

PROPUESTAS PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LISTA DE ESPECIE EN RIESGO DE LA NOM-059-SEMARNAT-2010

Especie vegetal - *Oreomunnea mexicana*

1. INFORMACIÓN DEL RESPONSABLE

Nombre del responsable:	M. en C. Francisco Javier Naranjo Luna (Investigador invitado de la Universidad de la Sierra Juárez)¹ Dra. Cecilia Liana Alfonso Corrado (Profesor-Investigador de la Universidad de la Sierra Juárez)²
Colaboradores:	Dr. Ricardo Clark Tapia (Profesor-Investigador de la Universidad de la Sierra Juárez) ³ . Dr. Jorge Eduardo Campos Contreras (Profesor – Investigador de la UNAM, FES Iztacala) ⁴ .
Institución:	Universidad de la Sierra Juárez
Domicilio:	Avenida Universidad S/N, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México C.P. 68725
Teléfono:	(951)5536362 ext (600)
Fax:	(951)5536362
Correo electrónico:	¹ francobio87@gmail.com ² liana@juppa.unsij.edu.mx ³ rclark@juppa.unsij.edu.mx ⁴ jecampos@me.com

2. INFORMACIÓN DE LA ESPECIE PROPUESTA

2.1. Nombre taxonómico

Reino	<i>Plantae</i>
Phylum	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Junglandales</i>
Familia	<i>Juglandaceae</i>
Subfamilia	<i>Engelhardioideae</i>
Género	<i>Oreomunnea</i>
Especie	<i>Oreomunnea mexicana</i>

2.2. Motivos específicos de la propuesta

Los bosques de niebla más extensos, y alto grado de conservación en el país son los bosques del distrito de Ixtlán de Juárez al norte de Oaxaca (Anta-Fonseca *et al.*, 2010). De acuerdo a Anta-Fonseca *et al.* (2010) y Rojas-Soto *et al.* (2012) existen pocas amenazas para estos bosques debido a dos factores: 1) una accidentada topografía, que limita el desarrollo de actividades ganaderas y agrícolas de calidad y 2) una sólida organización social de los pueblos originarios de la cultura mesoamericana con sistemas propios de organización y aprovechamiento de sus territorios que ha permitido un desarrollo forestal sostenible, así como una creciente y responsable industria del ecoturismo.

Sin embargo, existe poca información biológica de estos ecosistemas y más aún de la biología de muchas especies de plantas raras, endémicas y relictos, estas últimas en especial presentes en el bosque de niebla (Rzedowski, y Palacios-Chávez 1977; Challenger y Soberón,

2008) y vestigios muchas de ellas de la flora del terciario, que en el presente sólo están en áreas reducidas (Challenger y Soberón, 2008).

En los bosques de niebla del distrito de Ixtlán de Juárez cabe destacar la importancia biológica y cultural de *Oreomunnea mexicana* (Standl.) J. F. Leroy (Juglandaceae) especie de árbol relictos del terciario, específicamente del mioceno tardío y plioceno temprano, hace aproximadamente 22.3 millones de años (Palacio-Chávez y Rzedowski 1993). *O. mexicana* es una especie poco estudiada y considerada en la Lista Roja de árboles del bosque de niebla mexicano (*The Red List of Mexican Cloud Forest Trees*) como especie en peligro de extinción (González-Espinoza *et al.*, 2011) y que en México con el uso del Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER) se encuentra como una especie amenazada (Anexo Normativo I, II y III). La especie se distribuye en zonas montañosas de los estados de Veracruz, Chiapas y Oaxaca llegando su distribución hasta Panamá (Russell y Cohn, 2012). En Sierra Norte, Oaxaca constituye el elemento arbóreo dominante en diversas áreas del bosque de niebla del distrito de Ixtlán de Juárez (Rzedowski y Palacios-Chávez 1977), siendo eje clave para la conservación y mantenimiento de la biodiversidad asociada (*i.e.*, *Panthera onca*) y procesos ecológicos (*i.e.*, ciclos biogeoquímicos, hidrológicos, entre otros) (Anta-Fonseca *et al.*, 2010). Además esta especie se integra en la cosmovisión de la cultura indígena chinanteca, como un árbol milenario asociado a lugares de culto religioso, fusionando de esta manera tradiciones cristianas y prehispánicas.

Una especie relictos se define como aquella especie que ha sobrevivido, generalmente como un vestigio, es decir, que sus poblaciones son pequeñas y están restringidas a ciertas condiciones geográficas que son específicas (Lomolino *et al.*, 2006). Se les conoce además, como fósiles vivientes, ya que están fenotípicamente y genotípicamente relacionados con sus ancestros (Futuyma, 2005; Lomolino *et al.*, 2006). En muchos de los casos de especies relictos, las condiciones climáticas y orográficas a lo largo del tiempo han jugado un papel importante en su distribución pasada y presente (Hewitt, 1999; Schweiger *et al.*, 2009).

Es una especie paleoendémica dominante del estrato arbóreo de la que se desconocen muchos aspectos de su biología (Rzedowski, 1996; Challenger y Soberón, 1998) y que tiene un enorme valor científico y ambiental al ser paleoendémica, está catalogada como amenazada

(González-Espinoza *et al.*, 2011) y es clave en la conservación y mantenimiento de la biodiversidad de estos tipos de ecosistemas (Rzedowski, y Palacios-Chávez, 1977). Socialmente se encuentra arraigada en la cosmovisión cultural de los pueblos indígenas de la región de la Chinantla y es considerada localmente un “patrimonio biológico” proveniente de épocas del pasado geológico, de ahí que todas las políticas ambientales tomadas por las comunidades del Distrito de Ixtlán; como lo son: áreas de conservación comunitarias, pago de servicios ambientales, áreas de manejo forestal y ecoturismo tomen en consideración la presencia de *O. mexicana* como pilar fundamental para otorgarle un alto valor de conservación en los procesos de certificación (UZACHI, 2005).

1.2. Mapa de área de distribución geográfica de la especie

Oreomunnea mexicana es un claro ejemplo de especie relictos del cenozoico (Stone, 1972), se distribuye de forma discontinua en México (Oaxaca, Chiapas y Veracruz), Guatemala, Nicaragua, Panamá, Costa Rica, principalmente entre los 1100 y 2000 msnm (Blokina, 2004). En Oaxaca se distribuye en los bosques de niebla del Distrito de Ixtlán, Oaxaca, en particular, esta región es una de la menos conocida en el estado de Oaxaca, ya que se tiene poca información disponible sobre su flora y fauna (Álvarez, 1994; Arellanes, 1996). Al revisar la base de datos electrónicas de herbarios (COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD) y GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY) se encontraron 27 registros específicamente para Oaxaca y Veracruz, además se complementó la información con 10 sitios conocidos para Oaxaca, teniendo un total de 37 registros como se muestra en la cuadro 1, dichos registros se colocaron en un mapa geográfico con la capa de los tipos de vegetación de 1990 (Figura 1, Anexo IV).

Cuadro 1. Ubicación geográfica de los registros conocidos y de los encontrados en bases de datos electrónicas.

Ubicación geográfica en coordenadas UTM	Lugar de ubicación	de	Ubicación geográfica en coordenadas UTM	Lugar de ubicación
OAXACA			VERACRUZ	
14 Q 779707 1943891	Sierra Norte*		15 Q 300728 2021307	Sierra de Santa Martha
14 Q 777027 1945626	Sierra Norte*		15 Q 304480 2026250	Sierra de Santa Martha
14 Q 778058 1947855	Sierra Norte*		15 Q 302701 2028039	Sierra de Santa Martha
14 Q 777624 1948514	Sierra Norte*		15 Q 301029 2029938	Sierra de Santa Martha
14 Q 781213 1950114	Sierra Norte*		14 Q 716477 2043081	Songolica
14 Q 780151 1950099	Sierra Norte*		15 Q 286408 2046038	Sontecomapa
14 Q 780136 1951207	Sierra Norte*		14 Q 693159 2081576	Ciudad Mendoza
14 Q 780136 1951207	Sierra Norte*		14 Q 731178 2084997	Yanga
14 Q 778206 1952509	Sierra Norte*		14 Q 699658 2085076	Orizaba
14 Q 770086 1956274	Sierra Norte*		15 Q 699658 2085076	Orizaba
14 Q 759892 1956471	Sierra Norte*		14 Q 701974 2085322	Orizaba
14 Q 779830 1950316	Valle Nacional		14 Q 722384 2088654	Amatlán de los Reyes
14 Q 779851 1950317	Valle Nacional		14 Q 745109 2139327	Emiliano Zapata
14 Q 780670 1950993	Valle Nacional		14 Q 711724 2153744	Coatepec
14 Q 779919 1943894	Valle Nacional		14 Q 711681 2157397	Coatepec
14 Q 779919 1943894	Valle Nacional		14 Q 708090 2159237	Xalapa
14 Q 786284 1944537	Valle Nacional		14 Q 709032 2159470	Xalapa
14 Q 786287 1944316	Valle Nacional		14 Q 714458 2162302	Xalapa
			15 Q 301638 2017202	Sierra de Santa Martha
* Registros conocidos y ubicados en campo				

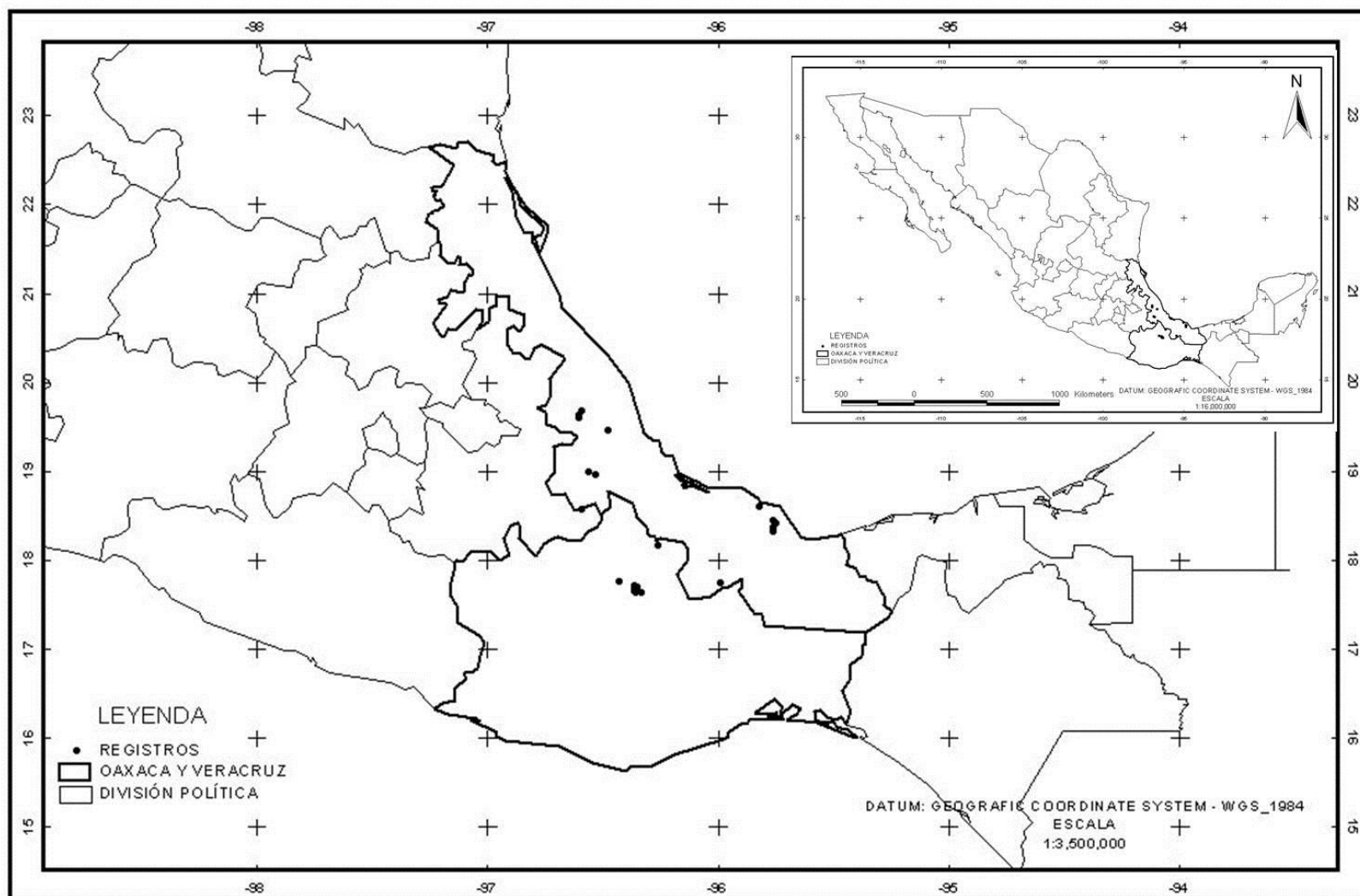


Figura 1. Ubicación geográfica de los registros conocidos para Oaxaca y los encontrados en bases de datos electrónicas.

3. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA CIENTÍFICA DE LA PROPUESTA

3.1. Objetivos

En este trabajo se analizaron aspectos ecológicos y genéticos de la especie relictos *Oreomunnea mexicana* en los bosques de niebla del Distrito de Ixtlán de Juárez, Sierra Norte, Oaxaca, con la finalidad de proporcionar recomendaciones de conservación *in situ* de la especie.

Asimismo, se plantearon los siguientes objetivos particulares:

1. Obtener la estructura de tamaños y distribución espacial en cada población de *O. mexicana*.
2. Determinar las variables ambientales que están asociadas a la ocurrencia de la especie.
3. Obtener la distribución potencial y la proyección futura a nivel nacional de *O. mexicana* bajo dos escenarios de cambio climático para los años 2050 y 2080.
4. Estimar la diversidad y estructura genética de *O. mexicana*.

3.2. Materiales y métodos

3.1.1. Especie de estudio

Oreomunnea mexicana (nombre común: caudillo; nombre en Chinanteco: maá hue loó; *árbol que se descascara*) es un elemento importante en algunos de los bosques de niebla del país (Stone, 1972).

Es un árbol que llega a alcanzar hasta los 40 m de altura, hojas perennes pinnadas, desde cuatro hasta ocho folíolos y dispuestas en pares opuestos con una coloración blanca en el envés. El fruto es una pequeña nuez con alrededor de 0.5 cm de diámetro con tres brácteas lobuladas, el labelo central es más alargado que los laterales (Figura 2) (Russell y Cohn 2012).



Figura 2. Algunas etapas de crecimiento y estructuras de *Oreomunnea mexicana*. a) Árboles maduros (30 m de altura); b) Hojas; c) Flores; d) Semillas; e) Plántulas.

3.1.2. Área de estudio

El área de estudio se limitó a la distribución del bosque de niebla de la Sierra Juárez. La cual se localiza en una zona de transición biogeográfica (entre la región neártica y neotropical) al norte de la ciudad de Oaxaca, presenta una gran amplitud altitudinal con importantes variaciones climáticas que van de los 1800 msnm a los 2500 msnm. La temperatura media anual en la región es de 15° C, la cual va disminuyendo a medida que se asciende altitudinalmente, registrándose 16.1° C y 10° C en la zona más alta. El mes con menor precipitación es febrero y el más lluvioso es julio. La precipitación media anual es de 700 mm, pero en la zona más baja llueve en promedio 6000 mm anuales (INEGI, 2008). La vegetación en la parte superior de la sierra es neártica y en las laderas medias, existe vegetación templada subtropical. Presenta ocho tipos de vegetación de los nueve reportados para el país por Rzedowski (2006); bosque tropical perennifolio, bosque tropical subcaducifolio, bosque tropical caducifolio, bosque espinoso, matorral xerófilo, bosque de coníferas y latifoliadas, y bosques de niebla (Figura 3; Rzedowski, 1978).

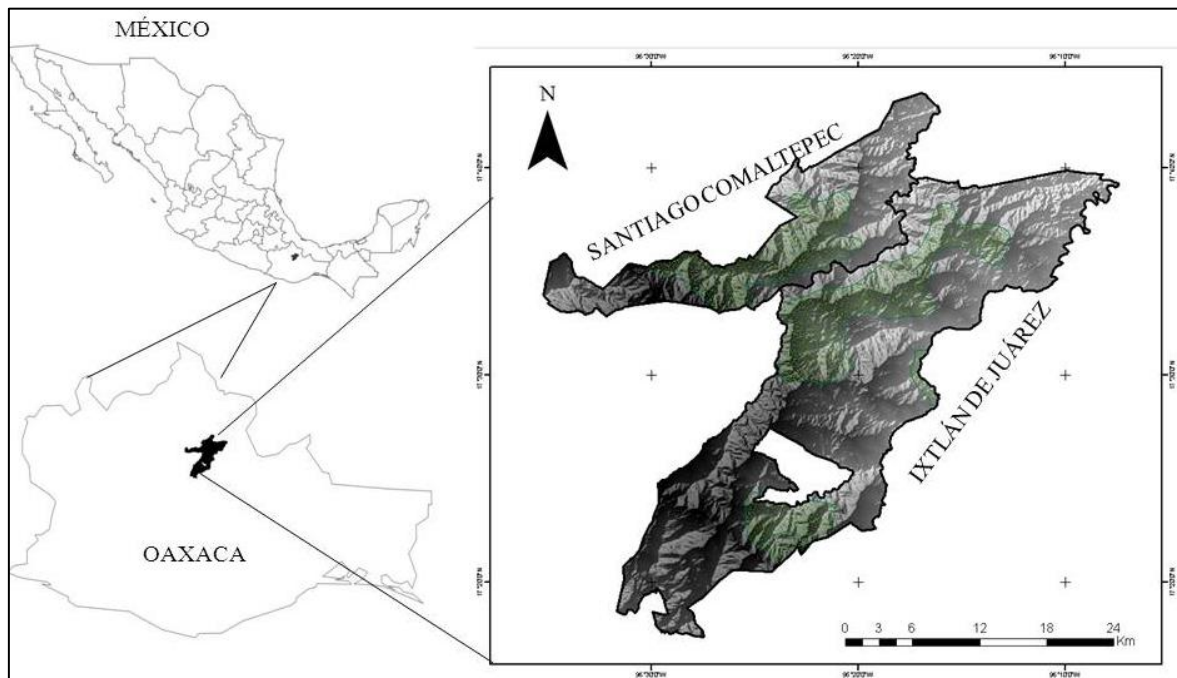


Figura 3. Área de estudio: la zona verde corresponde a la distribución del bosque mesófilo de montaña en los territorios de Ixtlán de Juárez y Santiago Comaltepec, Oaxaca.

El relieve presenta un terreno de pendientes mayores al 50%, esto crea una gran diversidad de microclimas y hace difícil su acceso, por lo que han permanecido prácticamente sin explorar y estudiar.

La Sierra Juárez está ubicado en las coordenadas 17° 19' de latitud norte y 96° 29' de longitud oeste. Se ubica dentro de la Sierra Madre de Oaxaca (extremo sur de la Sierra Madre Oriental), la cual se distribuye de noroeste desde el Pico de Orizaba en Veracruz a lo largo del estado de Oaxaca hasta el Istmo de Tehuantepec. Ubicada al norte del estado de Oaxaca, en las regiones zapotecas de la región Sierra Norte, en los distritos de Ixtlán y Villa Alta. Colinda al norte con la Chinantla y la Sierra Mazateca, al este la Sierra Mixe, al oeste la Cañada o Cuicateca y al sur los Valles de Oaxaca (INEGI, CONABIO e INE, 2008; Trejo, 2004). Los ríos más importantes que atraviesan el predio son: Río Platanal, Río de los Molinos, Río Grande, Río Soyolapan, Río Roo Din Diana, Río la Ranita y Río el Arco. El área de estudio se encuentra en la Región Hidrológica RH28 Cuenca A (Río Papaloapan) (Montes, 1995).

3.1.3. Ecología de *Oreomunnea mexicana*

Obtención de datos en campo

De los meses de enero a octubre del 2012 se establecieron aleatoriamente dos parcelas de 400 m² (20 x 20 m) separadas una de la otra por 500 m en cada uno de las siete poblaciones seleccionadas distribuidas en el bosque de niebla, en total se establecieron 14 parcelas aleatorias de muestreo (Figura 2 y Cuadro 4). En cada parcela, se marcó con etiquetas a todos los individuos y se ubicaron geográficamente de manera individual utilizando un geoposicionador GPS submétrico (disminuye el rango de errores de 0.4-0.8m) Mobilemapper Field & Office versión 10 (Marca Ashtech).

Asimismo, dentro de cada parcela se estimaron las siguientes estimados poblacionales y demográficos: 1) abundancia, 2) densidad, 3) diámetro a la altura de pecho (DAP) para individuos adultos, 4) diámetro de la base del suelo juveniles y plántulas sin tallo lignificado (Alfonso *et al.*, 2007). Además, en cada parcela se obtuvieron las siguientes variables geográficas: 1) altitud (ALT), 2) latitud (LT), 3) longitud (LG), 4) orientación del terreno (AZ)

y pendiente del terreno (PDT). La altitud se calculó utilizando un geoposicionador Mobilemapper Field & Office versión 10 (Marca Ashtech), la pendiente del terreno se obtuvo en campo con un clinómetro (Marca Brunton), mientras que la exposición se calculó mediante el uso de una brújula (Marca Brunton). Finalmente, los datos climáticos fueron obtenidos de la página WorldClim - Global Climate Data (<http://www.worldclim.org/download>) para cada población (Cuadro 1).

Estructura espacial

Para obtener la estructura espacial de cada población muestreada, se registró la ubicación espacial en coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator, zona 14) con un GPS (Global Positional System) Mobilemapper Field & Office versión 10 (Marca Ashtech), los datos obtenidos se procesaron en dos columnas en una hoja de texto con el formato delimitado por tabulaciones (.txt) en donde la columna X representó a todas latitudes y las Y a las longitudes. Una vez obtenida la base de datos de todos los individuos se transportó al software ArcGIS versión 10.0 (ESRI, 2000).

Asimismo, la base de datos delimitado por tabulaciones (.txt) se procesó en el software estadístico Past Versión 3.0 (Hammer *et al.*, 2001) donde se obtuvo el tipo de distribución espacial de cada población y por categoría de tamaños utilizando la función K de Ripley (Ripley, 1977). La interacción espacial existente entre dos series de puntos se obtuvo mediante la extensión bivariable de la función K de Ripley (Ripley, 1977; Rozas, 2003), la cual indica el tipo, escala e intensidad del patrón espacial bivariable que presentan dos series de puntos distribuidos sobre el plano. La interpretación de la función K suele realizarse representando $L(d)-d$ frente a la distancia d (Figura 3), lo cual ajusta la hipótesis nula al valor cero (Besag, 1977), e interpretando la figura 4 como:

- a) La distribución aleatoria cuando $L(d)-d$ es significativamente cercano a cero y en el mapa de puntos (d) se distribuyen al azar,
- b) La distribución es regular cuando $L(d)-d$ es significativamente menor que cero y en el mapa de puntos (e) se distribuyen homogéneamente

- c) La distribución es agregada cuando $L(d)-d$ es significativamente superior a cero y en el mapa de puntos (f) se encuentran aglomerados en sitios muy cercanos (Rozas y Camarero, 2005). La fórmula de la función K de Ripley es:

$$K(t) = n^{-2} / A \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}^{-1} I_t(u_{ij})$$

Dónde:

n es el número de individuos en la parcela A .

$|h|$ es el área de la parcela.

u_{ij} es la distancia entre i -ésimo y j -ésimo individuo en A .

$I_t(u) = 1$ si $u \leq t$ y 0 si no lo es.

Mientras que $-W_{ij}$ es la proporción de la circunferencia de un círculo con centro en el j -ésimo individuo y radio $-u_{ij}$ que está dentro de A .

$\sum$ es de todos los pares de individuos no mayor que t (Ripley, 1977; Diggle, 1983).

