

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES



DIVERSIDAD ESTRUCTURAL Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE
Pinus herrerae Martínez
EN EL ÁREA DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA "Sierra de Quila"
JALISCO MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

P R E S E N T A

ROSAURA AVILA CORIA

Las Agujas, Zapopan, Jalisco., Febrero de 2012

AGROPECUARIAS



Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Coordinación de Carrera de la Licenciatura en Biología

COORD-BIO-139/2010.

C. ROSAURA ÁVILA CORIA
PRESENTE


Manifiestamos a usted, que con esta fecha, ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de TESIS E INFORMES opción TESIS con el título: "DIVERSIDAD ESTRUCTURAL Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE *Pinus herrerae* Martínez EN EL AREA DE PROTECCION DE FLORA Y FAUNA "Sierra de Quila" JALISCO MEXICO ". para obtener la Licenciatura en Biología.

Al mismo tiempo le informamos, que ha sido asociado como director de dicho trabajo al Dr. Raymundo Federico Villavicencio Garcia y como asesores a M.C. Ana Luisa Santiago Pérez y al Dr. Jorge Alberto Pérez de la Rosa.

Sin más por el momento, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
PIENSA Y TRABAJA

2010 Bicentenario de la Independencia y Centenario de la Revolución Mexicana
Las Agujas, Nextipac, Zapopan Jalisco 26 de octubre del 2010.


DRA. TERESA DE JESÚS ACEVES ESQUIVIAS
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN


M.C. GLORIA PARADA BARRERA
SECRETARÍO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

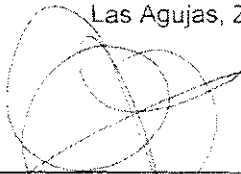
Dra. Teresa de Jesús Aceves Esquivias.
Presidente del Comité de Titulación.
Licenciatura en Biología.
CUCBA.
Presente

Nos permitimos informar a usted que habiendo revisado el trabajo de titulación, modalidad Tesis, opción Tesis con el título: "DIVERSIDAD ESTRUCTURAL Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE *Pinus herrerae* Martínez EN EL ÁREA DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA "SIERRA DE QUILA" JALISCO, MÉXICO" que realizó la pasante Rosaura Avila Coria con número de código 399627425 consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorizar su impresión.

Sin otro particular quedamos de usted con un cordial saludo.

Atentamente

Las Agujas, Zapopan, Jal., 10 de febrero de 2012.



Dr. Raymundo Federico Villavicencio García
Director del trabajo



M.C. Ana Luisa Santiago Pérez
Asesora



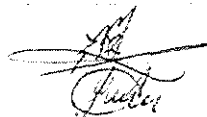
Dr. Jorge Alberto Pérez de la Rosa
Asesor

Nombre completo de los Sinodales
asignados por el Comité de Titulación

Firma de aprobado

Fecha de
aprobación

Dr. Jorge Alberto Pérez de la Rosa

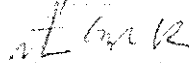


10/10/2012


M. C. Carlos Félix Barrera Sánchez

10/14/2012

Dr. Agustín Gallegos Rodríguez



10/11/2012



Agradecimientos

A la Universidad de Guadalajara y de manera especial al Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias por haberme brindado la oportunidad de realizar mi formación profesional en la Licenciatura en Biología.

Al Departamento de Producción Forestal por facilitarme toda la logística para llevar a cabo esta tesis.

Al Dr. Raymundo Villavicencio García, mi director por darme la oportunidad de realizar este trabajo, por su disposición, el espacio y la infraestructura necesaria para llevar a cabo este estudio; por su paciencia, enseñanzas, apoyo, confianza, sus valiosas y acertadas aportaciones en la realización de esta tesis; Gracias.

Al Ing. Raymundo Ramírez Delgadillo (†) que aunque ya no está con nosotros le agradezco el interés que tuvo en particular por propiciar la inquietud de estudiar a *Pinus herrerae* especie la cual fue objeto de mi estudio.

A mis asesores, M.C. Ana Luisa Santiago Pérez y al Dr. Jorge Alberto Pérez de la Rosa por haber estado disponible en todo momento y por sus recomendaciones para mejorar este estudio.

