de oyamel ya que se encuentra claramente documentado en la literatura que es donde arriban las mariposas para hibernar; **B)**

vegetación secundaria arbórea de bosque de oyamel, vegetación secundaria arbustiva de bosque de oyamel debido a que estos tipos de vegetación presentan *Abies religiosa*, la especie más importante para la mariposa dentro de la RBMM. **C)** bosque de encino-pino debido a que el 75% de los datos de presencia de la especie (432 registros) se identificaron en estas áreas, vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino, bosque de pino-encino, vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino; **D)** bosque mesófilo de montaña, vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo de montaña; **E)** pastizal inducido, agricultura de riego anual, agricultura de riego anual y permanente, agricultura de temporal anual, agricultura de temporal anual y permanente; **F)** asentamientos humanos y cuerpo de agua.

Tabla 2. Preferencia de hábitat de las teselas de uso de suelo y vegetación de la RBMM.

<b>Teselas</b>	<b>Preferencia de hábitat</b>	<b>Nº registros</b>
Bosque de oyamel	<b>A</b>	<b>55</b>
Vegetación secundaria arbórea de bosque de oyamel	<b>B</b>	<b>7</b>
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de oyamel		
Bosque de encino-pino	<b>C</b>	<b>467</b>
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino		
Bosque de pino-encino		
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino		
Bosque mesófilo de montaña	<b>D</b>	<b>0</b>
Vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo de montaña		
Pastizal inducido	<b>E</b>	<b>43</b>
Agricultura de riego anual		
Agricultura de riego anual y permanente		
Agricultura de temporal anual		
Agricultura de temporal anual y permanente		
Cuerpo de agua	<b>F</b>	<b>2</b>
Asentamientos humanos		

### 5.3 Análisis de la estructura del paisaje.

#### 5.3.1 Análisis a escala de clase teselar

##### 5.3.1.1 Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca

En la RBMM se identificaron 105 teselas de distintas clases teselares (Figura 7). Siendo la clase de preferencia de hábitat **E** la más abundante con 71 teselas, seguido de la clase **B** (11 teselas), **C** (10 teselas), **F** (5 teselas) y las menos abundantes con un total de 4 teselas las clases **A** y **D**. En cuanto a la densidad de las clases teselares, la clase **E** presenta el valor más alto con 0,127 teselas/km<sup>2</sup>, posteriormente la clase teselar **B** con 0,02 teselas/ km<sup>2</sup>, **C** (0,018 teselas/ km<sup>2</sup>), **F** (0,009teselas/ km<sup>2</sup>) y las menos densas con un valor de 0,007 teselas/ km<sup>2</sup> las clases teselares correspondientes a la preferencia de hábitat **A** y **D** (Figura 8).

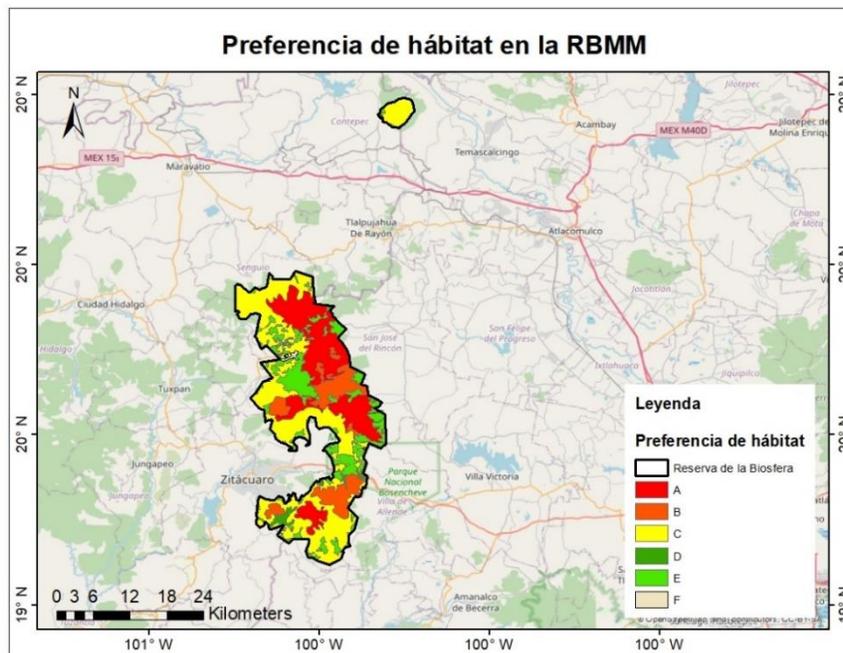


Figura 7. Preferencia de hábitat en la RBMM

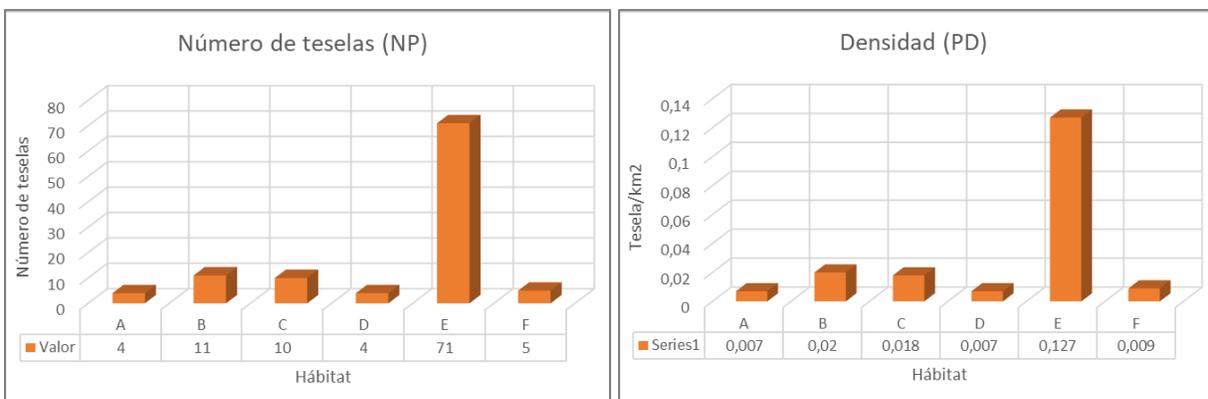


Figura 8. Número de teselas (NP) y densidad (PD) en la RBMM.

Sin embargo, la clase teselar **A** es aquella con mayor superficie debido a que cuenta con un tamaño teselar medio de 3554,5 ha y 55,5 km de media en perímetro. Posteriormente se encuentra la clase **C** con una media de 2363 ha de área y 54,3 km de perímetro, **B** (652,8 ha de área y 14,2 de perímetro), **D** (180 ha de área y 9,5 km de perímetro), **E** (139,9 ha de área y 6,9 km de perímetro) y **F** con 48,8 ha de área y 3,8 km de perímetro. En cuanto a la distancia con el vecino más próximo (MNN) destaca la clase **F** con una media de 12202,7 m seguido de la clase **B** (1774,5 m), A (3895,8 m), C (3006,8 m) **D** (2622m) y **E** con una distancia media al vecino más próximo de 413,4 m (Figura 10).