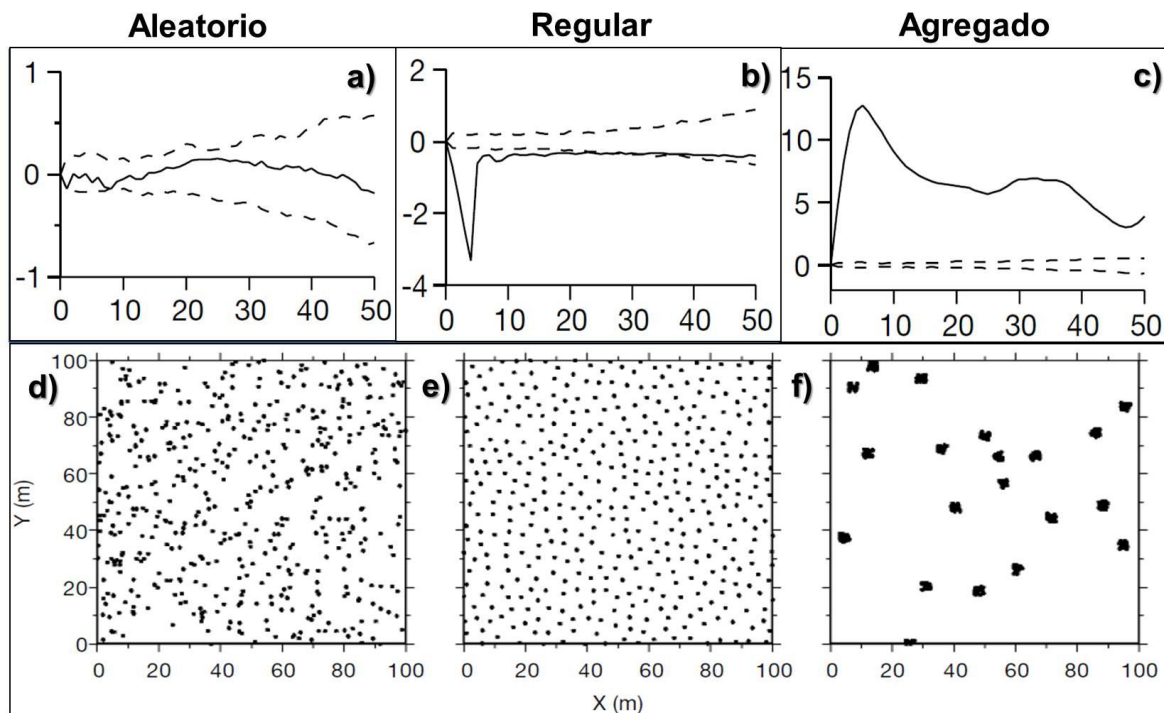


Figura 4. Interpretación de la Función Ripley (K) dada la distribución espacial (Rozas y Camarero, 2005).

Estructura poblacional de tamaños

Se clasificaron de forma arbitraria a todos los individuos en cada población de acuerdo a las estructuras diamétricas, obteniendo cuatro categorías de 0.1- 1cm, de 1.1. a 5cm, 5.1-10 cm, 10.1-40 cm y >40.1 cm de diámetro. Cuando se utilizan categorías de tamaño se presenta el problema de la selección del número de categorías y su amplitud. En muchos casos las categorías de tamaños están definidas biológicamente (*i.e.*, estadios de desarrollo de insectos o semillas en plántulas), pero cuando esto no sucede es necesario proponer categorías basadas en la unidad de medida utilizada para describir a los organismos que se está estudiando con intervalos elegidos arbitrariamente (Larson-Guerra, 1992), en árboles esta unidad de medida son diámetro, área basal y/o altura. En este trabajo, se consideró el sentido común, ayudado por el buen conocimiento de los datos (número y diámetro de cada individuo muestreado en cada parcela), para seleccionar el número y tamaño de las categorías escogidas para la especie.

Adicionalmente, se realizó una prueba de Kruskal Wallis de una vía por rangos que permitió encontrar diferencias significativas entre las poblaciones por categoría de estructura diamétrica. Ya que esta prueba se emplea para comparar más de dos muestras independientes, o no relacionadas. Cuando la prueba de Kruskal Wallis conduce a resultados significativos, entonces al menos uno de las muestras es diferente de las otras muestras (Morgan *et al.*, 1999; Keddy *et al.*, 2001).

Variables ambientales asociadas a la ocurrencia de *Oreomunnea mexicana*

Para comprender las relaciones significativas de los factores abióticos que determinan la presencia o ausencia de una especie y/o especies en un sitio específico se aplicaron dos análisis multivariados y un análisis de Kruskal Wallis:

1) Regresión lineal múltiple con el método Stepwise de variables geográficas y fisiográficas

Utilizando los datos geográficos y fisiográficos (ALT, LT, LG, PDT, AZ) encontrados en las siete poblaciones de *Oreomunnea mexicana* y tres registros de contraste donde no se encontraba *O. mexicana*. Se utilizó una regresión lineal múltiple con el método Stepwise ($P \leq 0.05$) (Giasson *et al.*, 2006), para determinar las variables topográficas más significativas en

desarrollo de *O. mexicana*, se utilizó el programa STATISTICA V.7 a partir del cual es posible interpretar de manera rápida el conjunto complejo de datos, mediante la generación de variables teóricas que representan clones en la estructura de la población y la posición de la especie en las gráficas de ordenación, y proporcionan una representación visual de su respuesta a las condiciones ambientales y geográficas (Hill y Gauch, 1980; Vickery *et al.*, 1997).

2) Análisis de variables edáficas

Se realizó una prueba no paramétrica, conocida como Kolmogórov-Smirnov (también prueba K-S), que se utiliza para determinar la bondad de ajustes de dos distribuciones de probabilidad entre sí. Dicho análisis se realizó con el software PRIMER Versión 1.0 (Clarke, 1993) para evaluar que variables edáficas influyen en la presencia o ausencia de la especie para ello, los análisis edáficos consistieron en seis muestras (cada una de un kilogramo) en dos poblaciones muestreadas que corresponden al Orquidiario y el Ídolo. Dado a que la especie habita en laderas escarpadas se tomaron dos muestras en la parte alta, dos en la parte media y dos en la parte baja. De cada muestra se analizaron: 1) pH, 2) Densidad aparente (DA g/cc), 3) Densidad real (DR g/cc), 4) Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C cmol/kg⁻¹), 5) Calcio (cmol/kg⁻¹), 6) Magnesio (cmol/kg⁻¹), 7) Sodio (cmol/kg⁻¹), 8) Potasio (cmol/kg⁻¹), y Porcentaje de materia orgánica (M.O %).

Para contrastar los resultados se colectó de la misma forma, muestras de suelo de un sitio donde *O. mexicana* no estuviera presente. Las muestras fueron enviadas al laboratorio de Edafología en la Unidad de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO) de la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Iztacala para ser procesadas y analizadas, considerando las especificaciones establecidas en la NOM-021-RECNAT-2000.

3) Análisis de Marginalidad y tolerancia de la especie (OMI)

El índice medio de marginalidad (OMI) desarrollado por Dolédec *et al.* (2000) permite analizar la asociación de condiciones ambientales utilizadas por cada especie (nicho ecológico) y el efecto que tienen sobre su abundancia. Con la finalidad de explorar el patrón de distribución de *O. mexicana* se utilizó el método del índice de marginalidad (Dolédec *et al.*, 2000) utilizando el software ADE-4 (Thioulouse *et al.*, 1997). Para este análisis se utilizaron

cuatro variables geográficas (ALT, LT, LG y PDT) y 13 variables climáticas obtenidas de Wordclimate (Cuadro 1), así como datos de presencia de *O. mexicana* y ausencia (otras especies dominantes y características del bosque de niebla: *Liquidambar styraciflua*, *Sphaeropteris horrida*, *Pinus chiapensis*, *Quercus greggii*) obtenidas de 35 registros y características geográficas obtenidas con ayuda de un GPS y clinómetro en los 35 registros.

El análisis utiliza dos matrices: una matriz botánica que contiene la abundancia de las especies (renglones) en los 35 registros (columnas); y una matriz ambiental, que contiene valores de 17 variables ambientales (renglones, cuatro geográficas y 13 climáticas; Cuadro 2) en los mismos 35 registros (columnas). Se estimó la varianza de la inercia del promedio de condiciones ambientales usadas por la especie, obteniéndose tres parámetros: 1) índice de marginalidad (Outlying Mean Index, OMI) el cual mide la distancia entre las condiciones promedio utilizadas por la especie y las condiciones promedio del área de estudio, 2) índice de tolerancia (amplitud de nicho) que describe la varianza del nicho a través de las variables ambientales analizadas y 3) tolerancia residual, que corresponde a la varianza no estimada. Se utilizó una prueba de Monte Carlo para comparar la marginalidad observada de la especie *versus* su distribución a través de 10,000 permutaciones al azar y una significancia de $\alpha = 0.05$, bajo la hipótesis nula que el ambiente no afecta la abundancia de la especie.

El fundamento de este análisis es medir la marginalidad de la distribución del hábitat de una determinada especie y/o especies, es decir, la distancia entre las condiciones encontradas en la zona donde se encuentra, así como las condiciones medias del hábitat en toda el área de estudio. Cuando hay valores altos de OMI, indica que las especies tienen valores altos de marginalidad que corresponde a las especies ubicuas o generalistas (Dolédec *et al.*, 2000). Este análisis también puede determinar la amplitud del nicho (la tolerancia de la especie) a lo largo de los gradientes ambientales donde se encuentra la especie. Cuando hay valores bajos de tolerancia, significa que la especie cuenta con un rango limitado de condiciones (especies especialistas), mientras que los valores altos implican que una especie se distribuye a través de condiciones ambientales muy variables (especies generalistas) (Tsiftsis *et al.*, 2007).

Cuadro 2. Variables climáticas y geográficas utilizadas para el análisis del índice medio de marginalidad (OMI).

Variables	
BIO1	Temperatura media anual.
BIO5	Temperatura máxima del mes más caliente.
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío.
BIO8	Temperatura media del cuartil más húmedo.
BIO9	Temperatura media del cuartil más seco.
BIO10	Temperatura media del cuartil más cálido.
BIO11	Temperatura media del cuartil más frío.
BIO12	Precipitación anual.
BIO13	Precipitación del mes más lluvioso.
BIO14	La precipitación del mes más seco.
BIO18	La precipitación del cuartil más cálido.
BIO19	Precipitación máxima del mes más frío.
BIO20	Precipitación media anual.
Presencias	17 registros conocidos de <i>Oreomunnea mexicana</i>
Ausencias	18 registros donde no está <i>O. mexicana</i>
Pendiente	Datos obtenidos en las poblaciones de presencias y ausencias
Altitud	
Latitud	
Longitud	

Distribución potencial y futura de *Oreomunnea mexicana* bajo escenarios de cambio climático

Se realizó el modelado de la distribución geográfica potencial de *O. mexicana*, utilizando capas climáticas actuales y para la proyección futura se utilizaron dos (1B y A1B) escenarios de emisiones de GEI (CO₂, CH₄, N₂O y F) de cambio climático de la IPCC correspondientes a los años 2050 y 2080 a una resolución de 1 km (IPCC, 2007; Hijmans *et al.*, 2005). Los escenarios se seleccionaron con la finalidad de tomar una versión optimista considerando que hay una disminución de los GEI y que corresponde al escenario B1, con el cual se considera un intervalo probable de Cambio de temperatura 1,1 – 2,9°C. Mientras que para el escenario A1B, considerado como drástico se consideran un intervalo probable de Cambio de

temperatura 1,7 – 4,4 considerando que las emisiones continúen como hasta la fecha (IPCC, 2000).

Para el procesamiento de los datos se utilizó el algoritmo genético GARP (Genetic Algorithm for Rules-set Prediction) (Stockwell y Noble, 1992; Stockwell, 1999 y Stockwell y Peters, 1999). Para lo cual se consideró su viabilidad por las siguientes razones (Phillips *et al.*, 2006; Townsend-Peterson *et al.*, 2007; Teribile *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2010; Sobek-Swant *et al.*, 2012):

- Se tiene una mayor calidad de predicción en áreas grandes (en este caso nivel nacional) y/o globales, aunque se tiende a incrementar el error de comisión.
- Cuando se realizan predicciones a futuro este algoritmo es muy eficiente.
- Es más eficiente cuando se emplean más de 10 datos de presencias/registros.
- Hay un buen comportamiento de los modelos cuando se validan con puntos reales.
- Tiene mayor consistencia en los modelos que predice.
- Los requerimientos de habilidad hacen más fácil su manejo.
- No se busca la comparación de calidad predictiva de modelos, sino una idea general de la tendencia del nicho ecológico de la especie.

Se utilizó una base de datos de 35 registros de presencia de la especie y se emplearon mapas digitales de diferentes variables ambientales (Cuadro 1). La función del algoritmo GARP es realizar un remuestreo de los puntos de colecta y puntos tomados del resto del mapa para generar un total de 2500 puntos divididos equitativamente en presencia y de pseudoausencia. Para ello solo la mitad de este conjunto de datos se emplea para generar el modelo de distribución de nicho potencial (datos de entrenamiento) y la otra para probarlo (datos de verificación) (Fielding y Bell, 1997; Peterson *et al.*, 2008).

Todos los mapas se obtuvieron en un formato raster con una resolución de 1 km², para ello se configuraron los valores del software, tomando el 70% de los registros de datos de entrenamiento y el 30% restante fueron datos de verificación de los modelos. Se evaluaron un total de 100 modelos con 0.01 de límite de convergencia a máximo 100 interacciones para delimitarlos; seleccionando los 20 modelos con un umbral del 5% de error de omisión y de éstos el 50% más cercanos a la mediana del área de distribución predicha, para obtener

finalmente los 10 mejores modelos (*bestsubset*) que pronostican la distribución geográfica potencial de la especie (Anderson *et al.*, 2003; Martínez-Meyer *et al.*, 2004).

Los 10 modelos se combinaron en ArcView® GIS Versión 3.3 creando mapas de consenso de la distribución geográfica. Así como se combinaron con el mapa del área conservada del país para eliminar parte de la sobrestimación de los modelos. Se realizó una validación estadística de los modelos proyectados del nicho de ecológico de la especie con la aplicación de la prueba Ji-cuadrada (X^2), sobreponiendo en el mapa los puntos de validación (puntos de registros conocidos obtenidos en base de datos), lo cual sirve para probar si los puntos estaban dentro del área de distribución predicha por el modelo más que los esperados al azar, dada la proporción de píxeles predichos como presencia por el modelo. Esta prueba provee una medida extrínseca de la significancia del modelo (Anderson, 2003), esto nos ayuda a determinar el error de omisión (predice la no-presencia de la especie donde realmente está (falso negativo), es mucho más importante, y peor: no predice lugares de presencia que pueden ser de importancia crucial para la supervivencia de la población, o contener genotipos únicos), y el error de comisión (predice la presencia de la especie donde no está (falso positivo), puede ser real o aparente, ya que un “falso positivo” puede significar o una sobre-predicción del modelo o una predicción de nicho potencial de la especie) entre los modelos seleccionados (Anderson *et al.*, 2003, Rojas-Soto *et al.*, 2012).

3.2. Genética de *Oreomunnea mexicana*

Colecta de material vegetal

En cada población (siete poblaciones) se trazó un transepto de 1,500 m en donde se seleccionaron 25 individuos adultos (con una distancia de separación de 50 m entre cada uno), a los cuales se les colectaron alrededor de siete hojas jóvenes en buen estado y se colocaron en bolsas herméticas de polipropileno. Dicho material colectado fue transportado y congelado (-20 °C) en el Laboratorio de Bioquímica Molecular de la Universidad de la Sierra Juárez.

Extracción de ADN

Se extrajo el ADN de 175 individuos de *O. mexicana* (25 x 7 = 175), siguiendo el protocolo DNeasy Plant Kit Qiagen (1999). Para comprobar que el protocolo se aplicó de forma adecuada, se verificó la extracción así como la calidad del ADN extraído con la implementación del protocolo de electroforesis y se almacenaron a -20 °C en un congelador (REVCO) para su posterior análisis molecular y amplificación por PCR.

Estandarización y Amplificación de Fragmentos Tipo Microsatélites Universales del Cloroplasto

Los microsatélites de cloroplastos universales encontrados por Weising y Gardner (1999) fueron escogidos para este estudio ante la ausencia de marcadores tipo microsatélites específico tanto nucleares como de cloroplasto, para el género *Oreomunnea*. También, se probaron nueve microsatélites de cloroplastos diseñados para el género *Quercus* por Sebastiani *et al.* (2004), bajo el supuesto que *O. mexicana* perteneciente a la familia Juglandaceae y *Quercus* a la familia Fagaceae pertenecen ambas al orden Fagales por lo que probablemente podríamos encontrar dichas regiones genéticas reportadas para el género *Quercus* en *Oreomunnea mexicana*, al ser el ADN de cloroplasto regiones con menor recombinación genética que el ADN nuclear (Cuadro 4).

El programa de PCR para obtener las amplificaciones consiste de: una temperatura inicial de 94° C, durante 3 minutos (desnaturalización), seguido de 30 ciclos de 94° C durante 10 segundo, T_m durante 10 segundo (alineación), y 10 segundos a 72° C (extensión) y una extensión final de 5 minutos y se empleó un equipo: Termociclador MycyclerTM Thermal Cycler – BIORAD .

Para verificar el resultado de la amplificación se realizó una electroforesis con geles de agarosa al 1.2 %, en TBE 0.5X corridos a 100 Volts durante 45 min. Los geles se revelaron con Bromuro de Etidio y se visualizaron bajo luz ultravioleta y fotografiados digitalmente con el fotodocumentador UPV BioDoct-H imaging System (Marca Benchtop). Los productos de la amplificación de PCR de los microsatélites se diluyeron dependiendo de la calidad e

intensidad de las bandas que se observaron en la electroforesis (1:10, 1:20, 1:30). Dichas diluciones fueron procesadas en un secuenciador (análisis de fragmentos) en el Laboratorio de Bioquímica Molecular de la Unidad de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (Se empleó un equipo: 3100 Genetic Analyzer ABI Prism de Applied Biosystem).

Una vez obtenidos los electroferogramas como resultado del análisis de fragmentos se utilizó el software Genious versión 5.6.6 (2013) para determinar los tamaños de cada fragmento, tomando cada variación del tamaño como un alelo diferente (polimorfismo), y posteriormente se construyó una matriz con los alelos de cada individuo por población.

Cuadro 3. Reactivos y concentraciones utilizados en cada reacción (23 µl) para la amplificación (PCR) de microsatélites en *Oreomunnea mexicana*.

REACTIVOS	VOLUMEN	[FINAL]
H ₂ O estéril (PiSA [®])	12.8 µl	----
PCR Buffer 10X Rnx (-MgCl ₂)	2.5 µl	1 X
BSA	2.5 µl	0.0001 mg/ml
MgCl ₂ (Invitrogen [™])	2 µl	2.5 mM
DNTP'S (Pharmacia [®])	1 µl	0.2 mM
Oligonucleótido (primer) F	1 µl	10 mM
Oligonucleótido (primer) R	1 µl	10 mM
Taq polymerase (Invitrogen [™])	0.2 µl	1U
ADN Molde	2 µl	----
Total	25 µl	

Cuadro 4. Características de microsatélites de cloroplasto universales (*ccmp*) y de Fagaceae (*ccms*) probados para *Oreomunnea mexicana*.

Código del PRIMER	Localización en el genoma del cloroplasto	Repeticiones	Secuencia del primer	Temperatura de alineación T_m (°C)	Tamaño (p)
<i>ccmp1</i>	<i>trnK</i> intron	(T) ₁₀	5'-CAGGTAACTTCTCAACGGA-3' 5'-CCGAAGTCAAAAGAGCGATT-3'	58	139
<i>ccmp2</i>	5' to <i>trnS</i>	(A) ₁₁	5'-GATCCCGGACGTAATCCTG-3' 5'-ATCGTACCGAGGGTTCTGAAT-3'	60	189
<i>ccmp3</i>	<i>trnG</i> intron	(T) ₁₁	5'-CAGACCAAAAGCTGACATAG-3' 5'-GTTTCATTTCGGCTCCTTTAT-3'	57	112
<i>ccmp4</i>	<i>atpF</i> intron	(T) ₁₃	5'-AATGCTGAATCGAYGACCTA-3' 5'-CCAAAATATTBGGAGGACTCT-3'	59	126
<i>ccmp5</i>	3' to <i>rps2</i>	(C) ₇ (T) ₁₀ (T) ₅ C(A) ₁₁	5'-TGTTCCAATATCTTCTTGTCATTT-3' 5'-AGGTTCCATCGGAACAATTAT-3'	60	121
<i>ccmp7</i>	<i>atpB-rbcL</i> intergénica	(A) ₁₃	5'-CAACATATACCACTGTCAAG-3' 5'-ACATCATTATTGTATACTCTTTC-3'	58	133
<i>ccmp10</i>	<i>Rpl2-rps19</i> intergénica	(T) ₁₄	5'-TTTTTTTTTAACTGAACGTGTCA-3' 5'-TTCGTCGDCGTAGTAAATAG-3'	57	103

Continúa...

Cuadro 4. Características de microsatélites de cloroplasto universales (*ccmp*) y de Fagaceae (*ccms*) probados para *Oreomunnea mexicana*.

Código del PRIMER	Localización en el genoma del cloroplasto	Repeticiones	Secuencia del primer	Temperatura de alineación (°C) T_m	Tamaño (pb)
<i>cmcs2</i>	PetD intergénica	(AT) ₇	5'-ATTCATTTTCCTTTGCATTGA-3' 5'-TTTACTTGTTACTAATAGGGTCTAGC-3'	55	109
<i>cmcs3</i>	petA-psbJ intergénica	(AT) ₇	5'-AGAGTAAGGTTTTATTAGTATAGA-3' 5'-CTCGATAGTATTTGTTCGAT-3'	55	189
<i>cmcs4</i>	ycf10 gene	(TC) ₅	5'-ATTCATTCCCCTTCTATATC-3' 5'-CCTAGTATCCCACCAATTA-3'	55	110
<i>cmcs5</i>	ndhG-ndhI intergénica	(T) ₉	5'-TTTATCTTAAAGGGTAGTTTTAGAC-3' 5'-CGGTTTCTTTCGTTTATTTT-3'	55	151
<i>cmcs6</i>	ndhG-ndhI intergénica	(T) ₁₀	5'-GAAAAAGGACCCTTCCTAAT-3' 5'-CTTATGATCGTCACGAATTG-3'	55	199
<i>cmcs7</i>	ndhH-rps15 intergénica	(T) ₁₂	5'-AAGCGAGATGAATGAGTTTT-3' 5'-AAAATTGGATTGATTATTGACT-3'	54	205
<i>cmcs10</i>	ndhD gene	(A) ₉	5'-TCTTGCTCTTTGATTTTGAA-3' 5'-GACCGCGAGAGTTATTTATT-3'	55	170
<i>cmcs12</i>	ndhD-psaC intergenica	(A) ₉	5'-ATATTGGTAAAACGGCAACT-3' 5'-TTTATGGCATGAAACAACCTC-3'	55	226
<i>cmcs14</i>	accD-psaI intergénica	(AT) ₇	5'-GGATTGTAACAAATTTTTCAGG-3' 5'-GTGCAAGGAATGTCTGAACCTA-3'	55	178

Análisis de datos

Diversidad Alélica: La diversidad alélica se obtuvo usando el programa GenAlEx versión 6.501 (Peakall y Smouse, 2006-2012), y se calcularon los siguientes índices genéticos: 1) el número total de alelos (A_T); 2) el número de alelos por locus (A_o), y 3) los alelos exclusivos (A_p).

Diversidad genética: se calculó mediante dos índices: 1) índice de Shannon (I) el cual se representa a través de la fórmula matemática modificada por Pielou (1969):

$$I' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

Dónde:

S = número de especies (la riqueza de especies).

P_i = proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i).

n_i = número de individuos de la especie i .

Este índice considera a las bandas de cada uno de los individuos como un alelo diferente, evaluando la similitud y las diferencias que tengan en función de la diversidad haplotípicas de éstas (Otero *et al.*, 1997).

2) Índice de diversidad genética (h) de Nei. La diversidad genética obtenida con el índice de Nei (1978) se define como la probabilidad de que dos alelos tomados al azar sean diferentes para un mismo locus. Se calcula con la siguiente formula:

$$h = 1 - \sum_k x_k^2$$

Dónde:

X^2 es la frecuencia del alelo k_{th} en la población está representada por X_k . La heterosis promedio es el valor de la heterocigosis promedio de todos los loci. Cuando la $h = 1$, indica que todos los individuos son heterocigos (Hedrick, 2000).

Estructura genética poblacional: fue necesario obtener los siguientes índices:

1) El índice de fijación poblacional (F_{st}). F_{st} mide la variación de las frecuencias alélicas entre poblaciones, y por tanto la diferenciación genética entre ellas.

F_{st} es definido como:

$$F_{st} = 1 - \frac{h_s}{h_t}$$

Dónde:

h_t es el promedio de la heterocigosis esperada en la población total, para todos los loci.

h_s es el promedio de la heterocigosis esperada dentro de subpoblaciones para todos los loci (Hedrick, 2011).

2) Un análisis molecular de la varianza (AMOVA) para calcular los porcentajes de variación entre y dentro de las poblaciones de acuerdo a el método propuesto por Excofier *et. al.* (1992). Cada una de las fuentes de variación representa la contribución de la variación, relacionada con el nivel de jerarquía en términos de la varianza. Valores altos en el porcentaje de variación entre las poblaciones indican alto grado de diferenciación genética en la especie y/o poblaciones, este valor dado en el análisis de AMOVA es análogo o una extensión de F_{st} , por el contrario valores altos entre los individuos dentro de las poblaciones indica bajo grado de diferenciación.