A mis sinodales M.C. Carlos Félix Barrera Sánchez, Dr. Agustín Gallegos Rodríguez y Dr. Jorge Alberto Pérez de la Rosa por sus observaciones y comentarios que contribuyeron a mejorar el trabajo final.

Al Dr. José de Jesús Godínez Herrera por su apoyo y buena disposición para aclarar dudas que me surgieran en el camino.

A la Maestra Verónica Carolina Rosas Espinoza por su entusiasmo y sus buenos consejos.

Al Dr. José Ariel Ruiz Corral, por haberme dispuesto de toda la información climática indispensable para este trabajo.

A todos mis amigos por el ánimo, apoyo y los buenos momentos.

Agradezco también el apoyo durante el muestreo de campo a las brigadas de voluntarios estudiantes del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara.

A todo el personal que trabaja en el Comité Regional de la Sierra de Quila, A. C., el cual me ha apoyado para realizar este trabajo, en especial al Sr. Rafael Sevilla.

Muchas gracias a todos.

Dedicatoria

A mis padres, Lucina Coria González y José Luis Avila Gutiérrez por su gran empeño y dedicación para sacar adelante a sus hijos.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS Y ANEXOS.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS	II
RESUMEN.....	IV
1 INTRODUCCION.....	1
2 MARCO TEORICO.....	3
2.1 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS	3
2.2 CONSERVACIÓN DE ESPECIES	3
2.3 INVENTARIO FORESTAL	4
2.4 DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA FORESTAL	5
2.4.1 Diversidad de especies	5
2.4.2 Diversidad estructural	6
2.5 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	7
2.6 DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES	8
2.6.1 Modelos de distribución de especies.....	8
2.7 ANÁLISIS MULTIVARIABLE	11
3 ANTECEDENTES.....	13
4 HIPOTESIS.....	17
5 OBJETIVOS.....	18
5.1 OBJETIVO GENERAL	18
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
6 JUSTIFICACION	19
7 MATERIALES Y METODOS	20
7.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	20
7.1.1 Localización	20
7.1.2 Geología y suelos	21
7.1.3 Hidrología.....	21
7.1.4 Clima.....	21
7.1.5 Vegetación y fauna	22
7.2 MATERIALES	25
7.2.1 Trabajo de campo	25
7.2.2 Trabajo de gabinete	25
7.3 METODOLOGÍA.....	26
7.3.1 Inventario forestal.....	26
7.3.2 Modelos predictivos	30
7.3.2.1 MaxEnt.....	31
7.3.2.2 Registro de presencia de la especie.....	31
7.3.2.3 Variables climáticas y ambientales.....	32
7.3.2.4 Proceso del modelo con MaxEnt.....	33
7.3.3 Análisis multivariable.....	36
8 RESULTADOS Y DISCUSION	37
8.1.1 Inventario forestal (Rodal oeste)	37
8.1.2 Inventario forestal (Rodal noroeste)	43
8.1.3 Modelo predictivo MaxEnt.....	47
8.1.3.1 Curva operacional (ROC).....	51

8.1.3.2	Importancia de las variables climáticas y ambientales en la distribución potencial de <i>P. herrerae</i> (prueba de Jackknife).....	53
8.1.3.3	Mapa de idoneidad de hábitat o distribución potencial.	56
8.1.4	Análisis multivariable.....	61
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
10	BIBLIOGRAFÍA.....	74
11	ANEXOS.....	80