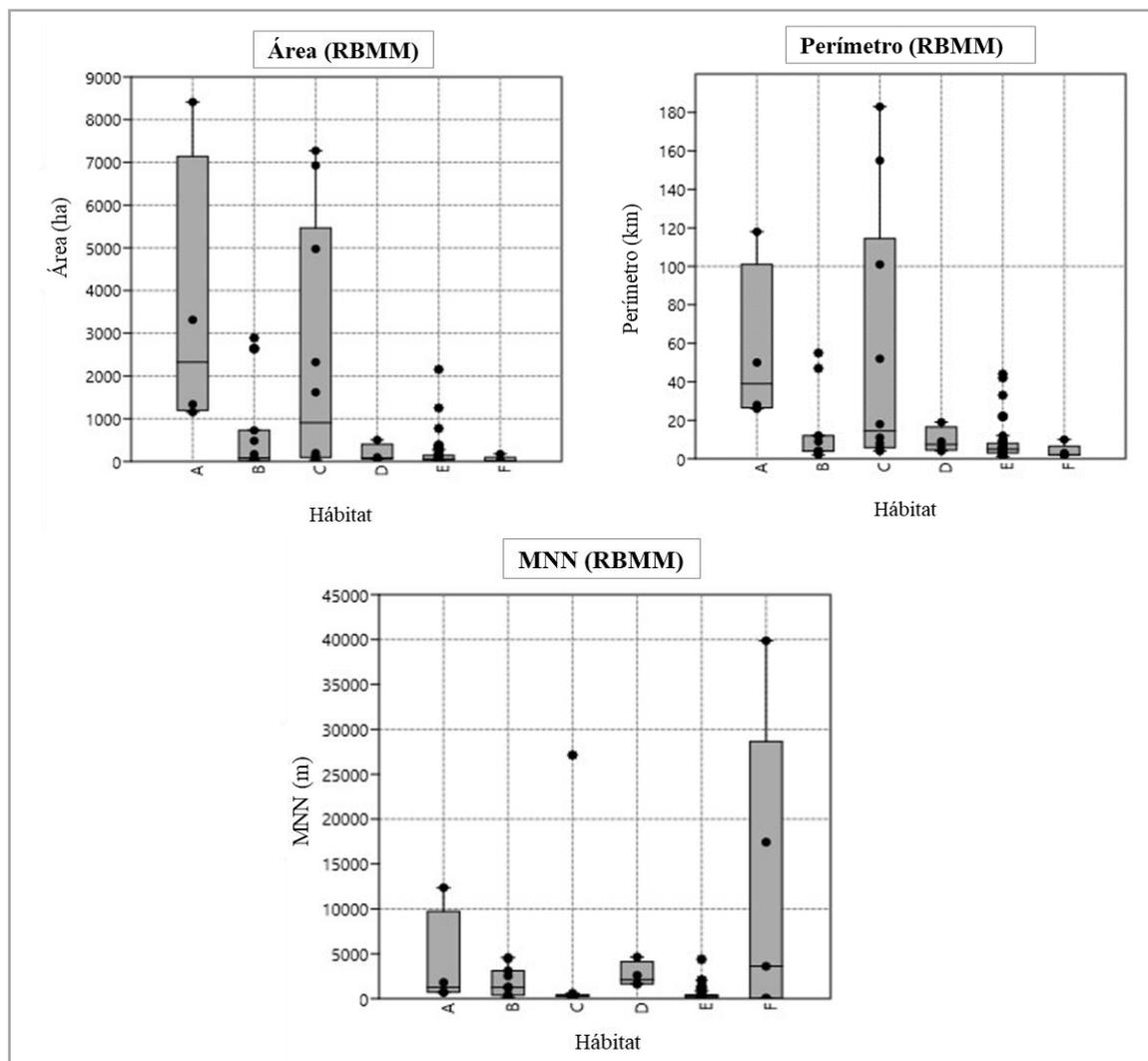


Figura 10. Área, perímetro y distancia media al vecino más cercano (MNN) para la RBMM.

Los índices para las clases teselares muestran a la clase **C** como aquella con mayor longitud de bordes teselares (TE) al contar con 543 km, después se encuentra la clase **E** con 492 km, clase **A** (222 km), **B** (156 km), **D** (38 km) y **F** con 19 km. De igual manera la clase **C** presenta el valor más alto de densidad de bordes teselares (ED) ya que cuenta con 0,971 km/km<sup>2</sup>, posteriormente se encuentra la clase **E** con 0,88 km/km<sup>2</sup>, **A** (0,397 km/km<sup>2</sup>), **B** (0,279 km/km<sup>2</sup>), **D** (0,068 km/km<sup>2</sup>) y **F** con 0,034 km/km<sup>2</sup>. En cuanto al índice de forma medio (MSI) se identificó a la clase **C** con el valor más elevado de 0,263 seguido de la clase **A** con 0,231; **D** (0,19); **E** (0,166); **B** (0,159) y **F** con 0,149. Por último, el índice de forma del paisaje (LSI) nos muestra la clase teselar **C** como la más representativa con 0,574 seguido de la clase teselar **E**, **A**, **B**, **D** y **F** con valores de 0,52; 0,235; 0,165; 0,04 y 0,02 respectivamente (Figura 11).

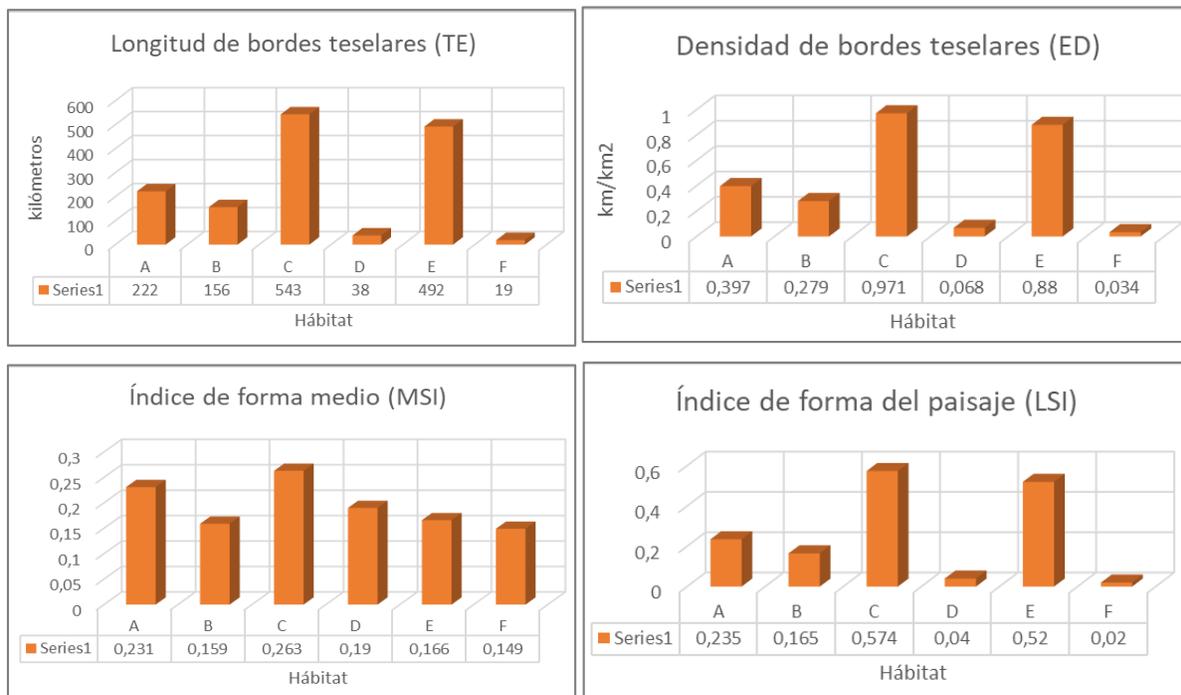


Figura 11. índices para las clases teselares de la RBMM

### 5.3.1.2 Zona Buffer.

Dentro de la zona buffer se encuentran 135 teselas de distintas clases teselares (Figura 12). Siendo la clase de preferencia de hábitat **C** la más representativa con 50 teselas, seguido de la clase **E** (47 teselas), **B** (15 teselas), **F** (12 teselas), **B** (15 teselas), **A** (9 teselas) y la clase **D** como la menos abundante con 2 teselas. En cuanto a la densidad de las clases teselares, la clase **C** presenta el valor más alto con 0,088 teselas/km<sup>2</sup>, posteriormente la clase teselar **E** con 0,083 teselas/ km<sup>2</sup>, **B** (0,026 teselas/ km<sup>2</sup>), **F** (0,021 teselas/ km<sup>2</sup>), **A** (0,016teselas/ km<sup>2</sup>) y la clase teselar menos densa corresponde a la preferencia de hábitat **D** con 0,004 teselas/ km<sup>2</sup> (Figura 13).