3) El flujo génico ($N_e m$). Este estadístico corresponde al número de migrantes efectivos por generación y es un estimador indirecto del flujo génico y se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula para marcadores moleculares de genomas haploides como el de cloroplasto:

$$N_e m = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{F_{st} - 1} \right)$$

Dónde:

F_{st} : es el índice de fijación poblacional

También se obtuvieron:

Distancias genéticas de Nei (1987) (D) : Cuando se tienen datos génicos de diferentes poblaciones, es importante saber que tan similares son éstas. Las distancias genéticas de *Nei* (D) sirven para estimar cuanto han divergido las subpoblaciones de una sola población ancestral (Weir, 1996). Para cualquier locus, la identidad genética de Nei (1978) es definida como:

$$I = \frac{\sum x_i y_i}{(\sum x_i^2 \sum y_i^2)^{0.5}}$$

Dónde:

x_i y y_i son las frecuencias de los alelos para un locus en una población. La identidad genética presenta rango de cero a uno. Una vez obtenidos se usan para calcular la distancia genética de Nei (D) como sigue:

$$D = -\ln I$$

Los valores de D tienen un rango de cero a infinito. Si dos poblaciones comparten frecuencias de alelos similares, la identidad genética (I) se aproximará a uno y la distancia genética (D) se aproximará a cero, en el otro extremo tenemos que si dos poblaciones no tienen alelos en comunes I tenderá a cero y D a infinito.

Para obtener los índices estadísticos genéticos de diversidad genética en *O. mexicana* se usó el programa GenAlEx versión 6.501 (Peakall y Smouse, 2006-2012). Asimismo, para la estructura genética, los cálculos de F_{st} , N_{em} y AMOVA fueron generados mediante aplicaciones del programa Arlequín versión 3.1 (Excofier *et. al.*, 2005), con el fin de analizar las relaciones genéticas entre todas las poblaciones, se realizó un análisis de agrupamiento (cluster análisis) usando el estimador de similitud de distancias genéticas de *Nei* (1978), para construir un fenograma se usó el algoritmo UPGMA (unweighted pair group method with arithmetic mean) con el programa TFPGA (Miller, 1997).

3.3. Resultados

3.3.1. Ecología de *Oreomunnea mexicana*

Identificación de poblaciones

En este estudio se localizaron nueve poblaciones de *Oreomunnea mexicana* (Figura 3), sin embargo, debido al acceso, a las condiciones geográficas y la distancia de recorrido sólo se pudo estudiar a siete de las nueve poblaciones identificadas. Las poblaciones de *O. mexicana* se encontraron en un rango altitudinal de 1356 a 1860 msnm, con pendientes pronunciadas en un rango del 10 al 35%, entre la coordenada 17° 19' de latitud norte y 96° 29' de longitud oeste que corresponden a la parte media de la subcuenca de Valle Nacional (Cuadro 5). De las poblaciones muestreadas cinco se localizaron dentro del territorio de Santiago Comaltepec y dos en el de Ixtlán de Juárez, mientras que las dos poblaciones a las que no se logró acceder, se localizaron en el territorio de Ixtlán de Juárez (Figura 5).

La distribución de la especie en ambos territorios fue fragmentada o discontinua en forma de parches localizados dentro del bosque de niebla. A lo largo del bosque de niebla que se recorrió, se encontraron otras especies arbóreas como *Pinus chiapensis*, *Liquidambar styraciflua*, *Carya ovata*, *Quercus corrugata*, *Conostegia volcanalis*, *Ocotea sp.*, *Amphitecna sp.* y *O. mexicana*, Siendo esta última la especie dominante del dosel. Asimismo, las poblaciones más perturbadas fueron El Relámpago y El Ídolo en Santiago Comaltepec y las menos perturbadas se localizaron en Ixtlán de Juárez siendo La Luz y El Algodón (Cuadro 5).

Estructura espacial

Para este análisis, las cinco categorías diamétricas iniciales se resumieron en cuatro, debido a que la categoría 2 (5.1cm a 10cm) estaba mínimamente representada y ausente en la mayoría de las poblaciones y se unió solo para esta análisis con la categoría 1 (0.1cm a 5.0cm). En el cuadro 6 se muestran los tipos de distribución espacial encontrados con el análisis de Ripley para cada población en sus dos parcelas de muestreo.

Cuadro 5. Ubicación geográfica y características ecológicas de las poblaciones de *Oreomunnea mexicana*.

TR.	POP.	LAT (UTM)	LONG (UTM)	AB (#ind)	DR (ind/m ²)	ALT (msnm)	%P	E
Santiago Comaltepec	San Bernardo,	777611	1948493	306	0.76	1704	25	N
	El Ídolo,	778179	1952478	237	0.59	1356	33	S
	Panteón,	780175	1951149	191	0.47	1573	25	O
	El Relámpago,	779827	1950328	1394	3.5	1807	20	O
	El Orquidiario,	779655	1943950	920	2.3	1868	35	NO
Ixtlán de Juárez	La Luz,	780656	1951101	191	0.47	1550	28	SE
	El Algodón,	786246	1944627	728	1.82	1501	10	N

TR.: Territorio. POP: Poblaciones de *O. mexicana*. AB: Abundancia., DR: Abundancia relativa, E: Exposición., % P: Porcentaje de pendiente del terreno.

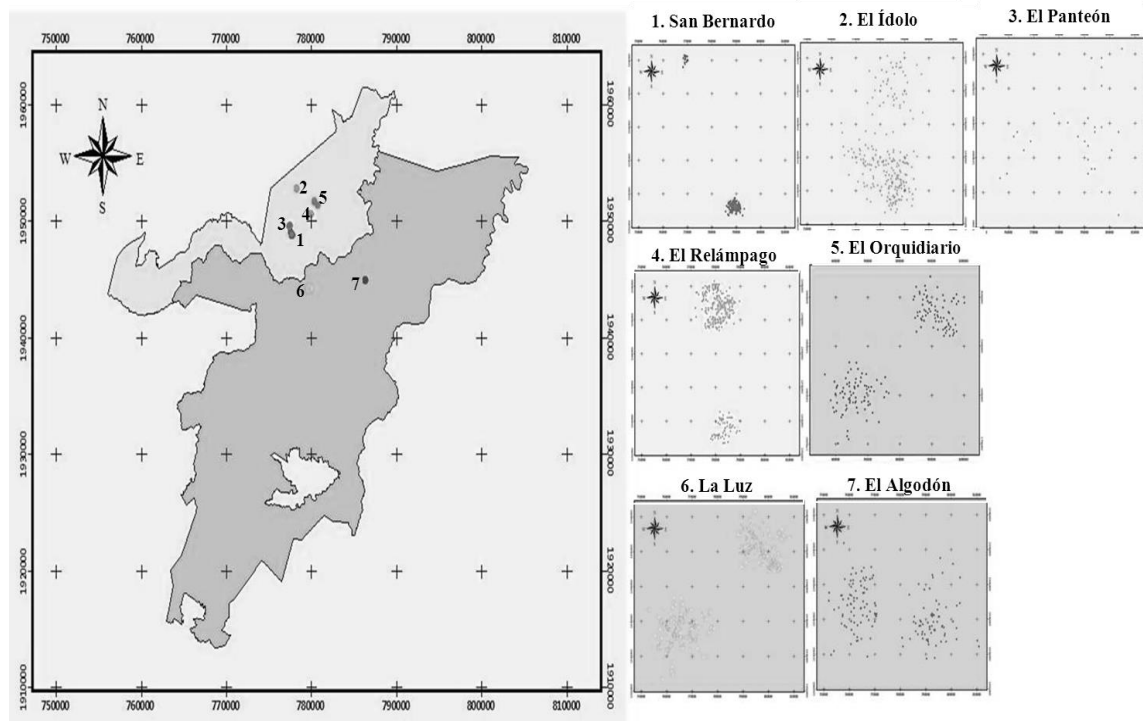


Figura 5. Ubicación geográfica de las poblaciones y distribución espacial de los individuos de *O. mexicana* en Ixtlán de Juárez y Santiago Comaltepec, Oaxaca.

Se encontró un patrón general de distribución espacial agregado en las siete poblaciones (Figura 4). Sin embargo, cuando el análisis de Ripley se realizó de forma independiente para cada una de las parcelas y categoría de tamaño (Cuadro 6), se obtuvieron resultados diferentes, excepto para la categoría 1, que se distribuyó en todas las parcelas de forma agregada.

Se encontró que la población de San Bernardo en la parcela uno, presentó una distribución regular para la categorías 2 y 4 (>40cm), y para la categoría 3 (10.1cm a 40cm) fue aleatoria. En la parcela dos se encontraron distribuciones de tipo agregada para la categoría 2, aleatoria para la categoría 3, y la 4 no presentó individuos. Con respecto a la población de El Ídolo, la parcela uno en las categorías diamétricas 2 y 4 fue regular y aleatoria para la 3. Asimismo en la parcela dos la distribución fue regular para la categoría 2 y aleatoria para la categoría 4. La categoría 3 no estuvo presente en la parcela (Cuadro 6).

La población de El Panteón en la parcela uno, presentó distribución agregada para la categoría 3 y aleatoria para las categorías 2 y 4. En la parcela dos la distribución fue aleatoria para las categorías 2, 3 y 4 (Cuadro 6). Mientras que la población del Relámpago mostró distribución regular (categoría 3) y aleatoria (categoría 4) en la parcela uno, ausente la categoría 2, y distribución aleatoria (categoría 2 y 3), con ausencia de la categoría 4 en la parcela dos (Cuadro 6).

En El Orquidiario, la distribución fue agregada (categoría 3) y regular (categoría 4), mostrándose ausente la categoría 2 en la parcela uno. En la parcela dos la distribución es aleatoria (categoría 2), y están ausentes las categorías 3 y 4 (Cuadro 6).

En la población La Luz, se determinó una distribución aleatoria para la categoría 2 y regular para la categoría 3, para la parcela uno, y agregada y aleatoria, para la parcela dos. Las categorías 3 en la parcela uno estuvo ausente y la categoría 4 no estuvo presente en las dos parcelas. Mientras que en El Algodón, se encontró una distribución aleatoria (categorías 2 y 3) y regular (categoría 4) en la parcela uno, y en la parcela dos fue aleatoria para la categoría 2 y regular para la categoría 3, no estuvo presente la categoría 4 (Cuadro 7).

Cuadro 6. Interpretación del análisis de Ripley de las categorías diamétricas para cada una de las poblaciones de Santiago Comaltepec.

		Categorías (cm)				
		Total	1 (0.1-5)	2 (5.1-10)	3 (10.1-40)	4 (>40.1)
San Bernardo	Parcela 1	Agregada	Agregada	Regular	Aleatoria	Regular
	Parcela 2		Agregada	Agregada	Aleatoria	-
El Ídolo	Parcela 1	Agregada	Agregada	Regular	Aleatoria	Regular
	Parcela 2		Agregada	Regular	-	Aleatoria
El Panteón	Parcela 1	Agregada	Agregada	Aleatoria	Agregada	Aleatoria
	Parcela 2		Agregada	Aleatoria	Aleatoria	Aleatoria
El Relámpago	Parcela 1	Agregada	Agregada	-	Regular	Aleatoria
	Parcela 2		Agregada	Aleatoria	Aleatoria	-
Orquidiario	Parcela 1	Agregada	Agregada	-	Aleatoria	Regular
	Parcela 2		Agregada	Aleatoria	-	-

El signo (-) indica que la categoría no está presente en la parcela.

Cuadro 7. Interpretación del análisis de Ripley de las categorías diamétricas para cada una de las poblaciones de Ixtlán de Juárez.

		Categorías (cm)				
		Total	1 (0.1-5)	2 (5.1-10)	3 (10.1-40)	4 (>40.1)
La Luz	Parcela 1	Agregada	Agregada	Aleatoria	Regular	-
	Parcela 2		Agregada	Aleatoria	-	-
El Algodón	Parcela 1	Agregada	Agregada	Aleatoria	Aleatoria	Regular
	Parcela 2		Agregada	Aleatoria	Regular	-

El signo (-) indica que la categoría no está presente en la parcela.

Estructura de tamaños

La abundancia de *O. mexicana* en las siete poblaciones fue de 3,967 ind (± 2.547) con una densidad promedio de 1.4 ind/m² (± 3.846). En la mayoría de las poblaciones la estructura poblacional fue similar a una *J-invertida* (Figura 6). La primera categoría de tamaños presentó la mayor abundancia de individuos en todas las poblaciones (con un decremento significativo de acuerdo a la prueba de Kruskal Wallis de una vía por rangos ($q = 10.22$ y $p < 0.05$), es decir, que conforme se incrementó el diámetro de los individuos, en la población, disminuyó la cantidad o el número de los individuos adultos (Cuadro 9). Este patrón se observa a nivel de especie donde la categoría de tamaño de 0.1 – 1.0 cm presentó el mayor porcentaje de individuos (86%, Figura 7).

En general se encontró que la categoría 1 (0.1 – 1.0) cm presentó el mayor porcentaje de individuos (86%), siendo la población de El Relámpago la que tuvo mayor cantidad de individuos en esta categoría (1351 ind, Figura 6) y la población de El Panteón mostró el menor número de plantas en esta categoría (88 ind; Figura 6). Asimismo, la categoría diamétrica > 40 cm ocupó el menor porcentaje de individuos (2.0%) de la estructura poblacional en un rango de (4 ind en la población de la Luz y 13 ind en la población de El Panteón; Figura 7).

En el análisis de Kruskal-Wallis mostrado en el cuadro 8, realizado para identificar diferencias entre parejas reveló que existen diferencias significativas entre el número de los individuos encontrados en las categorías diamétricas de cada población, así como diferencia significativas entre la cantidad total de individuos que existen en las diferentes poblaciones, sin embargo, no hay diferencias entre las poblaciones y categoría diamétricas.

Cuadro 8. Prueba de Kruskal-Wallis, comparación múltiple por parejas de las poblaciones.

Comparación	Diferencia de rangos	q	$P < 0.050$
Número de individuos Vs categoría diamétricas	1841	10.218	Si
Números de individuos Vs las poblaciones	1445.5	8.0	Si
Las poblaciones Vs categoría diamétricas	395.5	2.19	No

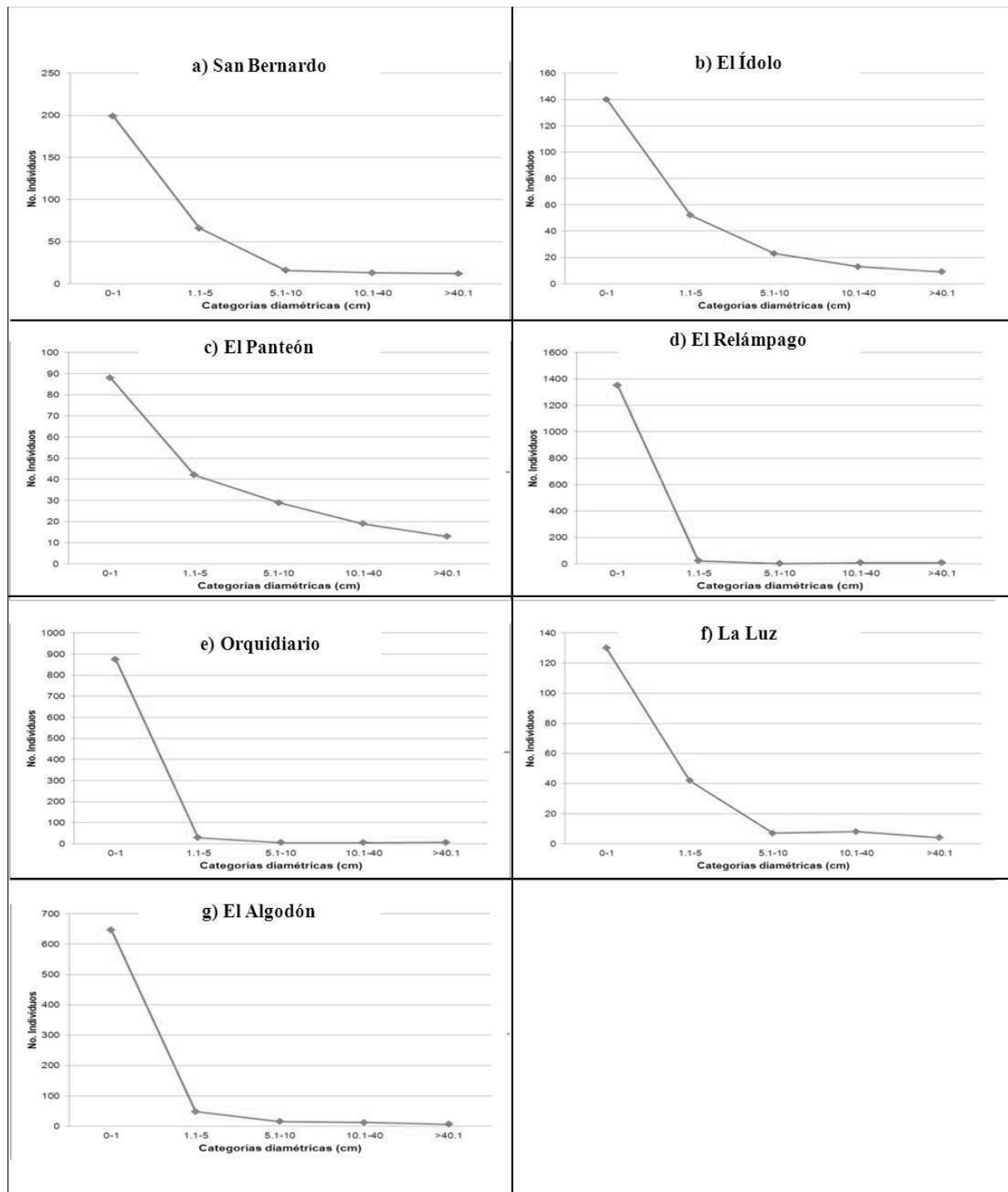


Figura 6. Estructura de tamaños por categoría s diamétricas en las poblaciones.

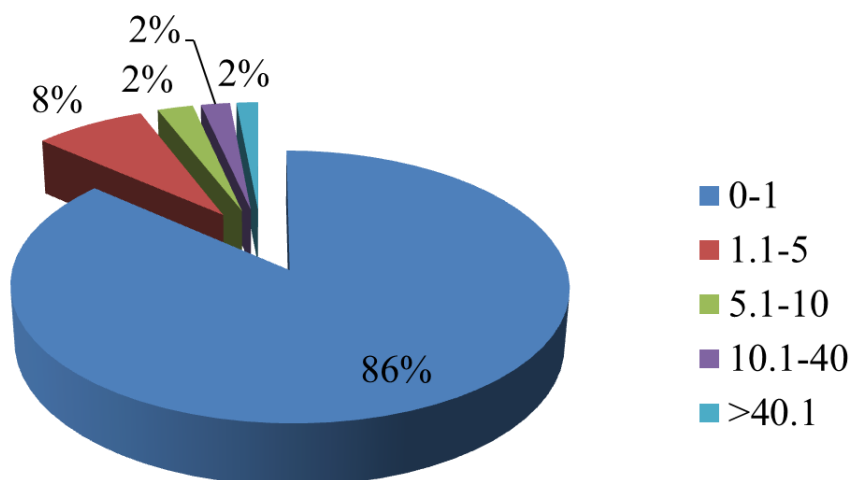


Figura 7. Densidad poblacional total por categoría diamétrica (cm) en las poblaciones de *Oreomunnea mexicana*.

Variables ambientales asociados a la ocurrencia de *Oreomunnea mexicana*

Regresión lineal múltiple con el método Stepwise de variables geográficas y fisiográficas

El análisis de regresión múltiple muestra en general que las variables fisiográficas y geográficas ($R^2 = 0.74$; $P \leq 0.05$) tuvieron un efecto significativo en la presencia de *O. mexicana*. Por otro lado, las variable utilizadas en el análisis que influyeron de manera significativa o con una menor probabilidad de rechazo ($P \leq 0.05$), fueron la latitud ($P \leq 0.004$) y la altitud ($P \leq 0.003$), y en menor medida la longitud ($P > 0.56$), exposición ($P \leq 0.83$) y pendiente ($P \leq 0.25$) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Resultados del Análisis de Regresión lineal múltiple de variables geográficas y fisiográficas

	$\bar{X} (\pm \text{Desvestí})$	Estimador	error	$P \leq 0.005$
Intercepto	0 (± 0)	-1.84	474.47	0.103
Latitud	780318.36 (± 2718.30)	5.07	0.002	0.004
Longitud	1948880.49 (± 3220.81)	0.599	0.002	0.56
Altitud	1660.94 (± 200.07)	2.02	0.02	0.003
Pendiente	27.58 (± 7.723)	1.23	0.05	0.25
Exposición	2.47 (± 1.40)	-2.212	0.505	0.83

Resultados de análisis de variables edáficas

El análisis de los componentes químico del suelo indica una afinidad edáfica por suelos con altos contenidos de intercambio catiónico (C.I.C.), de materia orgánica (M.O.) y una baja concentración de cationes de magnesio (Cuadro 9). El sitio con ausencia de *O. mexicana*, presenta diferente composición de magnesio y sodio, sugiriéndolos como factores limitantes de su distribución a lo largo del bosque de niebla. En la figura 8 se observa gráficamente el comportamiento de los componentes químicos del suelo, y se puede observar una tendencia semejante en la figura 8a, 8b y 8c, siendo estas las poblaciones donde se encuentra *O. mexicana* y en la figura 8d donde no existe presencia de *O. mexicana* se observa una diferencia en las concentraciones de magnesio. En la comparación múltiple que se muestra en el cuadro 11 de la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para determinar las diferencias significativas de los elementos del suelo, se encontraron diferencias significativas entre los diferentes elementos del suelo ($D = 0.62$; $P \leq 0.001$).

Cuadro 10. Resultados del análisis químico de los elementos edáficos.

Sitios	pH	M.O. (%)	C.I.C. (cmol kg-1)	Ca ²⁺ (cmol kg-1)	Mg ²⁺ (cmol kg-1)	K ⁺ (cmol kg-1)	Na ⁺ (cmol kg-1)	DA (g/cc)	DR (g/cc)
Ídolo	3.60	6.20	13.54	6.53	1.59	0.19	0.39	0.83	2.01
S. Bernardo	3.55	7.98	13.73	6.26	1.08	0.32	0.53	0.78	2.14
Orquidiario	3.73	5.20	14.53	5.20	1.92	0.22	0.44	1.01	2.38
S/O	3.74	8.30	15.88	5.90	4.12	0.32	0.71	0.76	2.06

pH: potencial hídrico, %M.O.: porcentaje de materia orgánica, C.I.C.: capacidad de intercambio catiónico, Ca²⁺: catión de calcio, Mg²⁺: catión de magnesio, K⁺: catión de potasio, Na⁺: catión de sodio, DA: densidad aparente, DR: densidad real. S/O: sin presencia de *O. mexicana*.

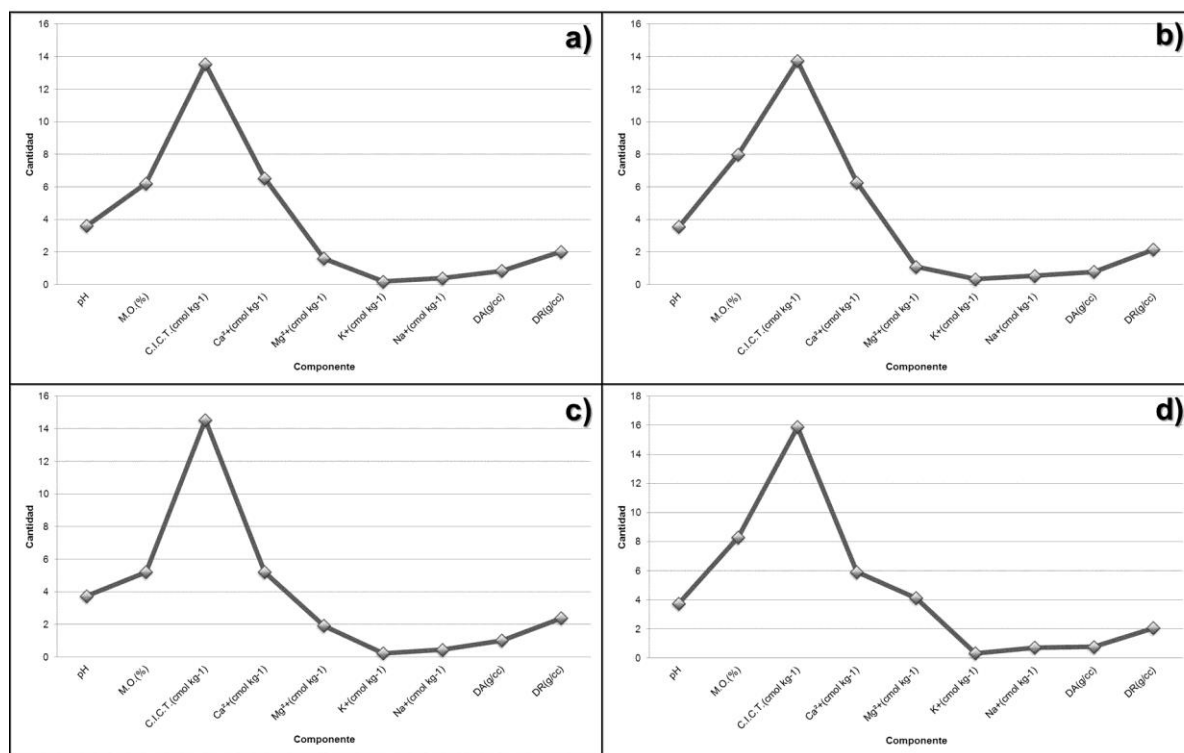


Figura 8. Concentración de los componentes químicos del suelo de las poblaciones de *Oreomunnea mexicana*. a). Población El Ídolo; b). Población San Bernardo; c). Orquidiario; d). Población control sin *O. mexicana*.