Índice de tablas

Tabla 1. Áreas Naturales Protegidas de carácter federal.	3
Tabla 2. Clases representadas de fauna en el APFF Sierra de Quila.....	23
Tabla 3. Índices de diversidad, riqueza y afinidad de especies.	30
Tabla 4. Variables climáticas y temáticas utilizadas para el modelamiento de la distribución de <i>P. herrerae</i> en el ANP Sierra de Quila.	33
Tabla 5. Datos descriptivos por especie de la comunidad arbórea del Rodal oeste.	39
Tabla 6. Datos dasométricos por grupo de árboles del Rodal Oeste.....	40
Tabla 7. Parámetros descriptivos por especie del Rodal noroeste.	44
Tabla 8. Parámetros dasométricos descriptivos por grupo de árboles del Rodal noroeste.	44
Tabla 9. Valores mínimos, medios y máximos de las variables climáticas y ambientales del ANP Sierra de Quila.....	50
Tabla 10: Contribución porcentual de las variables al modelo para <i>P. herrerae</i> Prueba 1 VC.....	51
Tabla 11. Contribución porcentual de las variables climáticas y ambientales al modelo para <i>P. herrerae</i> (Prueba 2 VCA).	54
Tabla 12. Coeficiente de correlación entre las variables dasométricas y ecológicas tomadas en campo con los diferentes ejes.	62
Tabla 13. Coeficiente de correlación de especies con la ordenación de Bray y Curtis.	63
Tabla 14. Coeficiente de correlación entre variables climáticas y temáticas.....	65
Tabla 15. Coeficiente de correlación entre variables dasométricas y ecológicas tomadas en campo de los diferentes ejes.....	67
Tabla 16. Coeficiente de correlación de especies con la ordenación de Bray y Curtis.	68
Tabla 17. Coeficiente de correlación entre variables climáticas y ambientales por sitio.	69
Anexo 1. Formato de registro de campo.	80
Anexo 2. Glosario de términos.....	82
Anexo 3. Variables utilizadas para el análisis multivariable para los Rodales oeste y noroeste.	83
Anexo 4. Índice de valor de importancia de las especies para el rodal oeste.	84
Anexo 5. Índice de valor de importancia de las especies para el rodal noroeste.	84

Índice de figuras

Figura 1: Modelo conceptual de la metodología para el modelado de nichos ecológicos y distribuciones geográficas (Tomado de: Liras (2008)).	9
Figura 2: Localización del Área de Protección de Flora y Fauna "Sierra de Quila" Jalisco, México.	20
Figura 3: Climograma de dos estaciones próximas al APFFSQ, al norte (Ameca) al sur (Tecolotlán) (Datos fuente: Ruiz et al. 2003; Elaboración: propia).	22
Figura 4: Tipos de vegetación en el APFF Sierra de Quila; a) selva baja caducifolia, b) bosque de pino-encino, c) bosque de galería, d) bosque mesófilo de montaña, e) bosque espinoso y f) bosque de encino.	24
Figura 5: Sitio de muestreo y enumeración del arbolado para el levantamiento de datos dasométricos.	27
Figura 6: Puntos de presencia de la especie <i>P. herrerae</i> en el área protegida Sierra de Quila.	32
Figura 7: Pantalla de interfase del modelo MaxEnt.	34
Figura 8: Sitio circular concéntrico de muestreo vinculado a un sistema de información geográfica (Rodal oeste, Sitio 21).	38
Figura 9: Distribución porcentual de la composición arbórea del Rodal oeste.	38
Figura 10: Curvas de altura de las cuatro principales según su IVI en el Rodal oeste.	40
Figura 11: Distribución diamétrica relativa de las especies de mayor valor de importancia ecológica del Rodal oeste.	41
Figura 12: Distribución porcentual de la regeneración natural por grupo de árboles.	42
Figura 13: Composición arbórea del inventario forestal del Rodal noroeste.	43
Figura 14: Curvas de altura de las cuatro principales especies de acuerdo a su valor de importancia ecológica del Rodal noroeste.	45
Figura 15: Distribución diamétrica relativa de las cuatro principales especies de acuerdo a su valor de importancia ecológica del Rodal noroeste.	46
Figura 16: Distribución porcentual de la regeneración natural del Rodal noroeste por grupo de árboles.	47
Figura 17: Pantalla de interfase del modelo MaxEnt.	48
Figura 18: Configuraciones básicas y avanzadas.	49
Figura 19: Curva operacional ROC para la Prueba 1 VC; grupos de datos: de entrenamiento (línea roja) y prueba (línea azul).	52
Figura 20: Curva operacional ROC para la Prueba 2 VCA; grupos de datos: entrenamiento (línea roja) y prueba (línea azul).	52
Figura 21: Contribuciones de variables climáticas de la Prueba 1 VC (sin variable, barra color azul claro; con una variable, barra azul rey y con todas las variables, barra color rojo).	53
Figura 22: Análisis de Jackknife para los datos de prueba para <i>P. herrerae</i> (Prueba 1 VC).	53
Figura 23: Contribuciones de las variables climáticas Prueba 2 VCA (sin variable, barra color azul claro; con una variable, barra azul rey y con todas las variables, barra color rojo).	55
Figura 24: Análisis de Jackknife para los datos de de prueba para <i>P. herrerae</i> Prueba 2 VCA.	55
Figura 25: Mapa "crudo" de idoneidad del modelo MaxEnt en formato asc (Prueba 1 VC).	56
Figura 26: Área de distribución potencial de <i>P. herrerae</i> en el ANP Sierra de Quila con base a las variables climáticas (Prueba 1 VC).	58