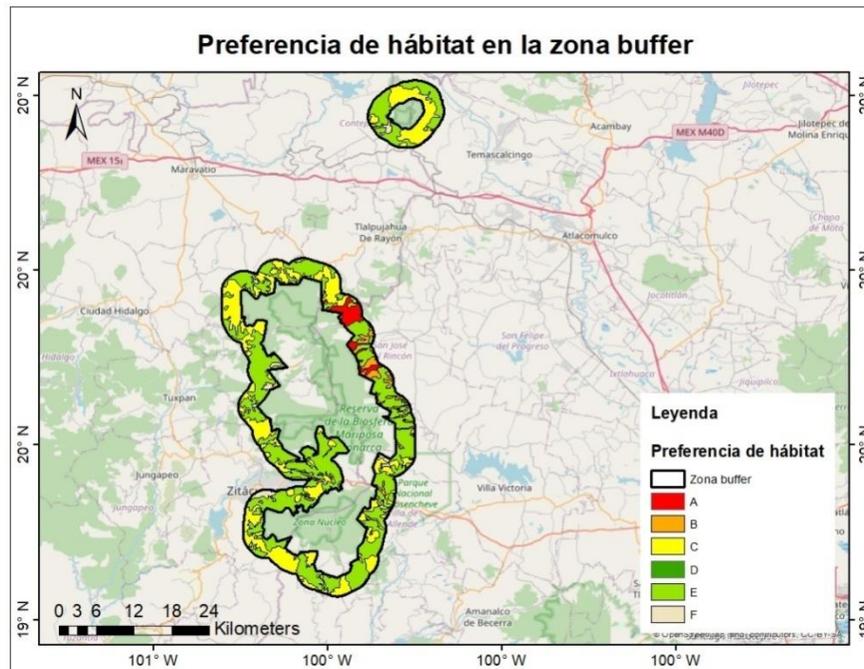


Figura 12. Preferencia de hábitat en la zona buffer

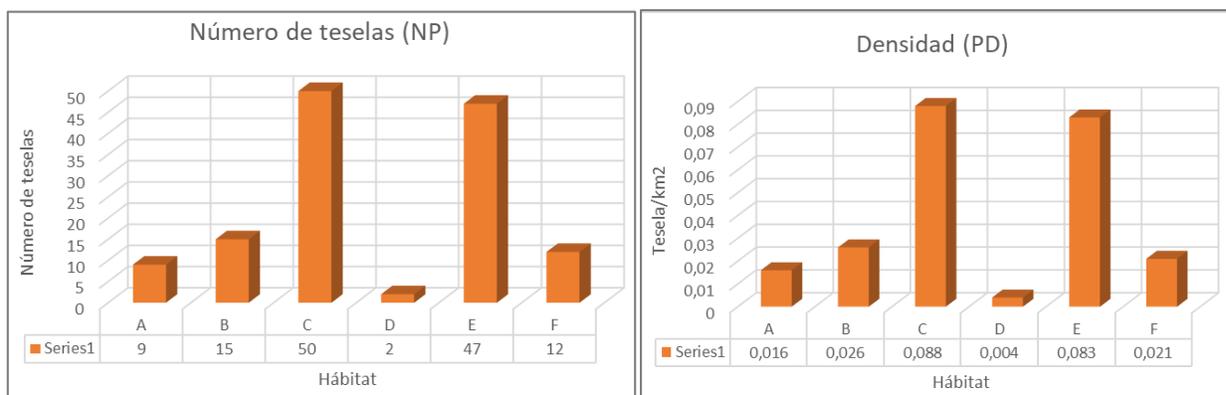


Figura 13. Número de teselas (NP) y densidad (PD) en la zona buffer.

Los descriptivos de las clases teselares señalan a la preferencia de hábitat **E** como aquella con mayor superficie debido a que cuenta con un tamaño teselar medio de 695,9 ha y 18,8 km de media en perímetro. Posteriormente se encuentra la clase **C** con una media de 384,6 ha de área y 13,4 km de perímetro, **A** (197,6 ha de área y 7,1 de perímetro), **F** (113,4 ha de área y 6,3 km de perímetro), **B** (103,7 ha de área y 6,9 km de perímetro) y **D** con 12 ha de área y 2 km de perímetro. En cuanto a la distancia con el vecino más próximo (MNN) destaca la clase **F** con una media de 4812,9 m seguido de la clase **A** (829 m), **B** (789,5 m), **C** (420,4 m), **E**(289,8 m) y **D** con una distancia media al vecino más próximo de 198,1 m (Figura 14).

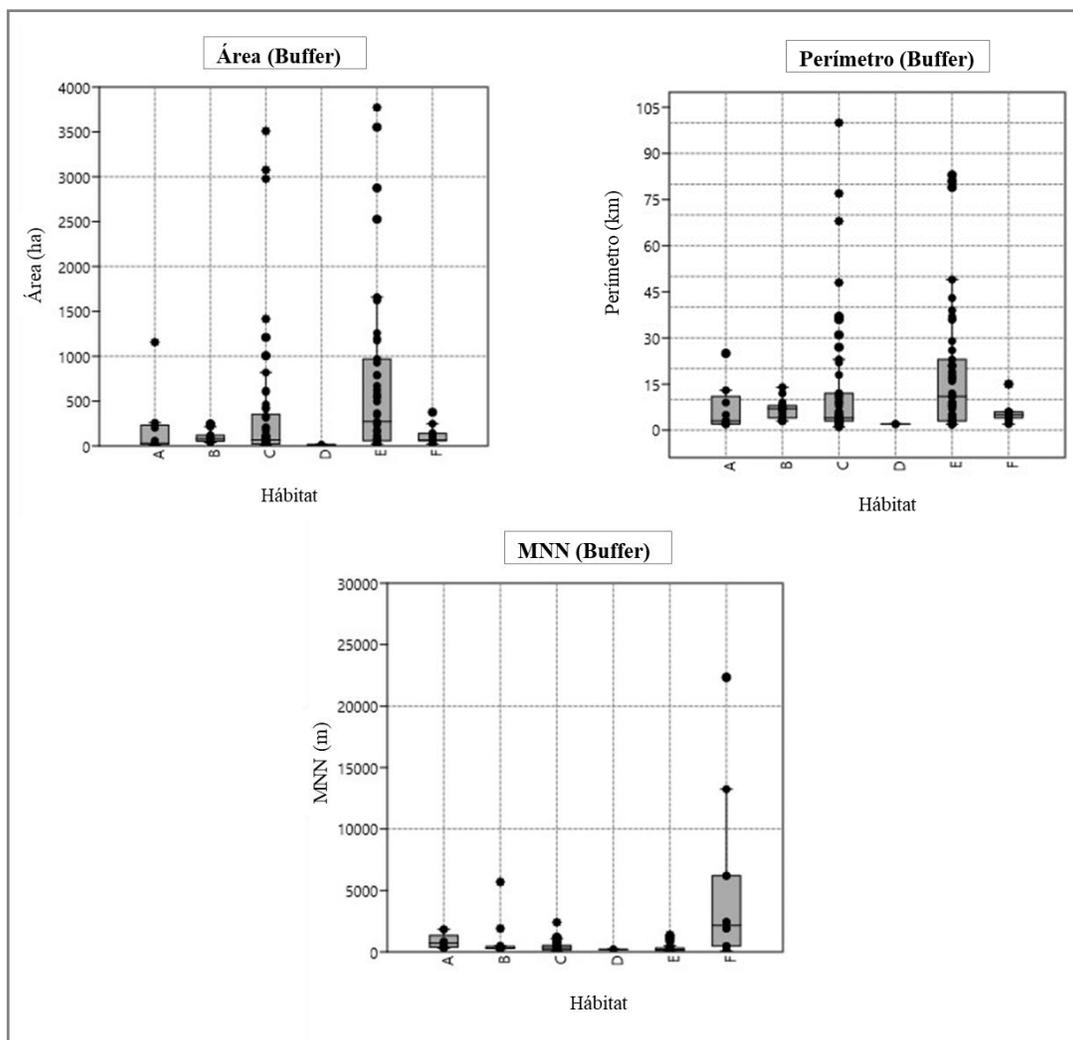


Figura 14. Área, perímetro y distancia media al vecino más cercano (MNN) para la zona buffer.

A través de los índices para las clases teselares se identificó a la preferencia de hábitat **E** como aquella con mayor longitud de bordes teselares (TE) con 883 km, después se encuentra la clase **C** con 669 km, clase **B** (103 km), **F** (76 km), **A** (64 km) y **D** con 4 km. Así mismo, la clase **E** presenta la mayor densidad de bordes teselares (ED) con un valor de 1,559 km/km<sup>2</sup>, posteriormente se encuentra la clase **C** con 1,181 km/km<sup>2</sup>, **B** (0,182 km/km<sup>2</sup>), **F** (0,134 km/km<sup>2</sup>), **A** (0,113 km/km<sup>2</sup>) y **D** con 0,007 km/km<sup>2</sup>. En cuanto al índice de forma medio (MSI) se identificó a la clase **C** con el valor más elevado de 0,184 seguido de la clase **E** con 0,18; **B**(0,177); **A** (0,155); **F**(0,151) y **D** con 0,146. Finalmente, el índice de forma del paisaje (LSI) nos muestra la clase teselar **E** como la más representativa con 0,927 seguido de la clase teselar **C**,**B**, **F**, **A** y **D** con valores de 0,703; 0,108; 0,08; 0,067 y 0,004 respectivamente (Figura 15).