Cuadro 11. Prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S) de comparación de elementos edáficos entre poblaciones ($P \leq 0.005$).

Diferencias	q	P
Entre poblaciones	0.62	≤ 0.001

Análisis de Marginalidad y tolerancia de la especie

El análisis del índice de marginalidad indicó un efecto directo de las variables ambientales (climáticas y geográficas) sobre la abundancia de *O. mexicana* (Cuadro 10). Se obtuvo un índice de variación de la abundancia (inercia) significativo de 13.09 ($P \geq 0.02$), un índice de marginalidad (OMI) significativamente bajo de 2.62 % ($P \geq 0.002$) y una tolerancia o amplitud del nicho (T1) significativamente baja 11.41 % ($P \geq 0.02$); y el índice de tolerancia residual de 10.06 % ($P \geq 0.02$), indica el porcentaje que el modelo no puede explicar (Cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis de marginalidad de variables climáticas y geográficas.

Especie	Inercia	OMI (%)	T1 (%)	T2 (%)
<i>Oreomunnea mexicana</i>	13.09	2.621	0.141	10.06

En la figura 9A todos los puntos se ubicaron dentro del centroide, cercanos al punto de gravedad que engloba el 90% de la abundancia de *O. mexicana*, y tienen condiciones ambientales similares. Las variables ambientales que tuvieron un mayor efecto en la abundancia de la especie fueron la precipitación del mes más seco (PP_MES_MAS_SECO) Y la precipitación del mes más frío (PP_MES_MAS_FRIO), la temperatura media del trimestre más frío (T_MED_TRIMESTRE_MAS_FRIO), la temperatura mínima del mes más frío (T_MIN_MES_MAS_FRIO) y la altitud (ALTITUD) (Figura 9B).

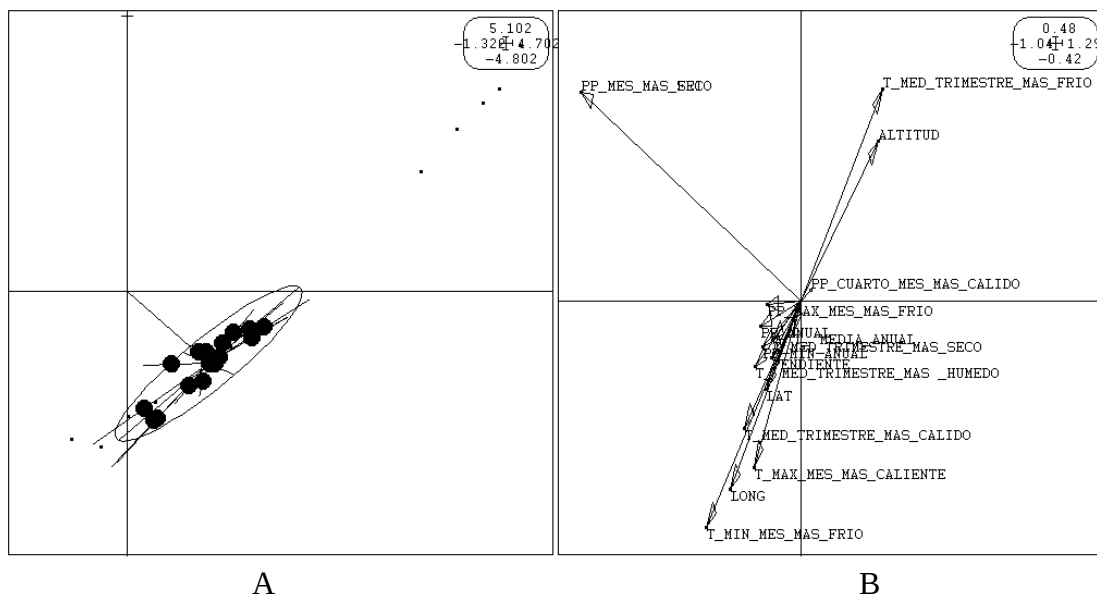


Figura 9. Pesos canónicos de las variables ambientales. La longitud de la flecha describe la importancia relativa en el análisis de cada variable, y la dirección de la flecha indica la correlación entre las variables; para las abreviaturas de las variables ambientales, véase el cuadro 1.

Distribución potencial actual y futura de *Oreomunnea mexicana* bajo una proyección de cambio climático

El área de distribución potencial actual obtenida fue de 93,180 km², distribuida principalmente en tres estados (Veracruz, Oaxaca y Chiapas). Esta distribución coincide con la distribución del bosque de niebla, ecosistema en el que se distribuye la especie (Figura 10a, Cuadro 5). Bajo el escenario B1 (incremento de 1 °C) de cambio climático el modelo estimó el área de distribución de *O. mexicana* para el año 2050 de 39,135.6 km² (un decremento del 58%), mientras que para el escenario A1B (un incremento del 2.4 °C) el área fue de 25,158.6 km², es decir un decremento del 73% (Figura 10b y c, Cuadro 13).

La proyección realizada para el año 2080 bajo los dos escenarios de cambio climático, el área de distribución potencial de la especie se redujo drásticamente. En el escenario B1 (incremento de 1.8 °C) el área de distribución del nicho ecológico disminuyó a 27,022.2 km² (un decremento del 71 %) y para ese escenario A1B (incremento de 2.4 °C) el área fue de 11,181.6 km² (un decremento del 88%) (Figura 10d y e, Cuadro 13).

En la validación de los modelos se obtuvo un valor de *Ji-cuadrada* de 167.22 ($P < 0.05 = 7.54 \times 10^{-10}$). Un valor del error de comisión bajo (4.19) y un valor moderadamente alto del valor de omisión (11.64).

Cuadro 13. Área de distribución potencial actual y futura para los diferentes escenarios de cambio climático.

Periodo	Escenario	Área estimada (km ²)	Área perdida (km ²)	% conservado
2000	-	93180	0	100
2050	B1 (1.8°C)	39135.6	54044.4	42
2050	A1B (2.4°C)	25158.6	68021.4	27
2080	B1 (1.8°C)	27022.2	66157.8	29
2080	A1B (2.4°C)	11181.6	81998.4	12

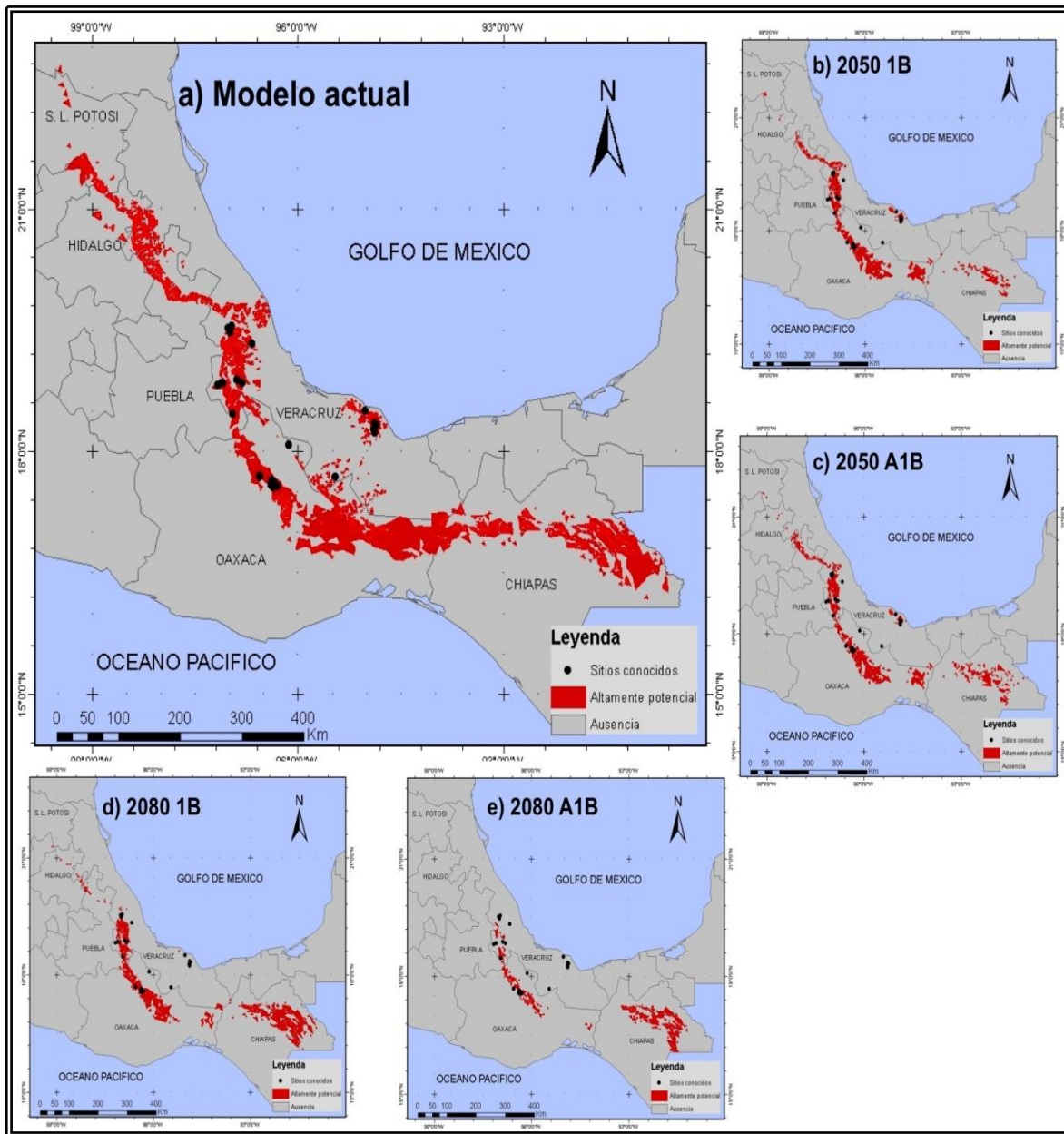


Figura 10. a) Distribución del nicho ecológico actual de *Oreomunnea mexicana* en la república mexicana. b) proyección para el año 2050 con escenario de cambio climático (CC) B1. c) Proyección para el año 2050 con escenario de CC A1B. d) Proyección para el año 2080 con escenario de CC 1B. e) Proyección para el año 2080 con escenario de CC A1B.

3.3.2. Genética de *Oreomunnea mexicana*

Extracción de ADN, amplificación y secuenciación de microsatélites

A 175 individuos de siete poblaciones *O. mexicana* se les extrajo ADN (25 individuos por población) de alto peso molecular y baja cantidad de productos de degradación (Figura 11a). Asimismo, se amplificó el total de los individuos extraídos con siete microsatélites, de los cuales solo cuatro (*ccmp1*, *ccmp2*, *ccmp5* y *ccmp7*) presentaron polimorfismo (Cuadro 14) para la especie, obteniéndose un producto de amplificación de PCR (Figura 11b).

En total se identificaron dos alelos para el microsatélite *ccmp1*, cuatro para el microsatélite *ccmp2*, once para el microsatélite *ccmp5* y dos para el microsatélite *ccmp7*. En el cuadro 15 se muestra el tamaño (pares de bases) de cada alelo identificado para cada uno de los microsatélites.

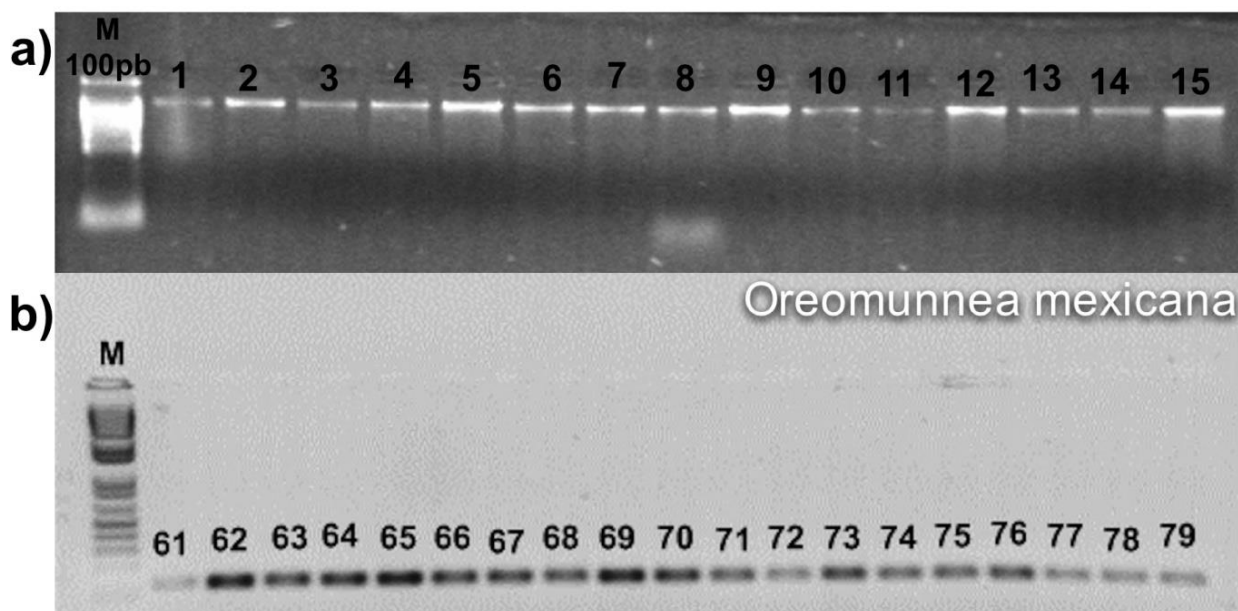


Figura 11. a) ADN extraído de 15 individuos de *Oreomunnea mexicana* con el protocolo DNeasy Plant Kit Qiagen (1999). b) Muestras ADN amplificado con el primer *ccmp1*.

Cuadro 14. Listado de microsatélites de cloroplasto (cprSSR) probados en *Oreomunnea mexicana*.

Marcadores (cmSSR)	Amplificados
<i>Ccmp1</i>	Polimórfico
<i>Ccmp2</i>	Polimórfico
<i>Ccmp3</i>	Monomófico
<i>Ccmp4</i>	Monomófico
<i>Ccmp5</i>	Polimórfico
<i>Ccmp7</i>	Polimórfico
<i>Ccmp10</i>	Monomófico

Cuadro 15. Número y tamaños de alelos identificados (pb) para los microsatélites polimórficos.

No. alelo	Marcadores (cpSSR)			
	<i>ccmp1</i>	<i>ccmp2</i>	<i>ccmp5</i>	<i>ccmp7</i>
1	129	213	113	134
2	130	220	162	132
3	-	221	163	-
4	-	214	130	-
5	-	-	112	-
6	-	-	143	-
7	-	-	131	-
8	-	-	114	-
9	-	-	112	-
10	-	-	142	-
11	-	-	151	-

Diversidad alélica y genética.

De los cuatro loci polimórficos se obtuvo un número total de 19 alelos totales (A_T) y $4.7 (\pm 4.1)$ alelos promedio (A_m). La población ubicada en El Relámpago municipio de Santiago Comaltepec presentó el mayor número de alelos ($A_o = 17$); mientras que la población del Ídolo ($A_o = 11$) tuvo el menor número de alelos (Cuadro 15). El promedio de alelos totales en todas las poblaciones fue de $A_o = 13.71 (\pm 1.96)$ (Cuadro 16). Asimismo, no se encontró ningún alelo exclusivo en ningún locus y/o población.

Cuadro 16. Número de alelos totales identificados por locus para los 175 individuos muestreados de las siete poblaciones. A_T = alelos Totales, A_m = Promedio de alelos.

Microsatélites (locus)	<i>Ccmp1</i>	<i>Ccmp2</i>	<i>Ccmp5</i>	<i>Ccmp7</i>
Número de individuos	175	175	175	175
Número de alelos	2	4	11	2

Cuadro 17. Número de alelos por locus y por población.

	<i>ccmp1</i>	<i>ccmp2</i>	<i>ccmp5</i>	<i>ccmp7</i>	Total
San Bernardo	2	4	7	1	14
El Ídolo	2	3	5	1	11
El Panteón	2	4	6	2	14
El Relámpago	2	4	9	2	17
Orquidiario	2	4	8	1	15
La Luz	2	4	4	2	12
El Algodón	2	3	6	2	13
Promedio	2 (± 0)	3.71 (± 0.48)	6.0 (± 2.1)	1.51 (± 0.53)	13.71 (± 1.96)

La diversidad genética de Nei promedio total fue de $h_T = 0.435 (\pm 0.050)$ y el índice de Shannon global fue de $I = 0.819 (\pm 0.109)$ (Cuadro 18). Entre las poblaciones El Relámpago presentó el índice de Shannon y de diversidad de Nei más elevado ($1.065 (\pm 0.340)$ y $0.550 (\pm 0.134)$), por el contrario el que presentó el valor más bajo fue el Ídolo con valores de índice de Shannon de $0.646 (\pm 0.315)$ y de diversidad genética de $0.35 (\pm 0.168)$ (Cuadro 18).

Cuadro 18. Diversidad genética de *Oreomunnea mexicana*, Índice de Shannon e índice de diversidad genética de *Nei*.

Población	<i>I</i>	<i>h</i>
San Bernardo	0.811 ($\pm$ 0.335)	0.43 ($\pm$ 0.157)
El Ídolo	0.646 ($\pm$ 0.315)	0.35 ($\pm$ 0.168)
El Panteón	0.952 ($\pm$ 0.304)	0.517 ($\pm$ 0.143)
El Relámpago	1.065 ($\pm$ 0.340)	0.550 ($\pm$ 0.134)
Orquidiario	0.761 ($\pm$ 0.410)	0.362 ($\pm$ 0.174)
La Luz	0.690 ($\pm$ 0.207)	0.392 ($\pm$ 0.117)
El Algodón	0.807 ($\pm$ 0.274)	0.445 ($\pm$ 0.121)
Promedio	0.819 ($\pm$ 0.109)	0.435 ($\pm$ 0.050)

Índice de Shannon's (*I*), Diversidad genética (*h*),

Estructura genética

Los resultados del AMOVA mostraron que el 86 % de la variación molecular de *O. mexicana* se encontró dentro de las poblaciones (86 % $P < 0,001$) mientras que la variación entre las poblaciones fue de 14 % $P < 0,001$ (Cuadro 19). El índice de fijación poblacional (F_{ST}) fue de 0.152, lo que indicó que hay una baja diferenciación genética entre poblaciones según Wright (1978) y el flujo génico fue de 2.790.

Cuadro 19. Análisis de la varianza molecular (AMOVA) dentro de y entre las poblaciones de *Oreomunnea mexicana*.

Análisis de AMOVA	<i>gl</i>	Suma de cuadrados	Desv. Est.	Variación	% de variación	<i>Nm</i>	F_{ST}	<i>P</i>
Entre poblaciones	6	227.440	37.907	1.207	14%			
Dentro de poblaciones	168	1297.920	7.726	7.726	86%	2.790	0.152	0.0

gl: grados de libertad; *Nm*: flujo genético; F_{ST} : coeficiente de diferenciación genética entre poblaciones; *P*: nivel mínimo de significancia.

Distancias genéticas de las poblaciones de *Oreomunnea mexicana*

En general, las distancias genéticas (Nei, 1978) fueron bajas ($DG = 0.042$ a 0.299), lo cual indicó que los valores de identidad genética fueron relativamente altos (0.701 a 0.958). El valor más bajo en cuanto identidad genética ($IG = 0.701$) lo obtuvieron las poblaciones El Algodón y el Orquidiario, ambas son muy diferentes, lo que indicó que hay una ausencia de lelos compartidos entre éstas. Por lo que puedan estar divergiendo, concordando ambas poblaciones con el nivel más alto de distancia genética (0.299). El valor más alto de identidad genética ($IG = 0.958$) fue para la población El Panteón y la de El Relámpago, sugiriendo que las poblaciones son casi idénticas, concordando con la distancia geográfica, ya que estas están relativamente muy cercanas entre sí, e indicando que las dos poblaciones tienen frecuencias alélicas idénticas en todos los loci (Cuadro 20; Nei, 1978).

Cuadro 20. Matriz de las Distancias Genéticas entre las 7 poblaciones.

DG/IG	SB	EI	EP	ER	Or	LL	EA
San Bernardo (SB)	-	0.821	0.811	0.794	0.914	0.702	0.704
El Ídolo (EI)	0.179	-	0.825	0.848	0.724	0.718	0.797
El Panteón (EP)	0.189	0.175	-	0.958	0.808	0.798	0.866
El Relámpago (ER)	0.206	0.152	0.042	-	0.809	0.890	0.912
Orquidiario (Or)	0.086	0.276	0.192	0.191	-	0.703	0.701
La Luz (LL)	0.298	0.282	0.202	0.110	0.297	-	0.947
El Algodón (EA)	0.296	0.203	0.134	0.088	0.299	0.053	-

La identidad genética de Nei (IG) se presenta sobre la diagonal, y la distancia genética (DG) se presenta bajo la diagonal basada en las distancias genéticas de Nei.

Con las distancias genéticas de Nei se obtuvo un dendograma (Figura 12), que muestra la división de dos ramas grandes que agrupan a todas las poblaciones. En un grupo se agruparon las poblaciones de El Panteón, Orquidiario, La Luz, El Algodón y El Ídolo, con un 55.8% de solidez. Este grupo, se divide su vez en dos subgrupos poblacionales, en donde el primer subgrupo tuvo una distancia genética de 93.7% (El Panteón y el Orquidiario), y el segundo de 74.5% (La Luz y El Algodón). Como un grupo separado se encuentra El Ídolo. En el segundo grupo, sólo agrupa a las poblaciones San Bernardo y El Relámpago.

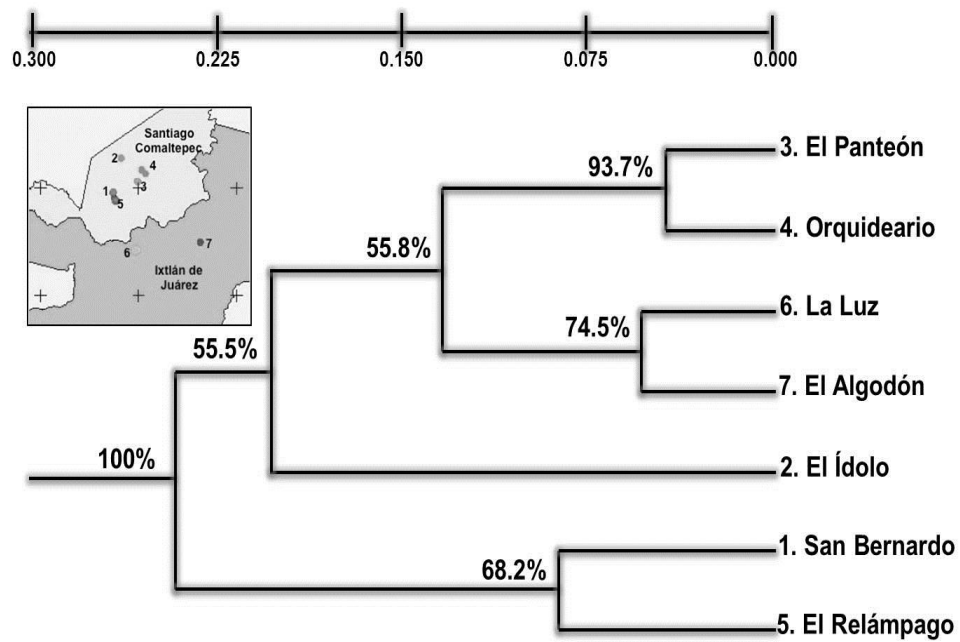


Figura 12. Dendogr ma que muestra las distancias genéticas entre las poblaciones de *Oreomunnea mexicana*.

3.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.4.1. Ecología de *Oreomunnea mexicana*

Identificación de poblaciones

Los resultados obtenidos con respecto a los registros de las poblaciones de *O. mexicana* son de suma importancia para la comunidad científica regional y las comunidades indígenas de la Sierra Norte para fines de conservación *in situ* de la especie. El estudio aportó nuevos registros de las poblaciones en la región del bosque de niebla del distrito de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Los primeros registros de la especie en la zona y su importancia como elemento arbóreo dominante provienen de Rzedowski y Palacios (1977). La especie es una reliquia del Cenozoico, no obstante más allá de comentarios o notas se ignoraba la ubicación de las poblaciones de esta especie en la región, así como los caracteres ambientales y edáficos que pueden estar determinando su establecimiento en esta región.