Figura 27: Acercamiento del área de distribución potencial de <i>P. herrerae</i> en el ANP Sierra de Quila (Prueba 1 VC).....	58
Figura 28: Área de distribución potencial de <i>P. herrerae</i> en el ANP Sierra de Quila con base a las variables climáticas y ambientales (Prueba 2 VCA).	59
Figura 29: Acercamiento del área de distribución potencial de <i>P. herrerae</i> en el ANP Sierra de Quila (Prueba 2 VCA).....	59
Figura 30: Áreas de distribución potencial de <i>P. herrerae</i> , basado en el modelo MaxEnt a partir de una probabilidad de 50% con base a la Prueba 2 VCA.	60
Figura 31: Ordenación de Bray y Curtis de los sitios de muestreo derivado de la presencia-ausencia de las especies y las variables dasométricas, ecológicas y ambientales del ANP Sierra de Quila.	61
Figura 32: Ordenación de Bray y Curtis derivado de la composición de especies por sitio y las variables climáticas y ambientales obtenidas del SIG en Sierra de Quila.	64
Figura 33: Dendrograma de análisis de agrupamiento rodal oeste con la distancia Sørensen y el vecino más lejano como el método de la unión de grupos.	65
Figura 34: Ordenación de Bray y Curtis de los sitios de muestreo derivado de la presencia-ausencia y las variables dasométricas, ecológicas y ambientales en Sierra de Quila.....	66
Figura 35: Ordenación de Bray y Curtis derivado de la composición de especies por sitio y las variables climáticas y ambientales obtenidas del SIG en Sierra de Quila.	68
Figura 36: Dendrograma de análisis de agrupamiento del rodal noroeste con la distancia Sørensen y el vecino más lejano como el método de la unión de grupos.	70

RESUMEN

La especie endémica *Pinus herrerae* Martínez es de distribución restringida y disyunta en el occidente de México. No obstante, la especie ocurre en el área natural protegida "Sierra de Quila", Jalisco, motivo por el cual surge el interés de contribuir al conocimiento de esta especie sobre esta localidad en cuanto a su composición, su riqueza y diversidad estructural asociada a otras especies y comunidades, así como el de identificar las áreas potenciales de su distribución y hábitat en un contexto geográfico mediante el uso de herramientas de sistemas de información geográfica y un modelo de distribución de especies.

Se establecieron de manera sistemática 53 sitios permanentes de 500m², donde se inventarió el arbolado adulto mayor a 7cm de diámetro normal en dos rodales considerando la presencia de *P. herrerae*. Su distribución se concentra principalmente en dos zonas dentro del área protegida: una ubicada en la parte noroeste, la cual cubre aproximadamente 35ha y, registra una densidad arbórea de 768 individuos/ha; la composición del estrato arbóreo en esta comunidad fue de 3 familias distribuidos en 3 géneros y 7 especies.

Por otra parte, en la zona oeste, sobre una superficie aproximada a 550ha, se registró una densidad de 891 árboles/ha; el estrato arbóreo está compuesto por 8 familias correspondientes a 9 géneros y 23 especies. La especie *P. herrerae* se sitúa en un piso altitudinal promedio de 2100 msnm. La diversidad estructural expresada en la estratificación y distribución vertical de las especies para el rodal noroeste registró un 75.6% y en rodal oeste un 65.1% por igual distribución de las mismas especies en cada piso de altura lo que significa que las especies no están distribuidas en todos los pisos aunque en el rodal noroeste presentó una distribución mayor.