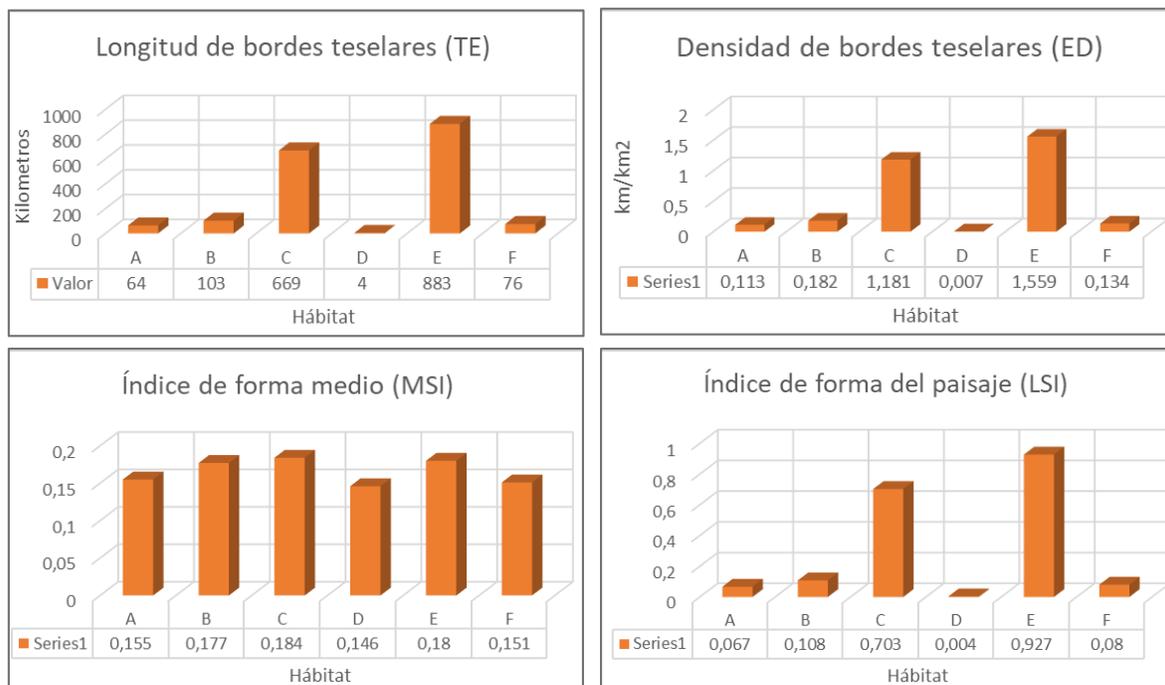


Figura 15. Índices para las clases teselares de la zona buffer.

### 5.3.2 Análisis a escala del paisaje

#### 5.3.2.1 Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca

El paisaje está compuesto por los atributos espaciales y la relación que estos tienen con los procesos ecológicos. Para identificar la estructura del paisaje, se encuentran una serie de índices que describen sus características. Estos índices se encuentran categorizados de acuerdo a los dos atributos del paisaje con trascendencia ecológica. **1)** Primeramente se encuentran los índices de composición que describen la variedad y abundancia de las clases teselares, dentro de esa categoría se encuentran las métricas de heterogeneidad como la riqueza de teselas (M), índice de diversidad de Shannon (SDI), índice modificado de uniformidad de Simpson (MSIEI) etc. **2)** Posteriormente encontramos los índices de configuración que a su vez se dividen en índices de fragmentación como el número total de teselas (NP), densidad de teselas (PD), tamaño teselar medio (MPS), longitud total de bordes teselares (TE), densidad de bordes (ED), índice de forma medio (MSI), entre otros. Dentro de los índices de configuración también se encuentran aquellos que miden la conectividad estructural como la distancia media al vecino más próximo (MNN), el contagio, contraste y el índice general de entremezcla (IJI).

A través de los análisis de composición del paisaje de la RBMM se identificaron 6 clases de teselas como riqueza tesalar (M), y un área total de la reserva (CA) de 55931 ha con un índice de diversidad de Shannon de 1,36 y un índice modificado de Uniformidad de Simpson (MSIEI) de 0,688. En cuanto a los índices de configuración del paisaje, particularmente aquellos relacionados con la fragmentación, se identificaron 105 teselas a nivel paisaje (NP) con un tamaño teselar medio (MPS) de 533 ha, una densidad de bordes (ED) de 2,63 km/km<sup>2</sup> y un índice de forma medio (MSI) de 2,009. Por otro lado, conforme a los índices de conectividad se encuentra un índice general de entremezcla (IJI) de 66,85 (%) (Tabla 3).

Tabla 3. Índices de composición y configuración del paisaje para la RBMM.

<b>1. COMPOSICIÓN</b>		<b>2. CONFIGURACIÓN</b>	
		<b>2.1 FRAGMENTACIÓN</b>	
<b>ÍNDICE</b>	<b>RBMM</b>	<b>ÍNDICE</b>	<b>RBMM</b>
M	6	NP	105
CA	55931 (ha)	MPS	533 (ha)
SDI	1,36	ED (km/km <sup>2</sup> )	2,63
MSIEI	0,688	MSI	2,009
		<b>2.2 CONECTIVIDAD</b>	
		IJI	66,85 (%)

Entre los índices de conectividad del paisaje se encuentra el contagio, el cual representa el contacto directo entre teselas. En el caso de la RBMM se puede observar que en general la preferencia de hábitat **A** tiene un mayor porcentaje de contagio con la clase **E**, seguido de la clase **C** y **B** consecutivamente. Para la clase **B**, se encuentra un mayor contagio con la clase **A**, **C**, **E** y **D** respectivamente. La preferencia de hábitat **C** presenta más de la mitad de su contagio (65,75 %) con la clase **E** y en muy baja medida con la clase **F** (2,29 %). En el caso de la clase **E** se puede observar igualmente un mayor contagio con la clase **C** (66,84 %) y casi ningún contagio con la clase **D** (1,46 %). Por último, la preferencia **F** únicamente presenta contagio con la clase **C** (57,76 %) y la clase **E** (42,24 %) (Tabla 4).

Por otro lado, el contraste no solo representa el contacto directo sino la diferencia relativa respecto a las teselas que se encuentran de manera adyacente. Este análisis requiere de una valoración de contraste previa que en este caso fue asignado con base en los registros de presencia de la especie *D. plexippus*. De modo que valores más cercanos a 1 representan colindancia con teselas que contienen mayor número de registros de presencia. Por el contrario, valores más cercanos a -1 sugieren adyacencia con teselas con baja o nula presencia de la especie. En este sentido, puede observarse que dentro de la RBMM la clase teselar **F** tiene el valor de contraste más alto, seguido de la clase **E**, **D**, **B** y **A**, además de presentar valores negativos en la preferencia de hábitat **C** (Tabla 4).

Tabla 4. Matriz de contagio y valores de contraste para la RBMM.

	CONTAGIO (%)						CONTRASTE
	A	B	C	D	E	F	
A	-	23,76	36,57	0	39,66	0	0,234
B	33,75	-	30,82	7,23	28,21	0	0,292
C	17,83	10,58	-	4,56	64,74	2,29	-0,747
D	0	29,35	53,91	-	16,74	0	0,455
E	19,97	10,00	66,84	1,46	-	1,73	0,489
F	0	0	57,76	0	42,24	-	0,498

### 5.3.2.2 Zona Buffer.

En cuanto a la zona buffer, los análisis de composición del paisaje identificaron nuevamente 6 clases de teselas como riqueza tesalar (M), y un área total(CA) de 56656 ha con un índice de diversidad de Shannon de 0,98 y un índice modificado de Uniformidad de Simpson (MSIEI) de 0,445. Respecto a los índices de configuración del paisaje y sus medidas de fragmentación, se identificaron 135 teselas a nivel paisaje (NP) con un tamaño teselar medio (MPS) de 420 ha, una densidad de bordes (ED) de 3,17 km/km<sup>2</sup> y un índice de forma medio (MSI) de 1,993. Por otro lado, conforme a los índices de conectividad se encuentra un índice general de entremezcla (IJI) de 38,18 (%) (Tabla 5)

Tabla 5. Índices de composición y configuración del paisaje para la zona buffer.