En el estudio se registraron siete poblaciones para la región de la Sierra Juárez y dos más con difícil acceso, por eso se considera que se conoce a mayor detalle la ubicación de las poblaciones. Navare (1983) reporta que en Veracruz la especie se distribuye en un gradiente altitudinal que va de los 1,100 a los 2,000 msnm, encontrando poca diferencia en los resultados obtenidos en este trabajo, donde las poblaciones se encontraron en un rango altitudinal que va de los 1,300 a los 1,800 msnm.

La distribución de *O. mexicana* encontrada dentro de la región de la Sierra Norte coincide con la distribución del bosque de niebla, la cual es discontinua. El patrón de distribución biogeográfica que se observó en *O. mexicana* ha sido similar al encontrado en otras especies residentes del bosque de niebla o que se encuentran en el ecotono entre el bosque de niebla y la selva tropical subcaducifolia (Cuevas *et al.*, 2008; Vera, 1999; Vázquez *et al.*, 1995; Jardel *et al.*, 1996; Cuevas *et al.*, 2002), como son *Nectandra rudis* C.K. Allen, *Calatolalae vigata* Standley, *Capparis quirrigensis* Standley, *Acer skutchii* Rehder y *Desmopsis trunciflora* (Schldl. y Cham.) G.E. Schatz.

Rzedowski y McVaugh (1966), Axelrod (1975), Rzedowski y Palacios (1977) y Wolfe y Tanai (1987) son trabajos dedicados a estudiar especies relictos del bosque de niebla, y describen

este patrón de distribución como un resultado de diferentes eventos naturales, que dieron lugar a la fragmentación de un tipo de vegetación análogo al actual bosque de niebla que tuvo más distribuido en el Terciario. Los bosque de niebla primigenios de México sufrieron una reducción de su extensión original debido a cambios climáticos y geomorfológicos durante el Plioceno y Pleistoceno (Challenger y Soberón, 1998), a lo cual posteriormente se adicionó la influencia antropogénica. Las poblaciones actuales de *O. mexicana* pueden considerarse como reliquias de una población que tuvo una distribución más amplia en el pasado y su alta susceptibilidad a procesos de cambio ha ocasionado los parches de distribución actuales. Actualmente, se considera que los niveles de disturbio actuales, han podido modificar la abundancia y distribución de la especie en la región. Santiago-Pérez *et al.* (2009) indican que el incremento de la perturbación por actividades antropogénicas, ha causado que algunas de las especies del Bosque de niebla sean altamente vulnerables a la deforestación, causando una disminución en la densidad poblacional, y a largo plazo puede llevarlas a una irreversible extinción.

Estructura espacial

En general, el patrón de distribución espacial encontrado a menor escala poblacional para *O. mexicana* es “agregado” para todos los sitios. Sin embargo, cuando el análisis se realizó de forma independiente para cada una de las categorías diamétricas se encontró que los tres patrones espaciales de distribución se ajustan a la distribución de los individuos (aleatorio, regular y agregado), siendo la clase diamétrica 0.1 a 1.0 cm la que presenta una distribución espacial agregada, mientras que en categorías mayores la tendencia es un patrón aleatorio, con tendencia a regular conforme se incrementa la distancia.

Ledo *et al.* (2012a y 2012b) sugiere que para los bosques tropicales y templados se observa una tendencia hacia la regularidad y aleatoriedad a escalas grandes (amplias extensiones de bosques), pero que conforme la escala disminuye, la tendencia del patrón de distribución espacial es en agregados (como en el caso de estudio de este trabajo, tratándose de pequeños parches de *O. mexicana*). Condit *et al.* (2000), Lawes *et al.* (2008), Picard *et al.* (2009) han encontrado en sus trabajos esta tendencia y se ha asociado a factores como heterogeneidad micro climática, edáfica (García, 2006) y/o topográfica (Linzaga-Román *et al.*, 2011), historia de vida

de la especie (Boll *et al.*, 2005), interacciones bióticas interespecíficas como competencia y denso-dependencia (Manabe *et al.*, 2000) y la aparición de perturbaciones o claros en el dosel del bosque que liberan espacio apto para nuevo establecimiento y/o crecimiento de individuos (Rozas y Prieto, 1998).

En cuanto a la distribución agregada de las clases diamétricas, la clase 1 (0.1 a 1.0 cm) de *O. mexicana* esta se atribuye a varios factores, empezando por la manera en que *O. mexicana* regenera sus poblaciones combinando la reproducción sexual (producción de semilla) y la propagación clonal, está última a través de individuos nuevos (ramet) generados a través del rizoma, idénticos genéticamente y fisiológicamente conectados a su progenitor pero potencialmente independientes (de Kroon y van Groenendael, 1997). El patrón de agregación es común en plantas clonales (Carrillo-Angeles y Mandujano, 2011) en categorías pequeñas, como lo es en *O. mexicana*. Por ejemplo, Burke *et al.* (2000) sugiere que los ramets producidos por el mismo o diferente progenitores tienen a agregarse en parches, pues el crecimiento clonal facilita a los ramets a obtener recursos para su supervivencia y crecimiento en micro-ambientes heterogéneos, a través de la colonización de áreas adyacentes (Hutchins y Wijesinghe, 1997), algo semejante podría sugerirse para la especie en estudio.

Al contrario, la agregación de los individuos pequeños de origen sexual presente en esta categoría pueden ser producto de una dispersión por semilla a distancias cortas (Boll *et al.*, 2005). *O. mexicana* parece dispersarse a través del viento pero se desconoce el alcance de dispersión de la especie y si existe otro agente dispersor. Sin embargo, los patrones de agregación de las plántulas podría estar en función de los gradientes de precipitación, nutrientes del suelo y topográficos que presentan los sitios en que se encuentran las poblaciones, en otras palabras la disponibilidad de microhábitat favorables para su establecimiento, estudios futuros sobre dispersión de semillas y establecimiento de plántulas son necesarios para comprender patrones espaciales de *O. mexicana*.

Por otro lado, para las clases de tamaño adultos la existencia de una distribución espacial uniforme o aleatoria está en concordancia con los resultados obtenidos en especies de árboles de bosques de niebla (Brenes-Cambronero y Di Stéfano, 2006; Lawton y Lawton, 2010) y templados (Rozas y Prieto, 1998). Los resultados de estos trabajos y del presente demuestran que el patrón mayoritario para los árboles pertenecientes a las clases diamétricas mayores es el

aleatorio y/o uniforme, está tendencia de cambiar de patrones de agregados a regular y/o aleatorio en diferentes estadios en la vida de una especie es interpretada como un proceso denso dependiente (Rozas y Prieto, 1998). En la cual, la mortalidad se da en zonas donde hay alta densidad de individuos pequeños o juveniles, la cual produce mayores distancia entre los árboles supervivientes (Rozas y Prieto, 1998; Brenes-Cambronero y Di Stéfano, 2006). Estudios en la especie de bosque de niebla *Didymopanax pittieri* en Monteverde, Costa Rica, mostraron un cambio de patrón espacial agregado en categorías pequeñas de 5 a 10 cm de DAP a aleatorio en categorías adultas debido a la mortalidad de los pequeños en zonas de alta densidad (Lawton y Lawton, 2010), en *O. mexicana* este proceso puede ocurrir entre individuos de propagación clonal como de origen sexual.

Asimismo, se ha observado que en especies tolerantes a la sombra como *O. mexicana* (Rollet, 1980; Vargas-Rodríguez y Platt, 2012), la formación de claros en el bosque producidos por caída de ramas o árboles completos es necesario para el crecimiento y establecimiento de los individuos de origen sexual o vegetativo (de Kroon y van Groenendael, 1997; Brenes-Cambronero y Di Stéfano, 2006). Este último método de regeneración asegura el rápido y efectivo mantenimiento de las poblaciones en un medio natural poco favorable para el establecimiento de semillas (Brenes-Cambronero y Di Stéfano, 2006), como lo es para una especie tolerante a la sombra como *O. mexicana*. En los sitios investigados se encontró que la caída de árboles completos de más de 30 m de altura y 2 metros de DAP, posteriores al registro de fuertes vientos y lluvias, puede deberse que *O. mexicana* presentan un sistema radicular muy superficial en un suelo muy poco profundo, que le dificulta mantener su peso enorme en pie, permite la apertura de claros de manera frecuente. No obstante, es necesario un estudio para entender como la frecuencia y los tamaños de la apertura de claros facilitan la regeneración de la especie a través del tiempo.

Estructura de tamaños

El comportamiento poblacional de la estructura de tamaños de *O. mexicana* fue de *J-invertida*. Dicha estructura poblacional sugieren la existencia de regeneración favorable para las especies (Leal-Pinedo y Linares-Palomino, 2005). Asimismo, la curva de *J-invertida* (clases diamétricas

más representadas) son comunes de sistemas maduros y estables (Mwima y McNeilage, 2003). Este tipo de estructura también se ha encontrado en especies relicto de bosques de nieblas (Vargas-Rodríguez y Platt, 2012). Para la especie de estudio sugiere un dinamismo regenerativo de las poblaciones a través de regeneración sexual y clonal, con una disminución de la mortalidad a medida que va aumentando el tamaño de los individuos típica de este tipo de distribución (de Souza *et al.*, 2010)

Así mismo, las estructuras de tamaño de *J-invertida* en las siete poblaciones de *O. mexicana* denotan un establecimiento de plántulas producidas por semillas, pero también de ramets pequeños que deben estar jugando un papel importante en el establecimiento de la especie. Observaciones de campo indican que el 86% de los individuos de la categoría 1 del total de todos los individuos encontrados en las 7 poblaciones menos del 15% son individuos de origen sexual (Figura 6). La gran cantidad de plántulas producidas por crecimiento clonal, indica que la estructura de *J-invertida* encontrada en el estudio tiene una alta probabilidad de muerte al pasar a la siguiente categoría de acuerdo a Brenes-Cambronero y Di Stéfano (2006). Esto debido a que los individuos producidos vía raíz tienen que competir entre ellos con los mismos recursos que su planta madre (Peterson y Jones, 1997; Alfonso-Corrado *et al.*, 2007), por recursos del suelo (Brenes-Cambronero y Di Stéfano, 2006) y de mayores ataques de herbívoros o enfermedades (Peterson y Jones, 1997; Alfonso-Corrado *et al.*, 2007).

Así mismo, en este tipo de bosque, donde la luz puede ser un factor crítico, también afecta las posibilidades de que las plántulas se establezcan y sobrevivan. Se sugiere que la probabilidad de que los individuos provenientes de crecimiento clonal tienen una supervivencia alta, debido a la gran cantidad de rebrotes. Este comportamiento facilita la rápida propagación de la especie y asegura el mantenimiento de las poblaciones naturales en un medio poco favorable (Peterson y Jones, 1997; Brenes-Cambronero y Di Stéfano, 2006). Un estudio demográfico realizado en bosque templado en dos especies de encinos indica que en la tasa vital, la clonalidad es más importante que la reproducción sexual, ya que es más económica de producir y menos costosa en asignación de recursos. Esto facilita un menor costo en el mantenimiento de la estabilidad demográfica de las poblaciones, lo que al parecer es una adaptación de la especie a un ambiente semixerico y/o perturbado (Alfonso *et al.*, 2007).

Por otro lado, de acuerdo con Rollet (1980), las especies tolerantes a la sombra o

esciófitas presentan estructuras diamétricas en forma de *J-invertida* como lo es *O. mexicana*. Sin embargo, esto no sólo tiene que ver con la forma natural del bosque, sino también es producto de las interacciones con comunidades humanas, quienes juegan un papel importante en esta estructura. De esta interacción y la modificación de la estructura poblacional emergen tres factores: (1) por la gestión apropiada y adecuada de cada uno de los actores abocados en la conservación y/o manejo del bosque; (2) por los factores intrínsecos de la especie y sus poblaciones (resiliencia); y (3) una combinación de los factores antes mencionados (Leal-Pinedo y Linares-Palomino, 2005; Molina *et al.*, 2011).

Asumiendo la forma de las estructuras de tamaños en las siete poblaciones analizadas se podría asumir que la especie es estable demográficamente. Sin embargo, no se descarta la latente vulnerabilidad demográfica, principalmente por factores antropogénicos o climáticos, cabe destacar la importancia de realizar un estudio demográfico a futuro que involucre varios años y análisis por métodos matriciales y análisis de perturbación (Caswell, 2001) que permitan obtener una tasa de crecimiento de las poblaciones de la especie y determinar la importancia o el rol que juegan las tasas vitales en la demografía de la especie, sobre todo la clonalidad versus reproducción sexual.

Por último, Lamprecht (1990) sugiere que el tipo de estructura representa una garantía para que una población se mantenga en equilibrio, ya que los individuos de clases altas que son eliminados, son reemplazados por los existentes en las clases inferiores. En este contexto, la dinámica de la estructura de tamaños que se obtuvo de *O. mexicana* sugiere que cuando hay un disturbio y se elimina la copa de los árboles, se presenta una reducción de la competencia sobre los árboles de tamaño medio y pequeño, que les permite crecer, y cuando existe la apertura de claros se favorece con éxito el crecimiento de juveniles, así como la germinación de las semillas.

Variables ambientales que definen la ocurrencia de *Oreomunnea mexicana*

Regresión lineal múltiple con el método Stepwise de variables geográficas y fisiográficas

El factor geográfico principal que determina la abundancia y la distribución de *O. mexicana* es la altitud y latitud de acuerdo al análisis en los siete sitios. Un patrón semejante se ha encontrado en *O. pterocarpa* en Costa Rica especie hermana de *O. mexicana*. De acuerdo a Guerrero-Aguirre (2005) la altitud es la principal variable geográfica que influye en la distribución y abundancia de *O. pterocarpa* la cual presenta un rango altitudinal de 765 a 1,044 msnm en donde su abundancia y densidad se incrementa a medida que el rango altitudinal aumenta, por lo que se sugiere que este factor geográfico es común en el género. Considerando que la altitud y la latitud no pueden ser variables que pueden determinar lo anterior, pero que al cambiar las condiciones ambientales en determinado lugar también cambian, como por ejemplo, la temperatura, la precipitación, la presión atmosférica, etc. Desde el punto de vista de ecosistemas, el bosque de niebla está restringido a un rango altitudinal alrededor de los 1500 msnm, lo cual también ayuda a que la distribución y la densidad de especies e individuos se reduzcan.

La variación de especies de árboles en relación con la altitud y latitud se ha observado en otros bosques de niebla (Challenger y Soberón, 1998). La ausencia y/o presencia de una especie, como su abundancia con relación a la altitud puede deberse a la interacción de factores tan variados como cantidad de precipitación anual, latitud y la pendiente (Vargas-Rodríguez, 2011), pero también pueden ser resultado de cambios transitorios en un pasado reciente o procesos geológicos y/o climáticos de un pasado geológico más antiguo (Challenger, 1998; Challenger y Soberón, 1998), como se sugiere para *O. mexicana*.

Por otro lado, la perturbación antrópica presenta poco impacto de acuerdo al análisis realizado. Esto concuerda con lo mostrado en el cuadro 4, donde solo dos poblaciones El Ídolo y El Relámpago presentaron perturbación antrópica considerable debido a la cercanía de la comunidad de la Luz y que una de ellas está fragmentada por la red de electrificación de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Sin embargo, su impacto en la dinámica poblacional y distribución muestra poco impacto, esto no sugiere que la especie deje de ser vulnerable a la extinción por actividades naturales y antrópicas.

Análisis de Variables edáficas

La característica ácida y la densa capa de mantillo encontrada (superiores a 20 cm) en las muestras de suelo donde se establece *O. mexicana*, son semejantes a los registrados por otros estudios realizados para bosque de niebla. Por ejemplo, Santiago-Pérez *et al.* (2009) analizaron la vegetación de borde en bosques de Niebla y encontraron que había poca variación entre los valores medios de pH y materia orgánica, siendo más ácido conforme se incrementaba la cantidad de materia orgánica. Vergara-Sánchez y Etchevers-Barra (2006) realizaron una evaluación de la relación que existe entre el uso de la tierra y la fertilidad de laderas en la región de la Sierra Norte de Oaxaca y encontraron que el pH en los sistemas forestales secundarios estaban en un rango de 4.8 y 5.0, principalmente en los bosques de liquidámbar, pino y aile, atribuyéndose esto a la composición de materia orgánica depositada en el suelo. Noble *et al.* (2000) atribuye la acidez del suelo a que la concentración de aluminio se incrementa y hay un desplazamiento de cationes, que favorece la lixiviación. El pH bajo en los bosques de niebla puede ser debido a la alta lixiviación que existe en la región, un estudio más formal permitiría probar esta hipótesis.

En Panamá Anderse *et al.* (2010) realizaron un estudio en áreas de bosque de niebla, dentro de las parcelas analizadas *Oreomunnea mexicana* (Juglandaceae) y *Colpothrinax aphanopetala* (Arecaceae) son especies monodominantes. En el análisis químico del suelo que realizaron encontraron que las concentraciones de nitrógeno oscilaron entre 0.6 a 7 g/cm⁻³, de calcio de 40 a 1350 µg/cm⁻³, de magnesio de 20 a 250 µg/cm⁻³ y potasio de 10 a 100 µg/cm⁻³. Dichas variaciones es atribuido por las diferencias en el pH, que oscilaban entre < 4 (sitios con bajas concentraciones de cationes) a > 5 (sitios con altas concentraciones de cationes).

Comparando sus resultados a los obtenidos en este estudio, los valores de pH están dados para un valor promedio de 3.6, indicando que se trata de sitios con bajas concentraciones de cationes. Por otro lado, las concentraciones promedio de calcio (5.9 cmol kg⁻¹), magnesio (1.5 cmol kg⁻¹), potasio (0.24 cmol kg⁻¹) y sodio (0.45 cmol kg⁻¹) son muy semejantes, sugiriendo que las características químicas del suelo son propias del ecosistema.

La concentración baja de magnesio registrada para los sitios de *O. mexicana*, puede ser una característica que influye en la distribución de la especie, siendo este elemento un componente importante en la fotosíntesis. En un estudio realizado para *Nectandra salicifolia*

(Humb., Bonpl. y Kunth), una especie rara de bosque de niebla, que a diferencia de *O. mexicana*, su establecimiento se ve favorecida por la presencia de magnesio soluble, elemento que es parte de la molécula de la clorofila, e influye en el incremento de las tasas de fotosíntesis y absorción de otros nutrientes (Cuevas *et al.*, 2008). Una baja concentración de magnesio puede limitar el crecimiento de las plántulas en los suelos forestales (Burslem *et al.*, 1996; Vargas-Rodríguez, 2011), considerando esto último, se sugiere que *O. mexicana*, es una especie tolerante y eso facilita su dominancia sobre otras especies, en sitios con bajas concentraciones de magnesio.

Análisis de Marginalidad y tolerancia de la especie

El análisis del índice de marginalidad indica un efecto directo de las variables ambientales (climáticas y geográficas) sobre la abundancia de *O. mexicana* (Cuadro 10). El análisis indica que la especie presenta una amplitud de nicho muy estrecha, dicho en otras palabras presenta especificidad a ciertas variables climáticas y geográficas lo que concuerda con otras especies relictos de bosque de niebla (Contreras-Medina *et al.*, 2010), o especies endémicas (Boulangeat *et al.*, 2012; Vieilledent *et al.*, 2013).

Por ejemplo, una especie de baobab de Madagascar (*Adansonia suarezensis*) presenta un nicho muy estrecho, dado por condiciones climáticas muy específicas las cuales determinan su abundancia y distribución a pocas áreas. Entre sus condiciones climáticas de especificidad están las variables ambientales como el rango de precipitación de 1,100 a 1,300 mm al año y las temperaturas anuales más elevadas (24 a 27 °C) (Vieilledent *et al.*, 2013). Algo similar ocurre con *O. mexicana*, ya que presenta especificidad a ciertas variables ambientales principalmente en precipitación y temperatura, como precipitación del mes más seco (PP_MES_MAS_SECO), la precipitación del mes más frío (PP_MES_MAS_FRIO), la temperatura media del trimestre más frío (T_MED_TRIMESTRE_MAS_FRIO), la temperatura mínima del mes más frío (T_MIN_MES_MAS_FRIO), pero también a las variables geográficas, principalmente la altitud (ALTITUD) (Figura 8B).

Por lo anterior, según Boulangeat *et al.* (2012), ante la existencia de un nicho ecológico de amplitud estrecho originado por variables ambientales, *O. mexicana* podría ser considerada una especie especialista. Teóricamente las especies especialistas son especies dominantes en las

comunidades donde se encuentran establecidas (Boulangeat *et al.*, 2012), como se ha reportado para *O. mexicana* en el bosque de niebla de Veracruz (William-Linera *et al.*, 2012), para su especie hermana *O. pterocarpa* en Costa Rica (Guerrero-Aguirre, 2005) que concuerda con lo encontrado en el presente estudio. Su dominancia puede ser explicada por su gran adaptación a condiciones ambientales muy específicas, que aunque las limitan a un área muy restringida de distribución en el espacio ecológico, localmente son fuertes competidores contra otras especies generalistas (Wisheu, 1998), lo que hace que se conviertan en una especie dominante del área que ocupan (Boulangeat *et al.*, 2012).

Asimismo, las especies especialistas se pueden localizar en ambientes extremos (*i.e.*, ambientes salinos) (Boulangeat *et al.*, 2012) o en regiones con alta heterogeneidad ambiental (Boulangeat *et al.*, 2012; William-Linera *et al.*, 2012), como los bosques de niebla (William-Linera *et al.*, 2012). Esto implica que las especies del bosque de niebla experimentan una amplia gama de condiciones ambientales en un territorio, algo muy común de este tipo de bosque que tiene un patrón de distribución fragmentada y restringido a islas en el paisaje del territorio Mexicano, siendo sistemas residuales de bosques más extensos que existieron antes del Plioceno hace 5.3 millones de años (Vázquez *et al.*, 1995) y son refugios ecológicos (Halffter, 1987), de biota neártica y neotropical, lo cual se aplica a la distribución de *O. mexicana*.

Por otro lado, se ha visto que las principales variables climáticas que están espacialmente autocorrelacionadas en especies especialistas, son principalmente la temperatura y la precipitación las cuales están fuertemente relacionadas al rango altitudinal, y es en este contexto son especies más propensas a tener una distribución restringida, debido a su estrecha tolerancia de las variables ambientales (Boulangeat *et al.*, 2012), resultados concuerdan con el OMI para *O. mexicana* en las variables ambientales de temperatura y precipitación antes mencionadas.

Distribución potencial actual y futura de *Oreomunnea mexicana*

En el 2012 Rojas-Soto *et al.*, realizaron un trabajo donde modelaron la distribución actual y el cambio del nicho ecológico del bosque de niebla para México ante dos escenarios de cambio climático para el año 2050 (A2 = incremento de 3.4°C y B2 = incremento de 2.2°C). Para este estudio, utilizaron registros de 20 especies, tanto de fauna como de flora (entre ellas *Oreomunnea*

mexicana) que se concentran en el mapa de bosque primario, en particular a lo largo de la Sierra Madre Oriental, empleando tres software de modelaje. Entre ellos usaron el GARP, con el cual se obtuvo una extensión del bosque actual de 86'946 km². Esto contrasta con el modelado de cambio climático, ya que el escenario bajo A2 un 54% y un 76% bajo B2 de la superficie actual de bosque nublado desaparecerán. Dichos resultados son muy semejantes a los obtenidos por este trabajo empleando escenarios más optimistas, en donde se obtuvo una extensión de 93'180 km² de la posible distribución actual del nicho ecológico de la especie, y una disminución del nicho ecológico de la especie del 58% para el escenario B1 (incremento de 1.8°C) y un 73% para el escenario A1B (incremento de 2.8°C) para el año 2050.

Para el año 2080 se estimó una reducción del 71% (B1) y del 88% (A1B), mientras que Ponce-Reyes *et al.* (2012) estimaron una pérdida del 87 % del área de las zonas climáticamente aptas para el bosque de niebla con el escenario A1B. En forma general, la tendencia futura es que el bosque de niebla disminuirá, sin embargo un aspecto relevante que arroja el estudio que las poblaciones de Oaxaca tendrán la mayor permanencia ante los efectos del cambio climático. La conservación de este ecosistema resulta por tal motivo prioritaria para la conservación de la biodiversidad. Ponce-Reyes *et al.* (2012) indican que un área clave para la protección inmediata es la Sierra de Juárez en Oaxaca, debido que esta área soporta a muchas especies endémicas y se espera mantener relativamente grandes fragmentos de bosque nublado a pesar del cambio climático acelerado. Lo anterior se debe a los cambios de temperatura que se puedan generar, las condiciones de persistencia de la especie se mantendrán, sin embargo, se debe de considerar la tasa de cambio en la cobertura vegetal, ya que existirán las condiciones termales para su ocurrencia, pero no la vegetación asociada. El esquema de protección y conservación comunitario que se realiza en la región resulta prioritario para el mantenimiento de este ecosistema, particularmente considerando que a nivel nacional sólo < 1% (aproximadamente 160 km²) de bosque de niebla se encuentra representado en las áreas naturales protegidas (Ponce-Reyes *et al.*, 2012).