<b>1. COMPOSICIÓN (HETEROGENEIDAD)</b>		<b>2.CONFIGURACIÓN</b>	
<b>ÍNDICE</b>	<b>Buffer</b>	<b>2.1 FRAGMENTACIÓN</b>	
M	6	<b>ÍNDICE</b>	<b>Buffer</b>
CA	56656 (ha)	NP	135
SDI	0,98	MPS	420 (ha)
MSIEI	0,445	ED (km/km <sup>2</sup> )	3,17
		MSI	1,993
		<b>2.2 CONECTIVIDAD</b>	
		IJI	38,13 (%)

En la zona buffer y para la clase **A** se observa un contagio elevado con la clase **E** (62,89 %) seguido de la clase **C** y **B** con valores de 13,94% y 23,18% respectivamente. La preferencia de hábitat **B** presenta un contagio mayor con la clase **E** en un 87,71% y en menor medida para la clase **A** y **C**. Casi la totalidad del contagio de la clase **C** se centra en la clase **E** (96,55 %) posteriormente entre las clases **F**, **A** y **B**. En el caso de la preferencia de hábitat **D** se puede observar que el 100% de su contagio pertenece a la clase **E**. En la clase **E** se encuentra un contagio más elevado con la clase **C** (74,10 %) seguido de la clase **B**, **F,A** y **B**. Finalmente la clase **F** presenta contagio únicamente con dos clases teselares, mayoritariamente con la clase de preferencia de hábitat **E** en un 84,03% y en un 15,97% con la clase **C**. En cuanto al contraste, se observa un mayor valor para la clase **E** seguido de la clase **F**, **D**, **A** y **B**, además de un valor negativo para la preferencia de hábitat **C** (Tabla 6).

Tabla 6. Matriz de contagio y valores de contraste para la zona buffer

	CONTAGIO (%)						CONTRASTE
	A	B	C	D	E	F	
A	-	23,18	13,94	0	62,89	0	0,068
B	11,91	-	0,38	0,00	87,71	0,00	0,068
C	1,33	0,07	-	0,00	96,55	2,05	-0,74
D	0,00	0,00	0,00	-	100,00	0,00	0,075
E	4,60	12,50	74,10	0,53	-	8,26	0,534
F	0,00	0,00	15,97	0,00	84,03	-	0,189

## 6. DISCUSIÓN

A partir de las métricas utilizadas puede obtenerse una evaluación del estado del paisaje y realizarse una comparativa entre los dos ámbitos territoriales (RBMM y zona buffer). Con ayuda de esto, se llevará a cabo una valoración de la adecuación de las características de la estructura actual patrón del paisaje para la especie *D. plexippus* y una identificación de necesidades de gestión ambiental en la zona. Para esto, se centrará la discusión en tres de los atributos ecológicos: heterogeneidad, fragmentación y conectividad estructural.

### 6.1 Heterogeneidad

Se tomó en cuenta la abundancia relativa de las clases teselares y la clasificación del paisaje descrita por Garcia del Barrio en el 2003. Los resultados obtenidos para la RBMM indican que se trata de un paisaje esencial de preferencia de hábitat C (bosque de pino-encino y bosque de encino-pino) ya que esta clase cuenta con una abundancia relativa del 42%. De igual modo, está presente de manera esencial la clase teselar A (bosque de oyamel) al contar con un 25,4 % de abundancia relativa. Posteriormente se encuentran las clases E y B con una presencia marginal al estar en un 18% y 13% respectivamente. De manera residual se encuentran las preferencias de hábitat D y F al contar con una abundancia relativa del 1% y 0,43% respectivamente. Estos resultados para la RBMM resultan positivos ya que se encuentra de manera representativa la preferencia de hábitat A que es la principal zona en la que las mariposas monarcas llegan cada año. De igual modo, que la RBMM sea un paisaje principalmente de clase C resulta favorable debido a que el mayor número de registros de presencia de la especie se encuentran concentrados en este hábitat.

En cuanto a la zona buffer, se trata de un paisaje matricial de preferencia de hábitat **E** (pastizal y agrícola) con un 58% de abundancia relativa. De manera esencial se encuentra la clase **C** con un 34% y de manera residual el resto de las preferencias de hábitat ya que cuentan con una abundancia relativa menor al 5%. A pesar de que el paisaje se encuentra representado principalmente por un tipo de hábitat muy poco preferente para *D. plexippus* (clase E), se encuentra de manera esencial la clase **C** donde se han registrado el mayor número de registros y esto puede tener una repercusión positiva en el intercambio de materia y energía entre los dos ámbitos territoriales. Esto a su vez, indica una buena ejecución de la RBMM ya que colocaron dentro de la zona protegida las preferencias de hábitat más prioritarias para la especie y en las zonas aledañas las preferencias de hábitat poco frecuentes.

Por otra parte, dentro de la RBMM se encuentra un índice de diversidad de Shannon (SDI) de 1,36 y en la zona buffer un SDI de 0,98. Esto quiere decir que dentro de la reserva hay una mayor diversidad en el número de tipos diferentes de teselas que en la zona buffer. Este resultado nuevamente es favorable para la RBMM ya que es la zona protegida de interés. En cuando al índice modificado de Uniformidad de Simpson (MSIEI) encontramos en la RBMM un valor de 0,688 contra la zona buffer de 0,445. Esto nos indica que en la RBMM la distribución de áreas entre los distintos tipos de tesela es más uniforme que en la zona buffer. Es decir, en la RBMM las abundancias proporcionales de cada tipo de teselar son más parecidas a comparación de la zona buffer. Esto nos indica que vamos a encontrar hábitats con áreas más parecidas, lo cual es favorable para la mariposa monarca ya que áreas más grandes le pueden proporcionar condiciones más favorables.

## **6.2 Fragmentación**

Como se mencionó anteriormente en el apartado 1.4 de ecología del paisaje, uno de los principales procesos que afectan los patrones del paisaje es la fragmentación. La cual representa efectos negativos como la pérdida de diversidad biológica asociada a la destrucción y modificación del hábitat (Forman, 1995; McIntyre & Hobbs, 1999). Por lo tanto, es de gran interés analizar estas métricas en los dos ámbitos territoriales. Dentro de la RBMM se encuentra un total de 105 teselas (NP) en comparación con la zona buffer que presenta 135 teselas (NP). Esto nos indica una mayor fragmentación en la zona buffer que en la RBMM. Además, la zona buffer al ser un paisaje de tipo pastizal-agrícola, nos indica que ha ocurrido un mayor cambio de uso del suelo en esta área en comparación con un paisaje de bosque de pino-encino de la RBMM que nos muestra un mejor estado de conservación del ecosistema. Así mismo, haciendo una revisión a escala teselar de la RBMM se puede observar que la preferencia de hábitat **A** (bosque de oyamel) se encuentra poco fragmentada ya que cuenta únicamente con cuatro teselas. Del mismo modo, las clases teselares siguientes cuentan con un bajo número de teselas a excepción de la clase **E**(pastizal-agrícola) que cuenta con el mayor

número de teselas (71) y la mayor densidad teselar (0,127 teselas/km<sup>2</sup>). Estos resultados son entendibles en el sentido que esta clase **E** corresponde a las teselas de uso agrícola y de pastizal que por sí solas indican un grado de afectación humano. Por otro lado, en la zona buffer y a escala teselar se observa nuevamente mayor fragmentación, sobre todo en la clase teselar **C** con 50 teselas y la clase teselar **E** con 47 teselas. En el resto de las preferencias de hábitat se observa un menor número de teselas para esa área, pero un mayor número en comparación con la RBMM indicando de manera general una mayor fragmentación a escala teselar y de paisaje. Estos resultados de la zona buffer representan un reto ambiental en el que es necesario aplicar medidas que reduzcan la fragmentación, sobre todo debido a que la preferencia de hábitat más fragmentada es la clase **C** que representa una de las zonas prioritarias para la mariposa monarca.

En cuanto al tamaño teselar medio (MPS) la RBMM cuenta con un valor de 533 ha contra 420 ha de la zona buffer representando hábitats más grandes dentro de la RBMM. A nivel de clase teselar, dentro de la RBMM la preferencia de hábitat **A** presenta el valor más alto de MPS (3554 ha) seguido de la clase **C** y **B**, lo cual favorece a la mariposa monarca debido a la disponibilidad de una mayor superficie de hábitat adecuado para la especie. En cuanto al MPS nivel teselar de la zona buffer, se observa un tamaño teselar medio más alto en clase **E** con 696 ha seguido de la clase **C** y **A**. Estos resultados en la zona buffer sugieren menor disponibilidad de hábitat para la mariposa debido a que la clase **E** no es preferente para la especie y debido a que la clase **C** y **A** se encuentran en menor medida.

Para la densidad de bordes teselares (ED), se puede observar de manera general que la zona buffer tiene una densidad más alta de 3.17 km/km<sup>2</sup> contra 2.63 km/km<sup>2</sup> de la RBMM. A escala teselar en la RBMM la clase **C** presenta una mayor longitud de bordes (TE) con 543 km seguido de la clase **E** (492 km) y clase **A** (222 km). En cuanto a la zona buffer destaca la clase **E** con 883 kilómetros y la clase **C** con 669 kilómetros. La longitud de bordes a su vez nos indica aquellas clases teselares que tendrán mayor contagio y por lo tanto intercambio de materia y energía entre teselas.

En el paisaje se observa un índice de forma medio (MSI) de la RBMM de 2,009 mientras que en la zona buffer se encuentra un valor de 1,99 esto nos indica que dentro de la reserva se encuentran formas teselares más irregulares y complejas a aquellas encontradas en la zona buffer. Cabe mencionar, que teselas más complejas sugieren diferentes tipos de condiciones ambientales que pueden favorecer a las especies (Forman & Godron, 1986). A escala de clase teselar encontramos en la RBMM a la clase **C** con un índice de forma medio (MSI) mayor seguido de la clase **A**, sugiriendo teselas más complejas para las principales preferencias de hábitat de la especie. En la zona buffer se

encuentran con un MSI mayor las clases **C** y **E**. Sin embargo, la diferencia de este índice en las clases teselares es poco variable lo que sugiere formas más homogéneas entre la zona buffer.

### 6.3. Conectividad

La conectividad es fundamental dentro de la dinámica del paisaje ya que mide el grado en el que el paisaje impide o facilita el movimiento de especies entre los elementos que lo componen. Particularmente la conectividad estructural se refiere a la disposición espacial de los elementos del paisaje con sus atributos físicos. Entre los índices que lo cuantifican se encuentra la distancia media al vecino más próximo de la misma clase (MNN) el cual nos indica el grado de aislamiento de las teselas. Esta métrica se realiza a escala teselar y se logró identificar que de manera general en la RBMM la clase **E** se encuentra más conectada entre si ya que cuenta con el valor más bajo de MNN (413 m) seguido de la clase **D**, **C**, **A**, **B** y **F**. Esto nos indica que es necesario implementar medidas que aumenten la conectividad dentro de la reserva, especialmente para las preferencias de hábitat más preferentes para la especie que se encuentran más aisladas (A, B y C). En la zona buffer la clase **D** se encuentra más conectada entre si seguida de la clase **E**, **C**, **B**, **A** y **F**. Sin embargo, la desviación típica del MNN para cada clase en la zona buffer es más baja que en la RBMM lo que sugiera que el paisaje presenta mayor conectividad.

A través de los análisis de contagio se puede observar que dentro de la RBMM el mayor contagio de las preferencias de hábitat se puede resumir de la siguiente manera: clase **A** con clase **E** (**A-E**), **B-A**, **C-E**, **E-C** y **F-C**. Esto nos sugiere que debido a que la preferencia de hábitat más importante para la mariposa monarca **A** (bosque de oyamel) presenta un mayor contagio con la clase **E** (pastizal-agrícola) son necesarias medidas de restauración en estas áreas de clase **E** que permitan mayor conectividad y hábitat disponible para la especie. Por otra parte, en la zona buffer el contagio se puede resumir como **A-E**, **B-E**, **C-E**, **D-E** y **E-C**. Estos resultados toman sentido debido a que en la zona buffer el tipo de paisaje es predominantemente de clase **E** por lo que todas las clases teselares presentan un mayor grado de contagio con esta clase. Debido a esto, surge la necesidad nuevamente de establecer medidas que mejoren el estado de conservación de la clase **E** en la zona buffer debido a que tiene un fuerte contagio con todos los tipos de preferencia de hábitat.

Puesto que el contraste representa una medida para conocer la cercanía de las teselas con otras que contienen mayor número de registros de presencia de la especie, este análisis es importante para identificar áreas de interés al ser zonas colindantes con hábitats de la mariposa monarca. En cuanto a la RBMM la clase **F** presenta el valor más alto de contraste seguido de la clase **E**, **D**, **B** y **A** consecutivamente. Para la zona buffer, se observa un mayor contraste para la clase **E** seguido de la

clase **F**, **D**, **A** y **B**. Por lo tanto, se debe de prestar especial interés en las clases **F** y **E** en los dos ámbitos territoriales ya que son preferencias de hábitat cercanas a áreas con mayor número de registros de presencia de la especie. No obstante, es importante señalar que los registros de presencia pueden tener sesgos de muestreo, es decir, la veracidad de los datos al igual que la disponibilidad de los mismos se encuentra vinculada con los factores biológicos de las especies y el tipo de muestreo que se lleve a cabo. De tal manera que en los muestreos generalmente se presentan diferentes complicaciones que pueden afectar la fiabilidad de los datos, tales como la detectabilidad de las especies o la accesibilidad a los sitios de muestreo que comúnmente se encuentran asociados a la presencia de carreteras (Peterson et al., 2011). Por lo tanto, es importante tomar con cuidado los registros de presencia de la especie e intentar generar más muestreos que validen estos resultados.

## **7. CONCLUSIONES**

A través de los resultados obtenidos se puede concluir que:

- 1) La RBMM es un paisaje que tiene como componente esencial el bosque de pino-encino y el bosque de encino-pino (preferencia de hábitat **C**), lo cual es favorable ya que representa la preferencia de hábitat con mayor número de registros de presencia de la especie. Por otro lado, la zona buffer se caracteriza por ser un paisaje pastizal y agrícola matricial (preferencia de hábitat **E**). En este sentido, puede concluirse que en términos de paisaje la RBMM tuvo una buena ejecución ya que en su interior se centra la preferencia de hábitat más importante para la mariposa monarca. O bien, que al exterior de la reserva ha ocurrido un acelerado proceso de cambio de uso del suelo, que debería ser confirmado con un análisis diacrónico de la evolución ecológica del paisaje de la zona buffer.
- 2) La RBMM cuenta con mayor diversidad en el número de tipos diferentes de clases teselares además de que el área de estas es más uniforme que en la zona buffer, lo cual representa hábitats con áreas más parecidas. Esto puede ser valorado como unas condiciones ecológicas más resilientes y multifuncionales de la zona de Reserva frente a la zona Buffer.
- 3) La RBMM se encuentra menos fragmentada que la zona buffer. El tamaño teselar medio (MPS) y el índice de forma medio (MSI) son mayores en la Reserva, lo cual se interpreta como favorables para la especie ya que los índices de tamaño influyen en la composición de flora y fauna, y al representar teselas más complejas, suponen la presencia de diferentes condiciones ambientales. Por otro lado, la mayor fragmentación de la zona buffer y la dominancia del tipo teselar de pastizal-agrícola (clase **E**) es indicador de una intensa presión y transformación humana del territorio, lo cual no favorece la presencia de la especie.

4) De igual modo, para la preferencia de hábitat más importante de la mariposa monarca (clase A de bosque de oyamel) se identificó un bajo grado de fragmentación, indicando una buena conservación de la reserva en el marco de la ecología del paisaje. No obstante, es necesario realizar estudios que determinen las condiciones ecológicas específicas de estas áreas. Por el contrario, la clase C en la zona buffer es la clase más fragmentada, por lo que se requieren medidas que reduzcan la fragmentación de este hábitat ya que es uno de los más importantes para *D. plexippus*.

5) La RBMM presenta menor conectividad estructural entre los hábitats preferentes para la especie (A, B y C), lo cual sugiere la necesidad de implementar medidas de restauración del paisaje que permitan el flujo de materia y energía entre estos hábitats. De manera general, la zona buffer presenta mayor conectividad estructural.