Los resultados de este estudio indican que el bosque de niebla es un ecosistema en riesgo de extinción bajo los cambios ambientales que puede producir el cambio climático. Como consecuencia, siendo *O. mexicana* una especie vinculada a las características climáticas y geográficas del bosque de niebla, se vuelve susceptible al riesgo de extinción, junto a una pérdida

de aproximadamente el 70% de las especies de vertebrados (Pounds *et al.*, 1999; Still *et al.*, 1999; Téllez-Valdez *et al.*, 2006; Ponette-González *et al.*, 2010; González-Espinoza *et al.*, 2012; Ponce-Reyes *et al.* 2012; Rojas-Soto *et al.*, 2012). Bajo el contexto de los efectos de cambio climático, las especies relictos un grupo biológico muy susceptible, trayendo grandes cambios estructurales en las comunidades naturales, principalmente por el incremento del estrés hídrico y las temperaturas, llevándolas hasta el punto de extinción (Rodríguez-Sánchez, 2011).

Para evitar la disminución del ecosistema es necesario realizar acciones que contribuyan a la disminución de la vulnerabilidad del ecosistema ante el cambio climático, pero principalmente evitar la pérdida del ecosistema por el cambio de uso de suelo. Se hace evidente además, un grave desajuste espacial entre las áreas protegidas en la actualidad y los que probablemente se mantendrá después del cambio climático a corto plazo y ofrece elementos para la toma de decisiones para el decreto de nuevas áreas naturales protegidas de carácter regional y estatal, como las emprendidas por las comunidades de la región que requieren incentivos, estudios y formación para una correcta conservación.

3.4.2. Genética de *Oreomunnea mexicana*

Extracción de ADN, amplificación y análisis de microsatélites

La extracción de ADN realizado con el protocolo de Kit Plant DNeasy mini Kit de QIAGEN resultó ser una técnica muy eficiente y confiable que permitió obtener material genético de excelente calidad en la especie (Figura 10), este método se ha empleado para la extracción de ADN de plantas de forma eficaz, como por ejemplo *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. y *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Okén (López-Mora *et al.*, 2011), dipterocarpaceae (Rachmayanti *et al.*, 2008), *Juncus* y *Luzula* (Juncaceae) (Drábková *et al.*, 2002), *Cichorium intybus* var. *Foliosum* (Michiels *et al.*, 2003), *Quercus ilex* L. (Echevarría-Zomeño *et al.*, 2012), entre otras especies, géneros y familias.

Diversidad alélica y genética de *Oreomunnea mexicana*

El número de alelos obtenidos en *O. mexicana* de los microsatélites de cloroplasto es semejante al encontrado en otros trabajos utilizados para obtener la diversidad alélica en angiospermas

(Mengoni *et al.*, 2001; Fointane *et al.*, 2004; Ueno *et al.*, 2005). Por ejemplo, en la especie *Silene paradoxa* se encontraron 27 alelos (Mengoni *et al.*, 2001) utilizando cinco microsatélites del cloroplasto, mientras que Fointane *et al.* (2004) encontró 10 alelos utilizando tres microsatélites en la especie *Vitellaria paradoxa*. En *O. mexicana* el número de alelos encontrados fue de 19, esto es similar a lo reportado en la literatura específicamente para angiospermas y con un número de marcadores similares, sugiriendo una diversidad alélica media para este tipo de marcadores. No obstante, debe considerarse que existen pocos estudios publicados sobre la diversidad alélica de marcadores microsatélites de cloroplastos en especies de árboles de angiospermas (Ueno *et al.*, 2005), y están prácticamente ausentes en especie endémicas y relictos en México. Por lo que cabe destacar la importancia de este trabajo, al aportar información de la diversidad alélica de una especie relicto de angiosperma endémica de los bosques de niebla de México y la primera para el género *Oreomunnea* en América.

Asimismo, el número de alelos en *O. mexicana* en las siete poblaciones fue muy similar (en un rango de 11 en El Ídolo a 19 en El Relámpago). En todas las poblaciones analizadas se encontraron individuos de DAP muy grandes y alturas de más de 30 metros de altura que sugiere poblaciones antiguas cohetaneas, lo anterior, aunado la distribución fragmentada podría sugerir una gran meta población y procesos de migración recíproco entre parches que ha permitido la acumulación de mutaciones en estas regiones de cloroplasto que han generaron las variantes alélicas presentes en la actualidad. En la especie rara *Magnolia stellata* en Japón específicamente en la población de Komono, Ueno *et al.* (2005) asocia el mayor número de alelos a la población más antigua (la que se reconoce por tener los árboles más grandes), que le permitió acumular mutaciones y generar el número de alelos presentes en la actualidad.

Asimismo, la diversidad genética dada por la heterocigocidad haplotípica promedio de la especie de $h = 0.435 (\pm 0.050)$ y el del índice de Shannon $I = 0.819 (\pm 0.109)$, indican valores medios de variación comparados con otras especies (Palme y Verdramin, 2002). Los microsatélites utilizados en este estudio brindan información de esta especie y la familia Jungladaceae en América, esta información histórica es muy valiosa para conocer la fitogeografía de una especie del bosque de niebla que ocupó grandes áreas en el pasado y actualmente está reducida a islas distribuidas en la heterogeneidad del paisaje. Es además relevante, ya que indica,

que la especie no presenta valores altos de diversidad genética, por tanto es susceptible a riesgo de extinción si no se toman las medidas correctivas pertinentes para su conservación.

Estructura genética y distancias genéticas

El análisis de la varianza molecular (AMOVA), ha repartido la varianza total en sus componentes intra e inter poblacionales (Cuadro 3). La varianza intra poblacional supone un 85% del total, mientras la inter poblacional es del 14%. Observando poca diferenciación entre las poblaciones o entre los grupos, que se contradice a un resultado clásico para los árboles forestales especialmente angiospermas (Raspé *et al.*, 2000). Este resultado es debido a la herencia materna del ADN del cloroplasto y a que las semillas se dispersan a través de distancias más cortas que el polen (Fointane *et al.*, 2004). En *O. mexicana*, otra explicación posible a este resultado es que los parches conforman una sola población (meta población) ya que las distancias geográficas y genéticas son muy pequeñas (Cuadro 19), algo que también sugiere en el dendograma (Figura 11).

No obstante, las semillas de *O. mexicana* presentan brácteas lobuladas (Russell y Cohn 2012), lo que sugiere que la especie dispersa sus semillas principalmente por viento, probablemente esto explica la poca diferenciación genética entre las poblaciones muy cercanas geográficamente siendo el flujo genético a través de semillas en las poblaciones más cercanas una fuerza homogeneizadora. Un patrón similar es sugerido por Derero *et al.* (2011) en *Cordia africana* donde las semillas se dispersan entre poblaciones homogenizando las frecuencia alélicas de las poblaciones.

Asimismo, las distancias genéticas observada en el dendograma entre poblaciones puede ayudar a confirmar esta hipótesis. Por ejemplo, las poblaciones El Panteón y El Relámpago ($IG = 0.958$), son prácticamente idénticas. No obstante, sería interesante realizar un estudio para ver el alcance de la dispersión de las semillas, ya que El Algodón y el Orquidiario son muy diferentes ($IG = 0.701$), lo que indica una ausencia de alelos compartidos entre éstas, por lo que pueden estar divergiendo debido a los procesos de fragmentación que genera aislamiento entre parches (Hedrick, 2011). La divergencia sugerida entre el Algodón y el Orquidiario también podría sugerir, la existencia de barreras geográficas naturales que impiden el acceso de las semillas y

polen dado lo accidentado del terreno en la que están localizadas todas las poblaciones.

La estimación precisa de la diversidad genética es un prerequisite para optimizar las estrategias de conservación de recursos genéticos en especies forestales y relictos, su conocimiento puede ser obtenido mediante el empleo de técnicas de marcadores moleculares (Ernst *et al.*, 2013), entre los cuales los microsatélites de cloroplasto constituyen un método rápido, eficaz y preciso, como queda demostrado con los resultados obtenidos en el presente estudio.

3.5 Propuesta de conservación *in situ* de *Oreomunnea mexicana* con un enfoque integral desde el punto de vista de la biología de la conservación

La ecología y genética son dos áreas importantes y fundamentales como instrumentos de evaluación en el status de una especie *in situ* en biología de la conservación (Primarck, 2012) y ha quedado de manifiesto en el presente estudio. Aun cuando los sitios presentan algún disturbio antropogénico o no, ya sea porque la accidentada topografía del terreno que dificulta el acceso y al tipo de organización social de las comunidades que garantizan su conservación, la especie es altamente sensible a cambios (nicho ecológico muy específico, baja tolerancia a cambios y alta sensibilidad al cambio climático), lo que puede generar su extinción.

Actualmente las condiciones de modificación antrópica debido a cambio de uso de suelo y los efectos del cambio climático pueden ser los principales factores que influyen en la desaparición de la especie. Estos factores son consistentes con lo reportado por Wolfe y Tanai (1987) y Challenger y Soberón (1998) en la disminución y fragmentación de especies relictos del bosque de niebla, por lo que es necesaria la conservación de áreas con mayor probabilidad de permanencia no solo a nivel estatal sino nacional, aun cuando la temperatura se incremente por el cambio climático.

Oreomunnea mexicana, es una especie emblemática y se encuentra impregnada en la cosmovisión de los habitantes de la región. Esto en sí, facilitaría contemplar y usar a *O. mexicana* como especie bandera, tal como se ha propuesto para *O. pterocarpa* en Costa Rica (Guerrero-Aguirre, 2005). La utilización como especie bandera, no sólo permitiría conservar a la especie en estudio, sino a todas las especies vinculadas a ella y especies de flora y fauna que habiten la

región. Por este motivo, es necesaria una estrategia de conservación *in situ* que sea formulada por las mismas comunidades locales. Para ello, se recurre al paradigma de la biología de la conservación, donde es necesaria la conjugación de diferentes áreas de la ciencia para un mismo bien común, que en este caso es la conservación *in situ* de *Oreomunnea mexicana*.

Actualmente, las poblaciones del El Ídolo y el Orquidiario, por su cercanía a asentamientos humanos presentan un grado considerable de perturbación y deben sujetas a mayor protección por las autoridades locales. A futuro se vislumbra un escenario de cambio de uso de suelo, debido a la ampliación a dos carriles de la carretera 175 Oaxaca-Tuxtepec, esto implicaría un daño severo a por lo menos tres parches relictos de la especie, localizados en el municipio de Santiago Comaltepec y cercanos a la comunidad la Esperanza. Se está a tiempo de prever este desastre para dichos parches y existe gran iniciativa por parte de las comunidades por conservar a la especie.

En la figura 13, se propone una estrategia de conservación representada por la letra G. Esta considera la integración de diversas disciplinas que pertenecen a la biología de la conservación y que en conjunto generan información valiosa para establecer las estrategias de conservación, principalmente involucrando la parte social, que en este caso es representada por las comunidades donde se distribuyen las poblaciones de *O. mexicana*. En las áreas donde interaccionan solo dos de las disciplinas (a, b o c) no garantiza la conservación *in situ*. Sin embargo, se puede generar información valiosa, por ejemplo información básica necesaria de la especie o aspectos socio-económicos-culturales que permiten asumir estrategias, pero que no necesariamente se pueden llevar a cabo. Es por este motivo, necesaria la participación social y comunidad científica que permita una concertación más integral hacia la conservación de esta región.

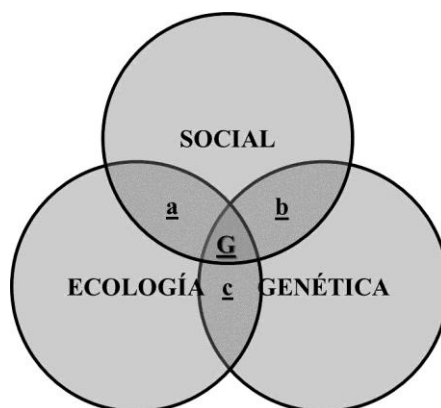


Figura 13. Integración de disciplinas estudiadas para la conservación *in situ* de *Oreomunnea mexicana*.

Finalmente, como parte de la vinculación científica y social, los resultados obtenidos en este trabajo se han difundido y socializado en las diferentes comunidades de los municipios estudiados, implementando talleres de educación ambiental para jóvenes, niños y adultos. Elaborando además, productos impresos como carteles, mapas, fotografías e informe escrito entregados a las autoridades municipales de Ixtlán de Juárez y Santiago Comaltepec. Se prevé que esta vinculación y generación de conocimientos sea el primer paso para la correcta conservación de *Oreomunnea mexicana* y especies asociadas en la región.

3.6. Consecuencias indirectas de la propuesta

De acuerdo a la accidentada topografía y la lejanía de las poblaciones de *O. mexicana* se considera que se tendrían pocas o nulas consecuencias indirectas, debido a varios factores que se consideran importantes:

- La especie no tiene gran utilidad en las comunidades, únicamente el uso de árboles caídos para leña, pero es de forma ocasional.
- La mayoría de las poblaciones se encuentran ubicadas en áreas que son conservadas por las comunidades.
- La especie está inmersa en la cosmovisión de las comunidades, además, de que en una de las poblaciones se encontró un Ídolo ceremonial.
- El ser una especie que está altamente restringida al bosque de niebla le proporciona una característica de alto valor de conservación.

3.7. Acciones específicas para la conservación

3.7.1 Recomendación de acciones a desarrollar

Los resultados que se obtuvieron son suma relevancia e importancia para considerar establecer estrategias de conservación *in situ* por parte de las autoridades de los municipios de Ixtlán de Juárez y Santiago Comaltepec, dentro de las estrategias se sugieren las siguientes:

1. Iniciar la difusión de información respecto a la distribución espacial de *Oreomunnea mexicana*. Así como elaborar una lista priorizada de especies asociadas a las poblaciones de *O. mexicana*, con la colaboración de instituciones universitarias para obtener más conocimientos.
2. Para evitar continuar con el deterioro del hábitat de *O. mexicana* es necesario crear un plan de seguimiento del estado de conservación, con el fin de que las comunidades estén en la capacidad de implementar sanciones y castigos a quienes realicen disturbios en el hábitat.
3. Que los municipios planifiquen acciones que puedan llevar a cabo en los sitios prioritarios para la conservación y que se incluyan dentro de sus metas relacionadas a la conservación de la biodiversidad en todo el territorio.
4. Diseñar e implementar un plan de capacitación constante en las comunidades prioritarias, dirigido principalmente para niños, jóvenes y adultos, así como a los docentes del área de ciencias naturales para que se difunda el conocimiento y socialicen la información.
5. Incorporar actividades donde los niños y jóvenes tengan la posibilidad de adquirir conocimientos sobre la biología de *O. mexicana* y especies de flora y fauna de la región, así como de la importancia de la conservación de su hábitat y de especies asociadas, con el objetivo de que participen en la conservación de la biodiversidad.
6. Generar materiales educativos y didácticos dirigidos para educación básica y media que sea de fácil acceso para la población local.
7. Involucrar a la sociedad en una estrategia de vinculación a los sitios prioritarios de conservación, para favorecer la participación y la valorización de los recursos naturales, específicamente de *O. mexicana*.

8. Involucrar de forma estricta a los sectores económicos, especialmente al silvoagropecuario, para que cumplan con aspectos de conservación dentro de sus actividades productivas.
9. Los sitios prioritarios para la conservación propuestos debieran ser reconocidos por el Gobierno Regional y Estatal como parte de la estrategia para la conservación de la biodiversidad, de modo que las instituciones del Estado las incorporen en los instrumentos que la administración pública dispone, para facilitar la toma de decisiones de las autoridades competentes, así como de la administración en general.
10. El gobierno regional debiera incorporar normativas a través de los instrumentos que dispone, para vincular el reconocimiento de los sitios prioritarios y a *Oreomunnea mexicana* como AMENAZADA en la NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2014 ya que esta especie no aparece en ninguna categoría.
11. Realizar un diagnóstico sobre el estado de conservación cada determinado periodo, para tener un monitoreo de la especie y asociadas y de las actividades que en los sitios se desarrollen.

3.7.2. Contribución de las recomendaciones de acciones de conservación

Las recomendaciones anteriores pueden permitir la conservación y permanencia de las poblaciones de *O. mexicana* a lo largo del tiempo, además de ser un elemento arbóreo dominante que puede traer múltiples beneficios económicos a las comunidades, como por ejemplo el pago por servicios hidrológicos y ambientales. Indirectamente se estarían conservando especies asociadas que pueden estar también en algún estatus de riesgo. De forma directa se lograría el mejoramiento del estado que guarda la especie y el ecosistema que contribuyen al bienestar de la sociedad, así también, el desarrollo de alternativas económicas sustentables en regiones de alta marginación, tanto social como económica, la conservación de los bienes y servicios ambientales en beneficio de todos los sectores de la sociedad, y la conservación de la diversidad genética como fundamento de la seguridad alimentaria y el patrimonio genético del país.

3.7.3. Acciones regulatorias actuales

En las comunidades conocidas se realizan actividades que indirectamente contribuyen mínimamente en la conservación de *O. mexicana*. Dentro de las actividades que se realizan son:

- Incipiente actividad ecoturística.
- Pago por servicios hidrológicos.
- Organización social (bienes comunales).
- Áreas destinadas para la conservación comunitaria.
- Permitir acceso a la investigación.

3.8. Análisis de costos

3.8.1. Identificación de costos, grupos y sectores involucrados así como la importancia relativa

Sector	Grupos	Costos	Importancia Relativa
Publico	Sociedad en general	No calculado	Alta
Privado	Inversionistas en conservación	No calculado	Media
Educativo	Educación básica y grupos de investigadores externos	No calculado	Media
Federal	Gobierno estatal y federal	No calculado	Alta
Salud	Sociedad en general	No calculado	Media
Medio ambiente	Recursos naturales	No calculado	Alta
	Servicios ambientales		
	Servicios hidrológicos		

4. BIBLIOGRAFÍA

- Andersen, K.M., Turner, B.L., Dalling, J.W., 2010. Soil-based habitat partitioning in understorey palms in lower montane tropical forests. *Journal of biogeography*, 37:278-292.
- Anderson, R.P., D. Lew, Peterson, A. T. 2003. Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological modelling*. 162: 211-232.
- Anta-Fonseca, S., Galindo Leal, C., González Medrano, F., Koleff Osorio, P., Meave del Castillo, J., Moya Moreno, H., Victoria Hernández, A., 2010. Sierra Norte de Oaxaca. En: Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO) (Eds.) *El bosque mesófilo de montaña en México: Amenazas y oportunidades para su conservación y su manejo sostenible*, CONABIO, México, 108-1115pp.
- Axelrod, D.I. 1975. Evolution and biogeography of Madrean-Tethyan sclerophyll vegetation. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 62: 280-334.
- Blokhina, N.I., 2004. On some aspects of systematics and evolution of the *Engelhardioideae* (Juglandaceae) by wood anatomy. *Acta Palaeontologica Romaniae*, 4:13-21.
- Boll, T., Svenning, J.C., Vormisto, J., Normand, S., Grández, C., Balslev, H. 2005. Spatial distribution and environmental preferences of the piassaba palm *Aphandra natalia* (Arecaceae) along the Pastaza and Urituyacu rivers in Peru. *Forest Ecology and Management*. 213: 175-183.
- Boulangeat, I., Lavergne, S., Van Es, J., Garraud, L., Tjuiller, W., 2012. Niche breadth, rarity and ecological characteristics within a regional flora spanning large environmental gradients. *Journal of Biogeography*. 39:204-214.
- Caswell, H. 2001. *Matrix Population Models: Construction, Analysis, and Interpretation*.
- Clarke, K.R. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 18: 117-143.
- Condit R., Ashton P.S., Baker P., Bunyavejchewin S., Gunatilleke S., Gunatilleke N., Hubbell S.P., Foster R.B., Itoh A., LaFrankie J.V., Lee H.S., Losos E., Manokaran N., Sukumar R., Yamakura T., 2000. Spatial Patterns in the Distribution of Tropical Tree Species *Science* 288:1414 - 1418.

- Cuevas, R., L. López, E. García. 2002. Primer registro de *Desmopsis trunciflora* (Schlecht. y Cham.) G.E. Schatz (Annonaceae) para el occidente de México y análisis de su población en la Sierra de Manantlán, Jalisco. *Act. Bot. Mex.* 58: 7-18.
- de Souza, I. Souza, A. F. Pizo, M.A, Ganade. G. 2010. Using tree population tree size structures to assess the impacts of cattle grazing and eucalypts plantations in subtropical South America. *Biodiversity Conservation* 19: 1683-1698.
- Dolédec, S., Chessel, D., Gimaret-Carpentier, C., 2000. Niche separation in community analysis: a new method. *Ecology* 81:2914–2927.
- Drábková, L., Kirschner, J., Vlček, C. 2002. Comparison of seven DNA extraction and amplification protocols in historical herbarium specimens of Juncaceae. *Plant Molecular Biology Reporter*. 20:161-175.
- Echevarría-Zomeño, S., Abril, N., Ruiz-Laguna, J., Jorrín-Novó, J., Maldonado-Alconada, A.M. 2012. Simple, rapid and reliable methods to obtain high quality RNA and genomic DNA from *Quercus ilex* L. leaves suitable for molecular biology studies. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34:793-805.
- Ernst, A. Sauer, J., Wittig, R, Nowal, C. 2013. Local genetic structure of a montane herb among isolated grassland patches: implications for the preservation of genetic diversity under climate change. *Population Ecology*: 55: 417-431.
- ESRI (Environmental Scientific Research Institute) 2000. ArcView 3.x. ESRI, Redlands, California.
- Fointaine, C., Lovett, P.N., Sanou, H., Maley, J., Bouvet, J.M. 2004. Genetic diversity of the shea tree (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn), detected by RAPD and chloroplast microsatellite markers. *Heredity*, 93(6): 639–648.
- González-Espinosa, M. Meave, J.A. Lorea-Hernández, F.G. Ibarra-Manríquez, G. Newton, A.C. 2011. The red List of Mexican cloud forest trees. First edition. Fauna and Flora international. Cambridge, UK. 149pp.
- Halffter, G. 1987. Biogeography of the montane entomofauna of México and Central America. *Annual Review of Entomology*, 32: 95-114.
- Hedrick, P. 2000. Genetics of populations. Jones and Barlett Publisher: Boston.
- Hedrick, P. W. 2011. *Genetics of Populations*. Cuarta edición. Jones and Bartlett. Estados Unidos.

- Hill, M.O., Gauch, H.G. 1980. Detrended Correspondence Analysis: An Improved Ordination Technique. *Vegetatio* 42:47–58.
- Hutchings M.J., Wijesinghe D.K. 1997. Patchy habitat, division of labour, and growth dividends in clonal plants. *Trends Ecol Evol* 12: 390–394
- INE- SEMARNAP (Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 1997. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 1998. Anuario Estadístico del Estado de Oaxaca. Gobierno del Estado de Oaxaca.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) -Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) - Instituto Nacional de Ecología (INE). (2008). 'Ecorregiones Terrestres de México'. Escala 1:1000000. México. De forma abreviada puede citarse así: INEGI, CONABIO e INE. 2008. 'Ecorregiones terrestres de México'. Escala 1:1000000. México.
- Jardel, E.J., R. Cuevas, A.L. Santiago, M.E. Muñoz, J. Aragón. 1996. Nueva localidad y características de la población de *Acer skutchii* Rehder en la Sierra de Manantlán, Jalisco, México. *Act. Bot. Mex.* 35: 13-24.
- Keddy, P., Gaude, C†. Fraser L.H. 2000. Effects of low and high nutrients on the competitive hierarchy of 26 shoreline plants. 88:413–423.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas-posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. (GTZ) GMBH, Eschborn, Alemania.
- Lawes M.J., Griffiths M.E., Midgley J.J., Boudreau S., Eeley H.A.C., Chapman C.A., 2008. Tree spacing and area of competitive influence do not scale with tree size in an African rain forest. *Journal of Vegetation Science* 19:729-738.
- Leal Pinedo, J. M., Linares-Palomino, R. 2005. Los bosques secos de la Reserva de Biosfera del Noroeste (Perú): Diversidad arbórea y estado de conservación. *Caldasia* 27:195-211.
- Linzaga-Román, B.E., Ángeles-Pérez, G., Catalán-Heverástico, C., Hernández, R.P. 2011. Estructura espacial de *Pachycereus weberi* (Coult.) Backeb. En la cañada del Zopilote, Guerrero. *Rev. Chapingo: Ciencias forestales y del ambiente.* 17:189-198.
- Lomolino, M.V., Riddle, B.R., Brown, J.H.. 2006. Biogeography. Sinauer, Sunderland, MA.