6) Dentro de los dos ámbitos territoriales se encuentra un mayor contagio entre las preferencias de hábitat A con la preferencia de hábitat E, lo cual indica que se requieren esfuerzos por mejorar las condiciones ambientales de la clase E al ser la clase colindante con la preferencia de hábitat más importante para la mariposa monarca.

Para concluir, y de manera general, el patrón del paisaje de la RBMM se encuentra en buenas condiciones ecológicas de acuerdo a las preferencias de hábitat de la especie. No obstante, se requieren esfuerzos de gestión ambiental que mejoren las condiciones de las áreas con preferencias de hábitat E y F que son aquellas con mayor contagio y contraste para los hábitats más importantes de *D. plexippus* así como mejorar la conectividad de la reserva y reducir la fragmentación de la zona buffer.

## AGRADECIMIENTOS

- Mi más sincero agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México por haberme otorgado la beca académica que me permitió desarrollar los estudios fuera del país.
- Agradezco a mi director de este trabajo fin de máster el Dr. Valentín Gómez Sanz por asesorarme en este proceso y brindarme sus valiosas recomendaciones para hacer de este un mejor trabajo.
- Agradezco a mi tutora académica la Dra. Ma. Dolores Jiménez Escobar por estar presente durante la realización de mi Trabajo de Fin de Máster y asesorarme en los trámites necesarios para poder hacer este trabajo posible.
- A mi familia, por todo el cariño y apoyo que me han brindado en cada momento, por impulsarme a cumplir mis metas y a mis amigos por haber sido parte de esta experiencia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, A. 1993. Estudio de la vegetación que comprende el hábitat de invernación de *Danaus plexippus* L. (Mariposa Monarca) en la “Reserva Especial de la Biosfera Mariposa Monarca. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Arellano, A. 1988. Depredación por aves a la mariposa monarca (*Danaus plexippus* L.) en su hábitat de hibernación. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Brower, L.P. 1995. Understanding and misunderstanding the migration of the monarch butterfly (nymphalidae) in North America: 1857-1995. *Journal of the Lepidopterists' Society*, 49(4): 304-385.
- Brower, L.P., & Calvert, W. 1985. Foraging Dynamics of Bird Predators on Overwintering Monarch Butterflies in Mexico. *Evolution*,39(4): 852-868.
- Brower, L.P., & Moffitt, C.M. 1974. Palatability dynamics of cardenolides in the monarch butterfly. *Nature*, 249: 280-283.

- Brower, L.P., & Glazier, S. 1975. Localization of Heart Poisons in the Monarch Butterfly. *Science*, 188: 19-25.
- Carranza, M. 1999. Ecoturismo en México: Mariposa Monarca. *Revista de Centro de Investigación de la Universidad La Salle*, 3(12): 379-388.
- Diario Oficial de la Federación. 1980. “Decreto que declara zonas de reserva y refugio silvestre, lugares donde la mariposa inverna y se reproduce, Diario Oficial de la Federación, Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, México.
- Diario Oficial de la Federación. 1986. “Decreto de la Reserva Especial de la Biosfera Mariposa Monarca”, Diario Oficial de la Federación, Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, disposición 30 de septiembre de 1986, decreto jueves 9 de octubre, México.
- Diario Oficial de la Federación. 2000. Decreto de la Reserva de la Biosfera «Mariposa Monarca» (RBMM), Diario Oficial de la Federación, Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, decreto del 10 de noviembre de 2000.
- Forman, R. 1995. *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press, Cambridge. Inpress.
- Forman, R & Godron, M. 1986. *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons Ltd., New York
- Heupel, E. 2000. Monarch Chrysalis. [Fotografía]. Recuperado de: <https://www.flickr.com/photos/34894709@N00/2857506119>
- IIEH. 2013. La mariposa monarca en problemas, otra vez. [Fotografía]. Recuperado de: <https://www.iih.com/noticias-y-opiniones/noticias/noticias/la-mariposa-monarca-en-problemas-otra-vez>
- Inaturalist. 2020. Mariposa Monarca (*Danaus plexippus*). [Fotografía]. Recuperado de: <https://www.inaturalist.org/photos/84529323>
- López, J. 2013. Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca: aportes para su conocimiento y conservación. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- McIntyre, S. and Hobbs, R.J. 1999. A Framework for Conceptualizing Human Effects on Landscapes and Its Relevance to Management and Research Models. *Conservation Biology*, 13:1282-1292.

- Medley, K., Okey, B., Barrett, G., Lucas, M & Renwick, W. 1995. Landscape change with agricultural intensification in a rural watershed southeastern Ohio, USA. *Landscape ecology* 10(3):161-176.
- Peterson, A., Soberón, J., Pearson, R., Anderson, R., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., Bastos, M. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Estados Unidos de América, Princeton University.
- Semarnat & Conanp. 2018. Plan de Acción para la Conservación de la Mariposa Monarca en México, 2018–2024, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México.
- Scott, J. 1992. *The Butterflies of North America: A Natural History and Field Guide*. Board of Trustees of the Leland Stanford Junior University, Stanford, United States of America.
- Troll, C. 2003. Ecología del paisaje. *Gaceta ecológica* 68: 71:84.
- Upadhyaya, N., & Poudel, S. 2020. Rearing of Monarch butterfly and study of its lifecycle. Institute of Agriculture and Animal Science (IAAS).
- Urquhart, F. 1960. *The Monarch Butterfly*. University of Toronto Press, Toronto, Canadá.

# ANEXOS

## Anexo 1. Registros de presencia de *D. plexippus* a través del tiempo.

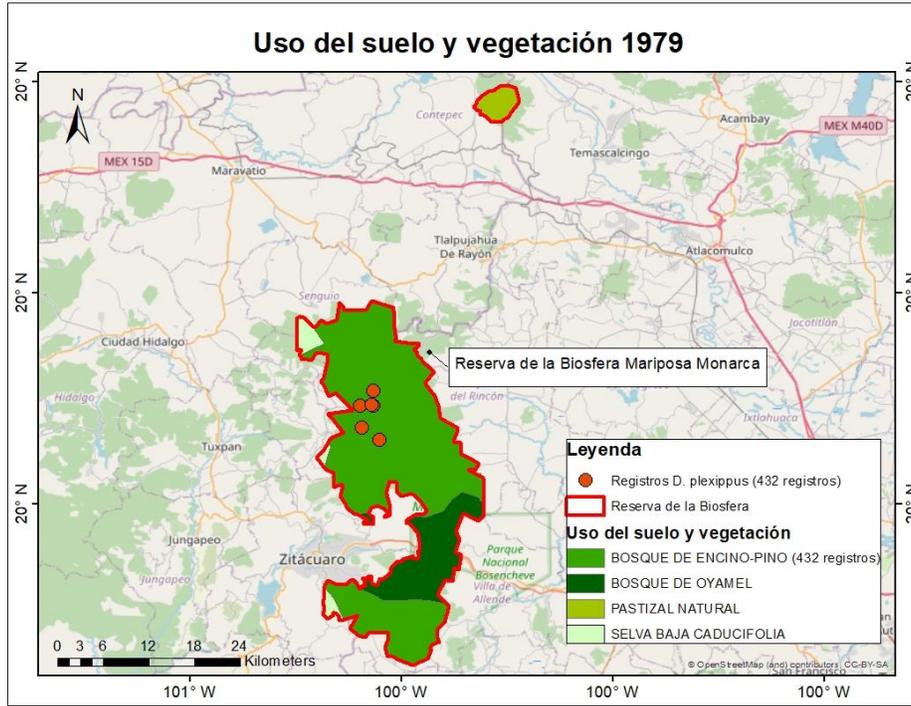


Figura 16. Registros de *D. plexippus* y uso del suelo en la RBMM para el año 1979.

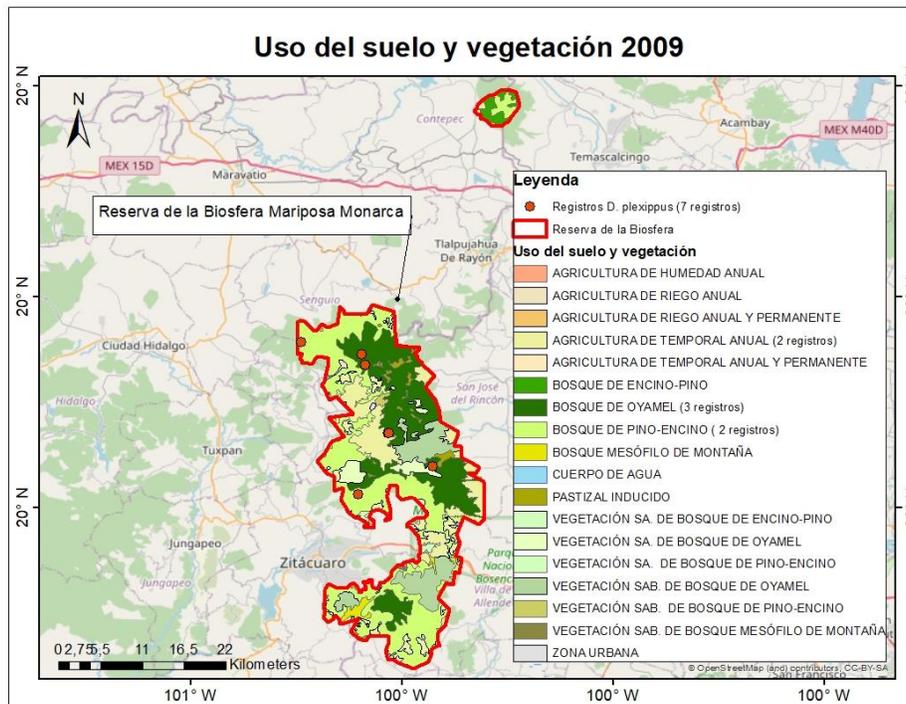


Figura 17. Registros de *D. plexippus* y uso del suelo en la RBMM para el año 2009.

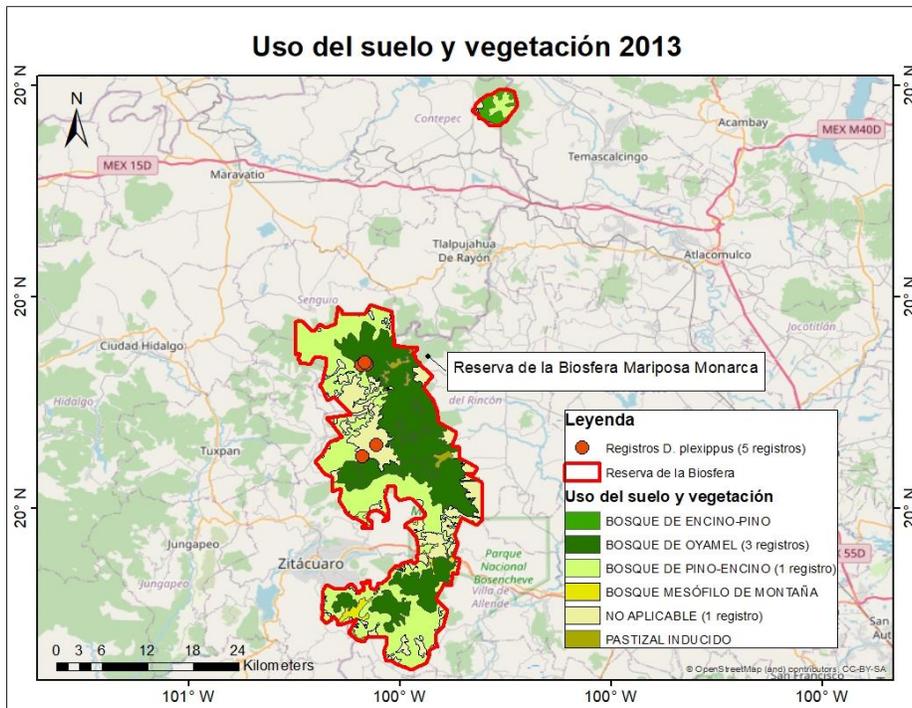


Figura 18. Registros de *D. plexippus* y uso del suelo en la RBMM para el año 2013.

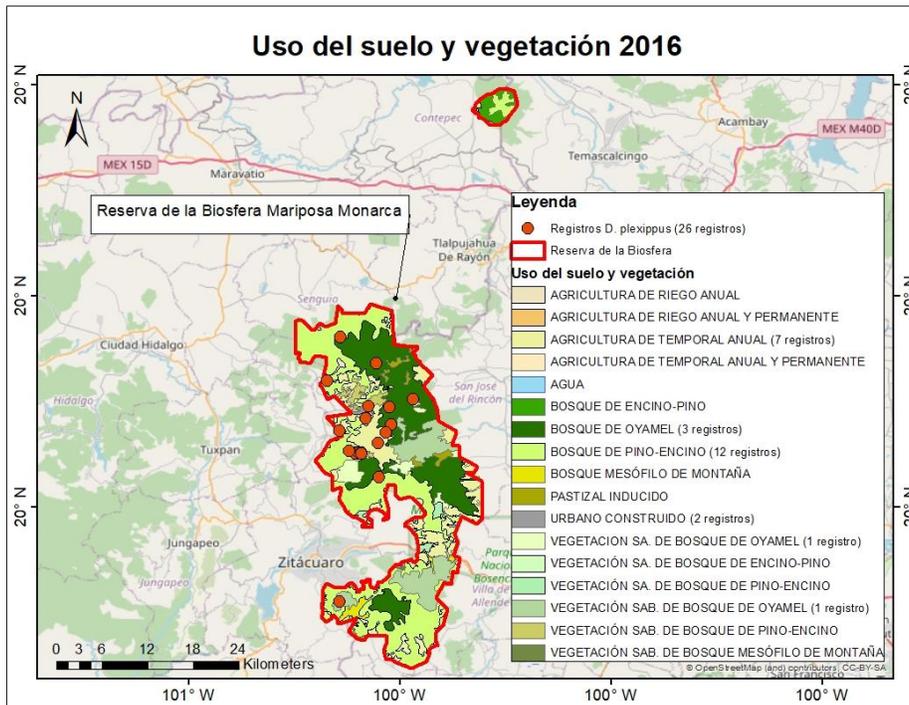


Figura 19. Registros de *D. plexippus* y uso del suelo en la RBMM para el año 2016.

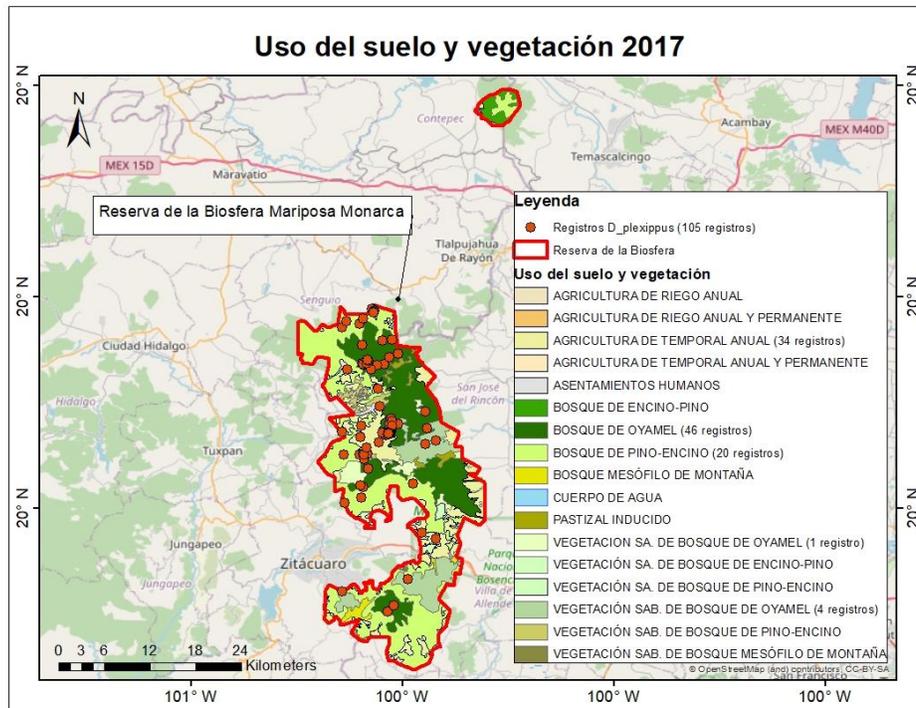


Figura 20. Registros de *D. plexippus* y uso del suelo en la RBMM para el año 2017.