- López-Mora, P.A., López-Gutiérrez, A.M., Marulanda-Ángel, M.L. 2011. Estandarización de la extracción de ADN genómico en *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. Y *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Okén. *Temas agrarios*, 16:28-41.
- Martínez-Meyer, E., Peterson, A.T., Hargrove, W. 2004. Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implications for Pleistocene extinctions and climate projections for biodiversity. *Global Ecology and Biogeography* 13:305-314.
- Mengoni, A., Barabesi, C., Gonnelli, C., Galardi, F., Gabbrielli, R., Bazziaculpo, M. 2001. Genetic diversity of heavy metal tolerant populations in *Silene paradoxa* L (Caryophyllaceae): chloroplast microsatellite analysis. *Mol Ecol* 10: 1909–1916.
- Michiels, A., Van den Ende, W., Tucker, M., Van Rieta, L., Van Laere, A. 2003. Extraction of high-quality genomic DNA from latex-containing plants. *Analytical Biochemistry*. 315:85-89.
- Miller, M.P. 1997. Tools for Population Genetic Analysis (TFPGA), 1.3: A Windows Program for the Analysis of Allozyme and Molecular Population Genetic Data. Distribuido por el autor.
- Molina, Y., Sosa, A., Santos, W., Hechavarria, O., Arcia, O., Cruz, O. 2011. Estado de conservación de *Magnolia cubensis* Urb. Subsp. *cubensis* en la reserva ecológica El Gigante. *Revista Forestal Baracoa*. 30.
- Montes, R., 1995. Uso y Manejo de los Recursos Naturales en la Comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Tesis de Licenciatura, Instituto Politécnico Nacional. México.
- Morgan, J.W. 1999. Effects of Population Size on Seed Production and Germinability in an Endangered, Fragmented Grassland Plant. *Conservation Biology*, 13:266–273.
- Navare Flores, H. V. 1983. Flora de Veracruz: Junglandaceae. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Ver.
- Otero A.A., De la Cruz M., Oyama K. 1997. El uso de los RAPDs como Marcadores Moleculares en Plantas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 60: 85-177.
- Palme A.E. y Verdramin G.G. 2002. Chloroplast DNA variation, postglacial recolonization and hybridization in hazel, *Corylus avellana*. *Mol. Ecol.* 11: 1769–1779.
- Peterson, C. J., Jones, R. H. 1997. Clonality in woody plants: A review and comparison with clonal herbs in de Kroon H & van Groenendael JM (Eds.): *The Ecology and Evolution of Clonal Plants*. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands. Pp. 263-289.

- Ponce-Reyes, R., Reynoso-Rosales, V.H., Watson, J.E.M., VanDerWal, J., Fuller, R.A., Pressey, R.L., Possingham, H.P. 2012. Vulnerability of cloud forest reserves in Mexico to climate change. *Nature Climate Change*, 2: 448-452.
- Pounds, A. J., Fogden, M. P. L., Campbell, J. H. 1999. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature* 398, 611-615.
- Rachmayanti, Y., Leinemann, L., Gailing, O., Finkeldey, R. 2006. Extraction, Amplification and Characterization of Wood DNA from Dipterocarpaceae. *Plant Molecular Biology Reporter*, 24:45-55.
- Raspé, O., Saumitou-Laprade, P., Cuguen, J., y Jacquemart, A-L 2000. Chloroplast DNA haplotype variation and population differentiation in *Sorbus aucuparia* L. (Rosaceae: Maloideae). *Mol Ecol* 9:1113–1122.
- Rollet, B. 1980. El bosque tropical y la biosfera. In Unesco/PNUMA/FAO (eds.). Ecosistemas de bosques tropicales: informe sobre el estado de conocimientos. Unesco-CIFCA, París, Francia.
- Rozas V., 2003. Regeneration patterns, dendroecology, and forest-use history in an old-growth beech-oak lowland forest in Northern Spain. *For Ecol Manage* 182, 175-194.
- Russell, J., Cohn, R. 2012. *Oreomunnea mexicana*. Primera edición. LENNEX Corp. USA. 131pp.
- Rzedowski, J., McVaugh, R. 1966. La vegetación de Nueva Galicia. *Contr. Univ. Michigan Herb.* 9: 1-123.
- Rzedowski, J., Palacios, R. 1977. El bosque de *Engelhardtia (Oreomunnea) mexicana* en la región de la Chinantla, Oaxaca, México, una reliquia del Cenozoico. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 36: 93-123.
- Santiago-Pérez, A.L., Jardel-Peláez, E.J., Cuevas-Guzmán., Huerta-Martínez, F.M. 2009. Vegetación de bordes en un bosque mesófilo de montaña del occidente de México. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 85:31-49.
- Schweiger O, Stettele J, Kudrna O, Klotz S, Kühn I. 2009. Climate change can cause spatial mismatch of trophically interacting species. *Ecology* 89:3472–3479.
- Sobek-Swant, S.; Kuza, D.A.; Cuddington, K.; Lyons, D.B. 2012. Potential distribution of emerald ash borer: what can we learn from ecological niche models using Maxent and GARP? *Forest Ecology and Management*. 281:23-31.

- Still, C. J., Foster, P. N., Schneider, S. H. 1999. Simulating the effects of climate change on tropical montane cloud forests. *Nature* 398, 608-610.
- Stockwell, D.R.B. 1999. Genetic algorithms II. Kluwer Academic Publishers, Boston. 123-144 pp.
- Stockwell, D.R.B., Noble, I.R. 1992. Induction of sets of rules from animal distribution data: a robust and informative method of data analysis. *Math. Comp. Simul.* 32:249–254
- Stockwell, D.R.B., Peters, D. P. 1999. The GARP modelling system: Problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographic Information Systems* 13:143-158.
- Téllez-Valdéz, O., Dávila-Aranda, P., Lira-Saade, R. 2006. The effects of climate change on the long-term conservation of *Fagus grandifolia* var. *mexicana*, an important species of the Cloud Forest in Eastern Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 15:1095-1107.
- Teribile, L.C., Diniz-Filho, J.A.F. y De marco Jr.P. 2010. How many studies are necessary to compare niche-based models for geographic distributions? Inductive reasoning may fail at the end. *Braz. J. Biol.* 70: 263 – 269.
- Townsend-Peterson. A., Papes, Monica y Eaton Muir. 2007. Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. *Ecography* 20: 550 – 560.
- Trejo I. S.G. 2004. Clima. En A.J. García M., M.J. Ordóñez y M. Briones S. (eds), Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza- World Wildlife Fund, México, pp. 67-85.
- Tsiftsis, S., Tsiripidis, I., Karagiannakidou, V., Alifragis, D. 2008. Niche analysis and conservation of the orchids of East Macedonia (NE Greece). *Acta Oecologica* 33:27-35.
- Ueno, S., Setsuko, S., Kawahara, T., Yoshimaru, H. 2005. Genetic diversity and differentiation of the endangered Japanese endemic tree *Magnolia stellata* using nuclear and chloroplast microsatellite markers. *Conservation Genetics* 6: 563-574.
- UZACHI, 2005. Dirección Técnica Forestal. Programa de Manejo Forestal Persistente para el aprovechamiento maderable de la comunidad de Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca. vol.1, 96 p.
- Vázquez, J.A., R. Cuevas, T. Cochrane, H.H. Iltis, F. J. Santana, L. Guzmán. 1995. Flora de Manantlán. *Sida Bot. Miscellany* 13: 212.

- Vera, P. 1999. Revisión del género *Calatola* (Icacinae) en México. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México.
- Vickery, J.A. Sutherland, W.J., O'Brien, M., Watkinson, A.R., Yallop, A. 1997. Managing wet lowland grasslands for breeding waders and over-wintering geese: is there a conflict? *Biological Conservation* 79:23-34.
- Vieilledent, G. Cornu, C. Cuní-Sánchez, A. Leong-Pour-Tsy, J.M. Danthu, P. 2013. Vulnerability of baobab species to climate change and effectiveness of the protected area network in Madagascar: Towards new conservation priorities. *Biological Conservation*. 166: 11-22.
- Wang, X.Y., Huang, X. L., Jiang, L. Y., Qiao. G. X. 2010. Predicting potential distribution of chestnut phylloxera (Hemiptera: Phylloxeridae) based on GARP and Maxent ecological niche models. *Issue Journal of Applied Entomology Journal of Applied Entomology*.134: 45–54.
- William-Linera, G, Rowdon, A Newton, A.C. 2003. Distribution and stand characteristics of relict populations of Mexican Beech (*Fagus grandifolia* var. *mexicana*). *Biological Conservation*: 109:27-36.
- Wisheu, I. C. 1998. How organisms partition habitats: different types of community organization can produce identical patterns. *Oikos*, 83: 246-258.
- Wolfe, J.A. y T. Tanai. 1987. Systematic, phylogeny, and distribution of *Acer* (maples) in the Cenozoic of western North America. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ.* 22: 1-246.
- Rzedowski, J. 1966. Vegetación del estado de San Luis Potosí. *Acta Ci. Potos.* 5:5-291.
- Stone, D.E., 1972. New world Juglandaceae, III. A new perspectives of the tropical members with winged fruits. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 59:297-321.
- Besag J., 1977. Contribution to the discussion of Dr. Ripley's paper. *J R Statist Soc B* 39, 193-195.
- Ripley B.D., 1977. Modelling spatial patterns. *J R Statist Soc B* 39, 172-212.
- Nei, M. 1978. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics* 89:583–590
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Primera edición, Editorial Limusa. 432pp.
- Diggle P.J., 1983. Statistical Analysis of Spatial Point Patterns. Academic Press, London.

- Excoffier, L., Smouse, P.E., Quattro, J.M. 1992. Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: application to human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics* 131: 479-491.
- Larson-Guerra, J. 1992. Estudio demográfico de *Echeveria gibbiflora* DC. (Crasulaceae) en el Pedregal de San Ángel. Tesis de Licenciatura. UNAM, México. 119pp.
- Palacio-Chávez, R. Rzedowski, J. 1993. Estudio panilológico de las flores fosiles del mioceno inferior y principios del mioceno medio de la región de Pichucalco, Chiapas, México. *Acta Bótanica Mexicana*. 24: 1-31.
- Vázquez Garcia, J.A., 1995. Cloud forest archipelagos: Preservation of fragmented ecosystems in tropical America. En: Hamilton, L.S., Juvik, J.O. Scatena, F.N. (Eds.) Tropical montane cloud forests. Serie, ecological Studies, 110. Springer Verlag, New York.
- Burslem, D.F.R.P., Grubb, P.J., Turner, I.M. 1996. Responses to simulated drought and elevated nutrient supply among shade tolerant tree seedling of lowland tropical forest in Singapore. *Biotropica* 28: 636-648.
- Fielding, A. H., Bell, J. F. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environ. Conserv.* 24: 38-49.
- Thioulouse J., Chessel D., Dolédec S., Olivier J.M. 1997. ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing* 7:75-83.
- De Kroon H., van Groenendael J. 1997. The ecology and physiology of clonal plants. Backhuys, The Hague
- Rozas, V., Prieto F., J.A., 1998. Patrones espaciales de tamaño y mortalidad del roble (*Quercus robur* L.) en un bosque del litoral de Cantabria. *Orsis*, 13:79-90.
- Challenger, A., Soberón, J. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México, Pasado, Presente y Futuro, Primera ed. CONABIO-UNAM-SIERRA, MADRE, México.
- Hewitt, G.M. 1999. Postglacial re-colonization of European biota. *Biol J Linn Soc* 68:87–112 de Lattin G (1967) *Grundriss der Zoogeographie*. Verlag Gustav Fischer, Jena.
- Weising K., Gardner R.C. 1999. A set of conserved PCR primers for the analysis of simple sequence repeat polymorphisms in chloroplast genomes of dicotyledonous angiosperms. *Genome* 42:9–19.

- Burke., J.M., M.R. Bulger, R.A. Wesselingh., Arnold, M.L. 2000. Frequency and spatial patterning of clonal reproduction in Louisiana Iris hybrid populations. *Evolution* 54:137-144.
- Manabe, T., Nishimura, N., Miura, M., Yamamoto, S. 2000. Population structure and spatial patterns for trees in a temperate old-growth evergreen broad-leaved forest in Japan. *Plant Ecology*. 151:181-197.
- Noble, A. D., Gillman, G. P. y Ruaysoongnem. S. 2000. A cation exchange index for assessing degradation of acid soil by further acidification under permanent agriculture in the tropics. *Eur. J. Soil Sci.* 51: 233-243.
- Mwima, P. M., Mcneilage, A. 2003. Natural regeneration and ecological recovery in Bwindi Impenetrable National Park, Uganda. *African Journal of Ecology*. 41:93-98.
- Sebastiani, F., Carnevale, S., Vendramin, G.G. 2004. A new set of mono- and dinucleotide chloroplast microsatellites in Fagaceae. *Ecology Notes*. 4:259-261.
- Guerrero-Aguirre, G.F. 2005. Caracterización poblacional de cinco especies arbóreas ecológicamente importantes en el Corredor Biológico Turrialba Jiménez, Costa Rica. Tesis de maestría. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Futuyma, D.J. 2005. *Evolution*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts
- Rozas, V., Camarero, J.J. 2005. Técnicas de análisis espacial de patrones de puntos aplicadas en ecología forestal. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* 14:79-97.
- Brenes-Cambronero, L., Di Stéfano, J.F., 2006. Possible influence of ramets on the population structure and distribution of the giant tree *Warszewiczia uxpanapensis*, Tilarán Mountain Range, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 54:1179-1188.
- García, D. 2006. La escala y su importancia en el análisis espacial. *Ecosistemas* 15: 3: 7-18.
- Vergara-Sánchez, M.A., Etchevers-Barra, J.D. 2006. Relación entre el uso de la tierra y su fertilidad en las laderas de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia*, 40:557-567.
- IPCC AR4 WG1. 2007. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L., ed., *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

- Alfonso-Corrado, C., Clark-Tapia, R., Mendoza, A., 2007. Demography and management of two clonal oaks: *Quercus eduardii* and *Q. potosina* (Fagaceae) in central México. *For. Ecol. Manag.* 251, 129–141.
- Cuevas G. R., García M., E., Vázquez G. J.A., Núñez L. N.M. 2008. Estructura poblacional y relaciones ambientales del árbol tropical *Nectandra rudis* (Lauraceae), una especie rara en el occidente de México. *Rev. Biol. Trop.* 56:247-256
- Challenger, A, Soberón, J. 2008. Los ecosistemas terrestres. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) Eds. Capital natural de México, Vol I. Conocimiento actual de la Biodiversidad. CONABIO, México, 87-108.
- Peterson, A.T., Papeş, M., Soberón, J. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modelling. *Ecological Modelling.* 213:63-72.
- Picard N., Bar-Hen A., Mortier F., Chadoeuf J., 2009. Understanding the dynamics of an undisturbed tropical rain forest from the spatial pattern of trees. *Journal of Ecology* 97:97-108.
- Ponette-González A.G., Weathers K.C., Curran L.M. 2010. Tropical land-cover change alters biogeochemical inputs to ecosystems in a Mexican montane landscape. *Ecol Appl* 20:1820-1837.
- Contreras-Medina, R. Luna-Vega, I. Ríos Muñoz, C.A. 2010. Distribución de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México: Modelos ecológicos de nicho, efecto del cambio del uso de suelo y conservación. *Revista chilena de historia natural.* 83: 421-433.
- Lawton, R.M., Lawton, R.O. 2010. Complex spatial structure in a population of *Didymopanax pittieri*, a tree of wind-exposed lower montane rain forest. *Plant Ecology.* 210:125-135.
- Rodríguez-Sánchez, F. 2011. Un análisis integrado de la respuesta de las especies al cambio climático: biogeografía y ecología de árboles relictos en el Mediterráneo. *Ecosistemas,* 20:177-184.
- Ledo, A., Condés, S., Montes, F. 2012b. Revisión de índices de distribución espacial usados en inventarios forestales y su aplicación en bosques tropicales. *Rev. Peru. Biol.* 19:113-124.
- Rojas-Soto, O.R. Sosa, V. Ornelas, J.F. 2012. Forecasting cloud forest in Eastern and southern México: conservation insights under future climate change scenarios. *Biodiversity Conservation:* 21: 2671-2690.

- Ledo A., Condés S., Alberdi I. (2012a). Forest Biodiversity Assessment in Peruvian Andean Montane Cloud Forest. *Journal of Mountain Science*, 9, 372-384.
- Primarck, R. B. 2012. *A Primer of Conservation Biology*. Quinta edición. Sinauer Associates, Inc. Estados Unidos.
- Vargas-Rodriguez, Y.L., Platt, W.J., 2012. Remnant sugar maple (*Acer saccharum* subsp. *skutchii*) populations at their range edge: Characteristics, environmental constraints and conservation implications in tropical America. *Biological Conservation*, 150: 111-120.
- Álvarez, L.R., 1994. Geografía General del Estado de Oaxaca. 2a. ed. Carteles Editores. Oaxaca. México. 456 pp.

5. RESUMEN

Oreomunnea mexicana es una especie amenazada (A) determinado al método MER. Es una especie relictos del Cenozoico, y elemento arbóreo dominante de los bosques de niebla del Distrito de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Esta especie es eje clave para la conservación y mantenimiento de la biodiversidad asociada a procesos ecológicos del bosque en la región. En el presente estudio se integran las disciplinas de sistemas de información geográfica, ecología y genética de poblaciones para generar información biológica básica que ayuden a su conservación *in situ*. Para ello, se utilizaron: 1) algoritmo GARP y SIG, para obtener su distribución potencial y el modelo del efecto del cambio climático en la especie bajo dos escenarios (B1 y A1B) para el 2050 y 2080, 2) ecología de poblaciones, en cada sitio de estudio se establecieron parcelas, obteniéndose de cada población la estructura espacial y de tamaños. Además, se obtuvieron las variables ambientales, geográficas y edáficas con la finalidad de determinar la ocurrencia de la especie a través de análisis estadístico multivariados y regresión múltiple, 3) por último se utilizó el marcador molecular, de tipo microsatélites universales de cloroplasto, como herramienta para evaluar diversidad y estructura genética. Los resultados de siete poblaciones en la zona de estudio, indican que la especie tiene una distribución fragmentada en parches y una distribución potencial de 2,610.64 km². Se pronostica que para el 2050 y 2080 el área disminuirá en un 65.5%, y 78.5% respectivamente. La distribución espacial encontrada en cada población, presentó un patrón agregado y se encontró una estructura de tamaños en forma de *J-invertida* para todas las poblaciones. Las variables ambientales principales que determinan la ocurrencia de la especie fueron 1) latitud, 2) altitud, 3) precipitación del mes más seco, 4) precipitación del mes más frío, 5) temperatura media del trimestre más frío, 6) temperatura mínima del mes más frío y 7) bajas concentraciones de magnesio y sodio. El análisis genético demostró que las poblaciones de *O. mexicana* tiene niveles moderados de diversidad genética ($h_e = 0.435 (\pm 0.050)$ y $I = 0.819 (\pm 0.109)$), y una ausencia de estructuración en la población. Los resultados indican que la especie tiene una alta susceptibilidad de riesgo de extinción por la especificidad a condiciones geográficas, climáticas y edáficas que determinan su abundancia y distribución. Finalmente, se sugiere la conservación de la especie rescatando su alto valor biocultural para conservar no sólo a *O. mexicana* sino a especies asociadas en área de estudio.

Palabras clave: Conservación, nicho ecológico, estructura poblacional, diversidad genética, estructura genética, cambio climático.

ANEXO NORMATIVO I
METODO DE EVALUACION DEL RIESGO DE EXTINCION DE PLANTAS EN MEXICO
 Este método se aplicará exclusivamente para Plantas.

I. INDICE DE RAREZA

Criterio A. Características de la distribución geográfica	0.54
Criterio B. Características del hábitat	0.55
Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca.	
C-1. Demografía.	3
C-2. Genética.	0
C-3. Interacciones bióticas especializadas.	2
	5/23 =0.21

II. INDICE DE IMPACTO

ANTROPOGENICO

Criterio D. Impacto de la actividad humana	0.5
T O T A L	1.8

a) Mayor que 1.7 y menor que 2 = amenazada

Amenazadas (A): Aquellas que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo, si siguen operando los factores que inciden negativamente en su viabilidad, al ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat o disminuir directamente el tamaño de sus poblaciones.

b) Vías directas: Cuando la especie tenga poblaciones hiperdispersas con una densidad de población de 1 individuo cada 5 ha o menor, y que la sumatoria del criterio D sea mayor que 0.3 y menor que 0.4.

ANEXO NORMATIVO II
METODO DE EVALUACION DEL RIESGO DE EXTINCION DE PLANTAS EN MEXICO

CRITERIO / SUBCRITERIO	VALOR	JUSTIFICACIÓN
I. INDICE DE RAREZA		
Criterio A. Características de la distribución geográfica		
1) Extensión de la distribución (los porcentajes se determinaron considerando la extensión territorial de los biomas en el país). La extensión de la distribución debe considerar el área de ocupación (el área dentro de su extensión de presencia que es ocupada por el taxón, ya que esta última puede contener hábitats no adecuados, UICN, 1994) y no sólo la extensión de presencia (área contenida dentro de los límites continuos o imaginarios más cortos que pueden dibujarse para incluir todos los sitios conocidos en los que un taxón se halla presente).	a) El área de distribución es menor o igual a 1 km² = 4 b) El área de distribución ocupa más de 1 km² pero <1% del Territorio Nacional = 3 c) El área de distribución ocupa >1-≤5% del Territorio Nacional = 2 d) El área de distribución ocupa >5-≤40% del Territorio Nacional = 1 e) El área de distribución ocupa >40% del Territorio Nacional = 0	Valor = 3 La especie se distribuye en parches en el bosque de niebla. Este ecosistema solo ocupa el 0.8% del territorio nacional y por consecuencia la distribución de la especie es menor al 0.8% (Villaseñor, J. L. 2010).
2) Número de poblaciones o localidades conocidas existentes (en el caso de localidades se trata de puntos (3 mm de diámetro) que pueden ser discernibles en un mapa a una escala de 1:4 000 000).	a) 1-3 = 3 b) 4-8 = 2 c) 9-25 = 1 d) Mayor o igual que 26 = 0	Valor = 1 En Oaxaca se tiene registradas 7 poblaciones conocidas y estudiadas y un reporte para Veracruz. Fuera de estos registros no hay más información.
3) Número de provincias biogeográficas (CONABIO, 1997) en las que se encuentra el taxón (o que abarcaba su distribución histórica). El mapa que debe ser utilizado para determinar las provincias biogeográficas donde se presenta un taxón es el de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (1997), "Provincias biogeográficas de México", escala 1:4 000 000, México. Si la especie se encuentra únicamente en el límite entre dos provincias, para fines del MER-Plantas, se le asigna el valor máximo (3). Por ejemplo, <i>Clowesia rosea</i> se distribuye entre 750 y 1420 m de altitud en la zona de contacto de la provincia de Planicie Costera del Pacífico con la Sierra Madre del Sur, dada su restricción, se le asigna el valor máximo de 3 puntos.	a) 1 = 3 b) 2-3 = 2 c) 4-5 = 1 d) Mayor o igual que 6 = 0	Valor = 2 El ecosistema donde se establece <i>Oreomunnea mexicana</i> se encuentra compartido entre la provincia Oaxaqueña y la provincia de la Sierra Madre Occidental.
4) Representatividad de la distribución del taxón en el Territorio Mexicano. Se refiere a la importancia que pueden tener las poblaciones mexicanas dentro de la distribución geográfica de la especie. Por ejemplo, <i>Pinus attenuata</i> tiene más del 95% de su distribución en la costa oeste de Estados Unidos mientras que en México sólo se han reportado dos localidades en Baja California Norte. En este caso se dice que la distribución es	a) Distribución periférica o extralimital = 1 b) Distribución no periférica o extralimital = 0	Valor = 0

periférica o extralimital.

Subtotal del Criterio A = 6 / 11 = 0.54

Criterio B. Características del hábitat.

1) ¿En cuántos tipos de vegetación se presenta? (<i>sensu</i> Rzedowski, 1978) (No deben considerarse presencias accidentales). El mapa que debe ser utilizado para determinar el o los tipos de vegetación donde se presenta un taxón es el de Vegetación Potencial de Rzedowski (1990). IV.8.2. Atlas Nacional de México. Vol II. Escala 1:4 000 000. Instituto de Geografía, UNAM. México. Si la especie se encuentra únicamente en un ecotono entre dos tipos de vegetación, para fines del MER-Plantas, se le asigna el valor máximo (3). Por ejemplo, <i>Euphorbia colligata</i> crece en el ecotono entre bosque tropical subcaducifolio y bosque de pino-encino (Olson et al., 2005). Por su amplitud ecológica reducida, se asignaría un valor de 3 a esta especie.	a) 1 = 3 b) 2 = 2 c) 3 = 1 d) Mayor o igual que 4 = 0	Valor = 2 Los registros que se tienen de <i>Oreomunnea mexicana</i> se han realizado en bosque mesófilo de montaña, sin embargo, al sobreponerlos en la capa de vegetación potencial de Rzedowski (1990) se identifica en dos ecosistemas: Bosque Tropical Perennifolio y Bosque mesófilo de montaña.
2) ¿El taxón tiene un hábitat especializado? Se refiere a la presencia del taxón sólo en un hábitat especializado permanente (si el hábitat es especializado pero temporal ver inciso 4). Ejemplos: <i>Geohintonia mexicana</i> es una cactácea endémica del norte de México restringida a afloramientos de yeso cristalizado en paredes casi verticales (Anderson et al., 1994). <i>Mammillaria luethyi</i> es otra cactácea endémica del norte de México y se encuentra únicamente en un afloramiento de fluoruro asociado a lajas de roca calcárea (Hinton 1996). <i>Polypleurum prostratum</i> es una Podostemaceae que sólo habita en corrientes con sustrato de rocas con silicatos cuya disolución provoca una considerable dureza total del agua (Mathew et al., 2003).	a) Sí = 1 b) No = 0	Valor = 1 La especie se encuentra limitada al bosque mesófilo de montaña, en un gradiente altitudinal que va de 1356 a 1868 msnm. Los análisis de suelo muestran afinidad por suelos con altos contenidos de intercambio catiónico, de materia orgánica y una baja concentración de cationes de magnesio.
3) ¿La permanencia de la población es dependiente de un hábitat primario? Ejemplo: <i>Poulsenia armata</i> (Moraceae) y <i>Psychotria</i> spp. (Rubiaceae) son especies arbóreas que habitan en selvas altas perennifolias y su permanencia se reduce a los remanentes de esa formación cuando la selva se tala para establecer potreros, pues dependen esencialmente del comportamiento de dispersores frugívoros del bosque original, ausentes en los potreros y en los acahuales (Guevara et al., 1994).	a) Sí = 1 b) No = 0	Valor = 1 Los primeros reportes realizados por Rzedowski en 1977 y los obtenidos por este estudio muestran que <i>Oreomunnea mexicana</i> restringe su distribución al bosque mesófilo de montaña, distribuyéndose de forma agregada.
4) ¿La permanencia de la población requiere de regímenes de perturbación particulares o está asociada a etapas transitorias en la sucesión? Ejemplos: Las orquídeas de los géneros <i>Mormodes</i>, <i>Cynoches</i> y <i>Catasetum</i> se	a) Sí = 1 b) No = 0	Valor: 1 La especie está sujeta a las condiciones primarias del

establecen en troncos en descomposición y requieren de la alta iluminación producto de la apertura de claros en un bosque cerrado. Un bosque donde la caída de árboles es infrecuente implica necesariamente poco reclutamiento (Hágsater et al., 2005). <i>Cypripedium irapeanum</i> es una orquídea restringida a etapas iniciales de la sucesión secundaria de los bosques de encinos de climas semicálidos. Su permanencia en una localidad requiere forzosamente de un programa de manejo que incluye la remoción de la cubierta vegetal densa, pues la planta es muy escasa en el bosque maduro excepto en sitios particulares como laderas abruptas y pedregales.		bosque mesófilo de montaña, se ha observado que la apertura de claros es un factor que permite es establecimiento de nuevos individuos de reproducción sexual (semillas) o asexual (clonales).
5) Amplitud del intervalo altitudinal que ocupa el taxón.	a) Menor que 200 m = 3 b) 200 m - < 500 = 2 c) 500 m - <1000 m = 1 <u>d) Mayor o igual que 1000 m = 0</u>	Valor = 0 El bosque mesófilo de montaña se distribuye en un gradiente altitudinal de los 1200 a los 3000 msnm, y <i>Oreomunnea mexicana</i> se distribuye entre 1356 a 1868 según los registros de este estudio.

Subtotal del Criterio B = 5 / 9 = 0.55

Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca.

C-1. Demografía.

1) Número total de individuos (si no se tienen estimaciones asignar un valor de 0).	a) Menor o igual que 500 = 3 b) 501 – 5,000 = 2 c) 5,001 – 50,000 = 1 <u>d) Mayor o igual que 50,001 = 0</u>	Valor = 0 Se han realizado estudios poblaciones, mediante la implementación de dos parcelas por población y se han registrado poblaciones con más de los 1500 individuos (plántulas, juveniles y adultos) por parcela, pero se desconoce el número total de individuos totales.
2) Reclutamiento (si no existe información, asignar un valor de 0). Se refiere al fenómeno en el que nuevos individuos se unen a la población, y muchas veces hace referencia a los individuos derivados de un proceso de reproducción sexual. Un bajo reclutamiento puede manifestarse de varias maneras. Por ejemplo, como resultado de perturbación muchas especies no presentan plántulas y la población consiste únicamente de individuos adultos. En otros casos, las plántulas pueden ser abundantes pero la alta mortalidad de	a) Hay observaciones de reclutamiento en todas las poblaciones = 0 <u>b) Hay observaciones de reclutamiento en algunas poblaciones = 2</u> c) Hay observaciones de la ausencia de reclutamiento en todas las poblaciones = 4	Valor = 2 En algunas de las poblaciones observadas y estudiadas se han identificado la germinación de semillas y la producción de individuos por clonación, estos últimos

las mismas impide que la población reproductiva se mantenga (como en *Quercus fusiformis* y *Q. buckleyi* en Texas según Russel y Fowler, 1999). Algunas especies desérticas muy longevas reclutan en ciclos largos y presentan cohortes separadas por edad (e.g., el saguaro, *Carnegiea gigantea*, según Pierson y Turner, 1998).

principalmente cuando hay claros abiertos.

3) Atributos demográficos (si no existe información, asignar un valor de 0).

a) ¿Hay evidencia de densodependencia en la reproducción? Ejemplo: Muchas Plantas mimetizan a las flores de otras especies sin producir néctar. Si la densidad de la población de la especie mimetizada es baja los insectos aprenden a reconocer y a evitar las flores sin néctar, dejando a la población severamente limitada en cuanto a su polinización.

Sí = 1

No = 0

b) ¿Hay clonalidad (capacidad de generar nuevos individuos independientes por medio de reproducción asexual)? Algunos estudios sugieren que la clonalidad permite la permanencia de algunas especies (ej. *Stenocereus eruca*, Clark-Tapia et al. 2005).

Sí = 0

No = 1

c) ¿Hay evidencia de decrecimiento de las poblaciones en el país?

Sí = 1

No = 0

d) ¿Hay evidencia de una varianza muy grande en la fecundidad? En algunas especies los individuos reproductivos muy grandes contribuyen desproporcionadamente a la fecundidad de la población.

Sí = 1

No = 0

e) ¿El taxón es dioico, los individuos son dicógamos o autoincompatibles?

Sí = 1

No = 0

f) ¿La floración es sincrónica o gregaria?

Sí = 1

No = 0

Valor = 1
Los individuos reproductivos alcanzan alturas de hasta 40m, por lo que este factor pudiera ser una limitante para el polinizador, lo cual se puede observar en el pequeño número de semillas encontradas en el suelo.
La especie presenta reproducción clonal, principalmente a la periferia de donde se encuentran los individuos adultos. Se desconoce si las poblaciones se encuentran en crecimiento o en decrecimiento, debido principalmente a la falta de información e investigación.

g) ¿El taxón produce pocos propágulos (en comparación con otros miembros de su linaje)?

Sí = 1

No = 0

C-2. Genética (donde no existe información asignar un valor de 0).

Para asignar valores en esta sección, se deberá evaluar los criterios 1 y 2 cuando se cuente con información molecular, de lo contrario evaluar los criterios 3 y 4 que son estimaciones indirectas.

1) Variación molecular (heterocigosis). Se refiere a la cantidad de variación genética detectada usando indicadores de diversidad genética o heterocigosis. Su nivel depende del marcador utilizado. Por ejemplo, para isoenzimas se considera baja variación una heterocigosis esperada menor de 10% mientras que para microsatélites de cloroplasto en coníferas una diversidad haplotípica menor a 20% se considera un valor bajo. Si se tienen los datos de otros marcadores se recomienda usar estimados comparables en taxa cercanos para evaluar si la variación es baja. Los valores aquí expresados como bajo y alto son guías que ayudan a tomar una decisión y no deben de considerarse valores generales (véase la revisión en Esparza-Olguín, 2004).	a) Baja (= 10%) = 1 <u>b) Alta (> 10%) = 0</u>	Valor = 0 Variación molecular encontrada con marcadores moleculares de cloroplasto se encontró para siete poblaciones analizadas una variación de 0.435 (43%).
2) Estructura genética molecular (F_{st}, G_{st}, proporción de la variación genética encontrada entre poblaciones). Este estimador es menos sensible al marcador utilizado y en este caso se consideran niveles bajos a aquellos por debajo de 20%. Se recomienda comparar los valores con especies cercanas. Los valores aquí expresados como bajo y alto son guías que ayudan a tomar una decisión y no deben de considerarse valores generales (si sólo existe una población asignar un valor de 1).	<u>a) Baja (= 20%) = 0</u> b) Alta (> 20%) = 1	Valor = 0 El índice de fijación poblacional (F_{ST}) fue de 0.152 (15%), lo que indicó que hay una baja diferenciación genética entre poblaciones según Wright (1978).
3) Cantidad de variación genética (estimada indirectamente mediante otros caracteres). Cuando no se cuente con información genética molecular se puede estimar la cantidad de variación genética evaluando la variación en caracteres morfológicos, susceptibilidad a patógenos, etc. Por ejemplo, el agave tequilero sufrió varias enfermedades que resultaron en una baja de la producción. Esto es evidencia de un bajo nivel de variación genética que en el caso de agave está apoyado por su propagación clonal así como estudios moleculares.	a) Baja = 1 <u>b) Alta = 0</u>	Valor = 0 El 86 % de la variación molecular de <i>O. mexicana</i> se encontró dentro de las poblaciones (86 % P < 0,001) mientras que la variación entre las poblaciones fue de 14 % (P < 0,001).
4) Nivel de diferenciación entre poblaciones (estimada indirectamente mediante otros caracteres). Cuando no haya estimadores de diferenciación genética, se puede usar el grado de diferenciación fenotípica (morfológica, fisiológica, de susceptibilidad a patógenos, etc.). También se ha encontrado en Plantas una relación entre la tasa de entrecruzamiento y el grado de diferenciación poblacional, de tal forma que si la especie preferentemente se autofecunda, probablemente tenga una alta diferenciación y viceversa (si sólo existe una	<u>a) Baja = 0</u> b) Alta = 1	

población asignar un valor de 1).		
C-3. Interacciones bióticas especializadas. ¿Se ha observado (o inferido) la presencia de las siguientes interacciones bióticas en el taxón? (si no existe información, asignar un valor de 0).		
1) ¿El taxón requiere una “nodriza” para su establecimiento?	a) No = 0 b) Sí = 1	Valor = 0 <i>Oreomunnea mexicana</i> es una especie dominante donde se encuentra establecida, por lo tanto no se requiere de una nodriza para su crecimiento.
2) ¿El taxón requiere un hospedero o forofito específico (en el caso de holoparásitas o hemiparásitas y epífitas o hemiepífitas, respectivamente)? Ejemplo: <i>Laelia speciosa</i> es una orquídea que se ha reportado como epífita sobre encinos (<i>Quercus deserticola</i>, <i>Q. laeta</i>), algunas otras Plantas como <i>Opuntia</i> y <i>Yucca</i>, e incluso creciendo sobre rocas. Sin embargo, estudios cuantitativos en una localidad de Michoacán (donde existen los otros sustratos) indican que prácticamente 100% de varios miles de individuos registrados en una hectárea crecían sobre <i>Quercus deserticola</i> y que el 96% de ellos germinaba directamente sobre líquenes del género <i>Parmelia</i>. Estos datos sugieren que <i>Quercus deserticola</i> y <i>Parmelia</i> constituyen el forofito específico de <i>Laelia speciosa</i> y que los otros sustratos son más bien accidentales (Hernández, 1997).	a) No = 0 b) Sí = 1	Valor = 0 No requiere de hospedero.
3) ¿El taxón requiere un polinizador específico? Ejemplo: Las orquídeas del género <i>Stanhopea</i> son polinizadas por abejas macho de la tribu Euglossini que recolectan fragancias florales. <i>Stanhopea hernandezii</i> es polinizada exclusivamente por machos de la especie <i>Eufriesia coerulescens</i> y nunca se ha observado a ningún otro polinizador, en un periodo de muchos días de observaciones. Evidentemente la reproducción de <i>Stanhopea hernandezii</i> se vería interrumpida si desapareciera su polinizador (Soto Arenas, 2003).	a) No = 0 b) Sí = 1	Valor = 0 Como antes se mencionó, se conoce muy poco de esta especie, aun cuando especies hermanas estén un poco más estudiadas, no hay reportes de polinizadores.
4) ¿El taxón tiene un dispersor específico?	a) No = 0 b) Sí = 1	Valor = 1 Debido a las condiciones del ecosistema y sobre las exploraciones realizadas, no se han encontrado semillas a distancias lejanas, sino a poca distancias de donde se encuentran las poblaciones, por lo que se sugiere que su dispersor principal es el aire y seguido del agua.
5) ¿El taxón presenta mirmecofilia obligada? Ejemplo: La orquídea <i>Coryanthes picturata</i> vive	a) No = 0	Valor = 0 Se desconoce.

exclusivamente en los nidos arbóreos de varios géneros de hormigas y al parecer es dependiente de las condiciones fisicoquímicas del hormiguero y la protección continua de las hormigas para prosperar (Hágsater et al., 2005).	b) Sí = 1	
6) ¿El taxón presenta dependencia estricta de la micorriza? Ejemplo: Las Plantas de varios géneros de orquídeas son micoheterótrofas estrictas, careciendo de la función fotosintética y dependiendo completamente para su nutrición de sus hongos simbioses (Hágsater et al., 2005).	a) No = 0 <u>b) Sí = 1</u>	Valor = 1 Dado las características encontradas se cree que hay una
7) ¿El taxón sufre una afectación importante por depredadores, patógenos (incluyendo competencia muy intensa con especies alóctonas o invasoras)?	<u>a) No = 0</u> b) Sí = 1	Valor = 0 Se desconoce.
Subtotal del Criterio C = Suma del puntaje obtenido= 5 / 23 = 0.21		

II. INDICE DE IMPACTO ANTROPOGENICO

Criterio D. Impacto de la actividad humana		
1) ¿Cómo afecta al taxón la alteración antrópica del hábitat? Ejemplo: Muchas especies, incluso algunas ubicadas en alguna categoría de riesgo, incrementan sus números poblacionales con la alteración de su hábitat que resulta de las actividades humanas. <i>Cecropia obtusifolia</i> es un árbol pionero que coloniza claros de gran tamaño en la selva alta perennifolia. Sin embargo, es aún más abundante en la vegetación secundaria de la selva en acahuales y orilla de caminos. Al menos en ciertas áreas, el árbol es actualmente más abundante que en el pasado.	a) Es beneficiado por el disturbio = -1 b) No le afecta o no se sabe = 0 <u>c) Es perjudicado por el disturbio = 1</u>	Valor = 1 Valor = 1 Debido a la alta actividad antropogenica que hay en el ecosistema. La mayoría de las poblaciones encontradas para Oaxaca (5) se encuentran cercanas a asentamientos, las
2) ¿Cuál es el nivel de impacto de las actividades humanas sobre el hábitat del taxón (impacto = fragmentación, modificación, destrucción, urbanización, pastoreo o contaminación del hábitat y se refiere tanto a la intensidad como a la extensión)? Ejemplo: <i>Carpinus caroliniana</i> es un árbol abundante en algunos bosques mesófilos de montaña. La apertura de caminos y aclaramiento del bosque en zonas de barrancas parece afectarle al crear condiciones más secas y expuestas que las preferidas por esta especie. Por otro lado, hay observaciones que sugieren que esta especie es favorecida por el aclaramiento de algunos bosques por extracción selectiva madera si la perturbación no ha sido muy intensa. Esta misma especie además parece tener buen reclutamiento y sus poblaciones son estables en zonas con asentamientos humanos de muchos años, como las barrancas de Mexicapa, Morelos. Todo parece indicar que en esta especie el disturbio humano afecta negativamente algunas poblaciones, beneficia a otras y no parece afectar a otras más, dependiendo de la intensidad de la perturbación. Otras especies son afectadas negativamente por el disturbio derivado de las actividades humanas. El aclaramiento de la selva mediana perennifolia en las laderas del cerro Teotepec, Guerrero y el	a) El hábitat remanente no permite la viabilidad de las poblaciones existentes = 4 b) El impacto es fuerte y afecta a todas las poblaciones = 3 c) El impacto es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = 2 <u>d) El impacto es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = 1</u> e) No hay impacto significativo en ninguna población = 0	dividen una carretera, línea eléctrica de CFE, y aunque son predios comunales se siguen aprobando proyectos carreteros que afectaran a las poblaciones de la especie. Las actividades económicas de las comunidades establecidas en bosque mesófilos de montañas son principalmente el cultivo de maíz, palma camedor, palma de tepejilote (<i>Chamaedorea</i> sp) y pastoreo, lo cual demanda la apertura de claros para la agricultura y sustento de las familias de las comunidades.

Volcán Tacaná, Chiapas para el establecimiento de cafetales ha modificado la estructura del dosel y algunas especies ombrófilas y con altos requerimientos de humedad atmosférica, muy sensibles a los cambios ambientales, muestran un claro decremento en sus poblaciones. Tal es el caso de <i>Kefersteinia tinschertiana</i>, una orquídea sin pseudobulbos con hojas delgadas y delicadas que se queman al estar expuestas al sol directo.		
3) ¿Existe evidencia (mediciones, modelos o predicciones) que indique un deterioro en la calidad o extensión del hábitat como efecto de cambios globales (e.g., sensibilidad a cambio climático) o se prevé un cambio drástico en el uso del suelo?	a) No = 0 <u>b) Sí = 1</u>	Valor = 1 Los efectos del cambio climático en el hábitat de la especie serán drásticos, estudios realizados por Rojas-Soto y colaboradores (2012), demostraron que el cambio climático reducirá la distribución del bosque mesófilo de montaña, y el estudio climático realizado para esta especie lo demuestran, siendo la extensión del bosque mesófilo de Oaxaca el que más se conservara.
4) ¿Cuál es el impacto del uso sobre el taxón? Se refiere tanto a la intensidad como a la extensión; el uso puede implicar la extracción, la cosecha de propágulos o la remoción de parte de la biomasa de un individuo. El uso por la población humana de ciertas especies es un factor de riesgo que puede llevarlas a la extinción, pero hay muy distintas intensidades de uso. El impacto de uso puede ser observado en el decremento o remoción de algunas poblaciones o en la disminución del vigor de los individuos, que podría tener efectos negativos en su fecundidad, dependiendo de la forma de extracción. La gran mayoría de las Plantas no son usadas en absoluto por los humanos, por lo que el impacto del uso es inexistente. Las hojas de <i>Litsea glaucescens</i>, el laurel mexicano, son recolectadas en ciertas cantidades de las poblaciones silvestres para satisfacer la demanda nacional, pero es un arbusto o árbol abundante en muchas comunidades y no se ha observado un decremento de las poblaciones y en general los arbustos no muestran signos graves de deterioro por la cosecha de las hojas.	a) El impacto de uso implica la remoción de las poblaciones = 4 b) El impacto de uso es fuerte y afecta a todas las poblaciones = 3 <u>c) El impacto de uso es fuerte en algunas o moderado en todas las poblaciones = 2</u> d) El impacto de uso es moderado y sólo afecta algunas poblaciones = 1 e) No hay impacto de uso significativo en ninguna población = 0	Valor = 2 La especie presenta poblaciones pequeñas y distribuidas en forma de parches, si bien su uso no es comercial, pero las comunidades cercanas la emplean para principalmente para leña, otra actividad que no es específica de la planta, pero que afecta principalmente el establecimiento de las plántulas es el ecoturismo, ya que en la mayoría de las poblaciones se establecieron senderos de caminata para los turistas.
5) ¿Es cultivado o propagado <i>ex situ</i>? (a nivel nacional o internacional).	a) Sí = -1 <u>b) No = 0</u>	Valor = 0 No se cultiva <i>ex situ</i> en ninguna parte del

La propagación disminuye la presión de colecta sobre muchas especies de importancia comercial, además de que el material cultivado puede llegar a ser fuente de especímenes en programas de conservación *ex situ*.

país. Sin embargo, se pretende establecer una metodología para evaluar la viabilidad y la germinación de las semillas. Con el fin de establecer estrategias de conservación *in situ*.

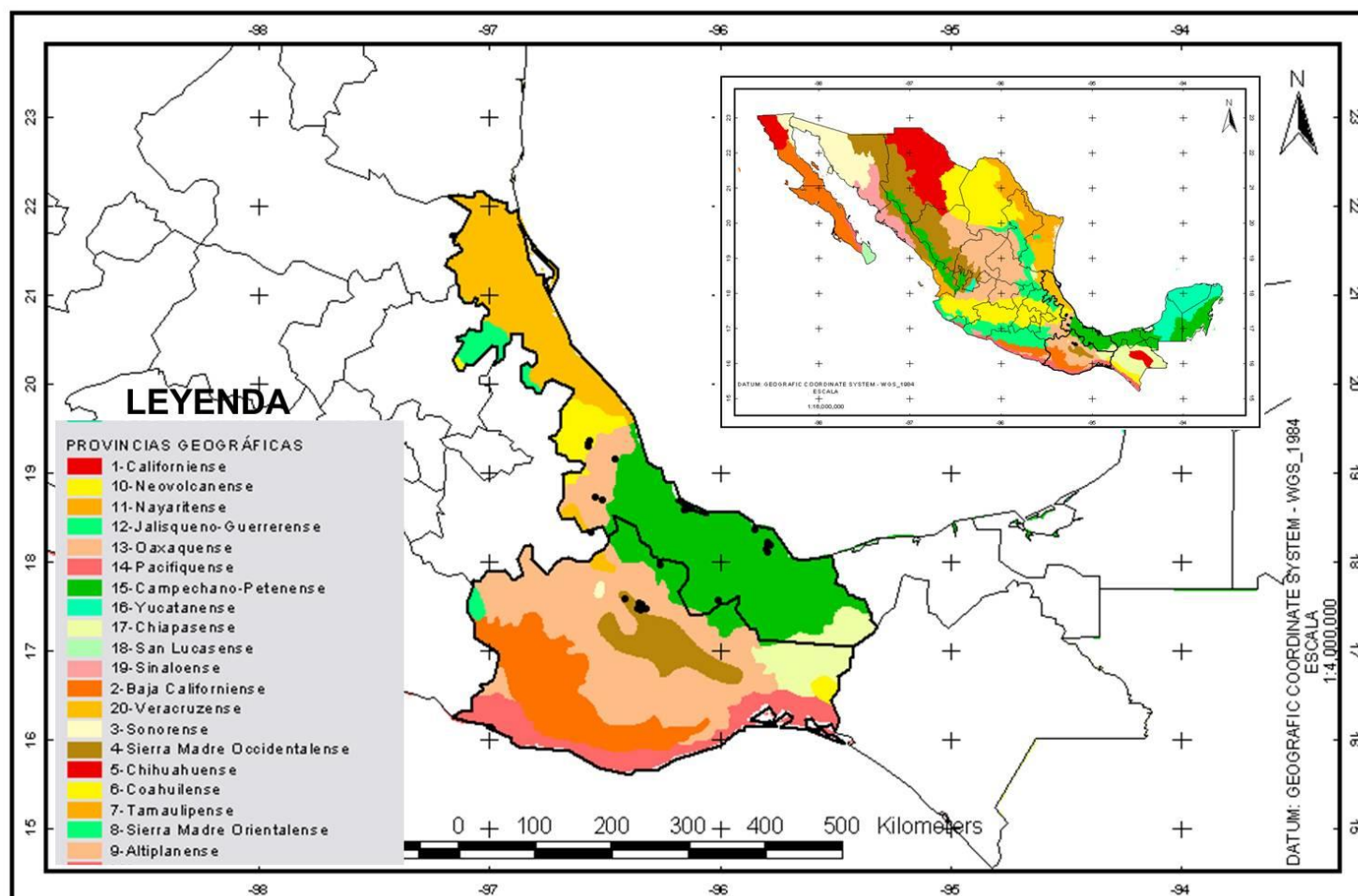
Subtotal del Criterio D = 5 / 10 = 0.5

ANEXO NORMATIVO III CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE PROPUESTA

ORDEN	<i>Junglandales</i>
FAMILIA	<i>Junglandaceae</i>
GENERO	<i>Oreomunnea</i>
ESPECIE	<i>mexicana</i>
SUBESPECIE	-
FORMA O VARIEDAD	-
SINONIMIA	<i>Engelhardtia mexicana</i>
NOMBRE COMUN	Caudillo, árbol zopilote
DISTRIBUCION	No endémica
CATEGORIA	A
MÉTODO	MER

ANEXO IV MAPAS DE CARACTERIZACIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE *Oreomunnea mexicana*.

Mapa de las provincias biogeográficas donde se presenta *Oreomunnea mexicana*. Fuente: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (1997), “Provincias biogeográficas de México”, escala 1:4 000 000, México.



Mapa de los tipos de vegetación donde se presenta *Oreomunnea mexicana*. Fuente: Vegetación Potencial de Rzedowski (1990).

IV.8.2. Atlas Nacional de México. Vol II. Escala 1:4 000 000. Instituto de Geografía, UNAM. México