Las variables climáticas y ambientales que más influyen en la distribución espacial de *P. herrerae* de acuerdo al modelo MaxEnt son tipo de suelo, las temperaturas (mínima, media y máxima), la altitud y la precipitación media anual.

De acuerdo a los resultados del análisis multivariable, *P. herrerae* en la parte oeste está asociado con la presencia de *Befaria glauca*, *Pinus douglasiana*, *P. lumholtzii*, *Quercus resinosa* y *Q. coccolobifolia* y estas a su vez se relacionan con la variable altitud. Con respecto al rodal noroeste, las especies asociadas fueron *Pinus douglasiana*, *Clethra hartwegii* y *Quercus crassifolia* y en conjunto se relacionaron con las variables: relieve, registró de fuego, área basal y número de pinos.

Considerando el estatus de vulnerabilidad con que la especie está catalogada para el Estado de Jalisco (Dvorak et al. 2000) se recomienda que la dependencia encargada de la administración de los recursos naturales de ésta área protegida, fortalezca acciones para su conservación y preservación de la especie, así como también se sugiere se lleve a cabo un programa integral de propagación y posterior reintroducción de la especie en áreas que reúnan las características idóneas para su desarrollo.

1 INTRODUCCION

México cuenta con una gran diversidad en especies de pinos los cuales poseen un alto grado y valor productivo en el ámbito forestal y ecológico (Farjon et al. 1997), además de constituir un hábitat para las comunidades de organismos que de éste se benefician. Entre las causas que hacen de México un país con una gran diversidad biológica están la topografía, la variedad de climas y una compleja historia tanto geológica, biológica y cultural, razón por la cual en el territorio nacional están representados prácticamente todos los grandes biomas que se han descrito de la superficie del mundo (Rzedowski, 1978).

La familia de los pinos (Pinaceae) constituye una de las familias más importantes del reino vegetal. Son árboles o arbustos perennes generalmente siempre verdes, más o menos resinosos, con hojas simples o agrupadas, aciculares, lineares o escamiformes; con conillos dioicos o monoicos con textura, seco o algo pulposo, compuesto de escamas que protegen a las semillas (Martínez, 1948); esta familia ocurre para México en cuatro géneros: *Pinus*, *Abies*, *Pseudotsuga* y *Picea* (Ricker y Hernández, 2010).

En el país existen 46 especies del género *Pinus* de tal manera que al menos 18 de estas especies son endémicas (39%), sin considerar las diferentes subespecies y variedades (Ricker y Hernández, 2010). En Norteamérica se reconocen tres regiones de alta diversidad de especies de pinos: México, California y el sureste de EUA; la distribución en México se presenta en 5 regiones principales: Baja California Norte y Sur, la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre Oriental, la Faja Volcánica Transmexicana y la Sierra Madre del Sur; destacando, la Faja Volcánica Transmexicana, la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental como el mayor centro de diversidad y evolución del género (Sánchez, 2008).

El Estado de Jalisco es considerado como una de las entidades con mayor presencia de especies (18) en el país, además de que es uno de los estados con mayor producción forestal en México (Farjon y Styles, 1997), siendo el género *Pinus* la base principal de aprovechamiento (Martínez, 1948). Además constituye el 80% de los productos que son base de la industria forestal y el 60% de las especies de pino tienen importancia como uso tradicional y comercial, como lo es la madera para aserrar, considerado como el producto más importante, seguido de la pulpa de madera para la fabricación del papel Kraft y cartón, resinas, carbón, semillas comestibles y sin dejar atrás su importancia como uso cultural y de servicio ambiental y ecológico que esta comunidad arbórea genera o le es atribuida. En México las especies comerciales más explotadas son *P. patula*, *P. oocarpa*, *P. pseudostrobus*, *P. herrerae*, *P. leiophylla* y *P. arizonica* (Sánchez, 2008).

Según Farjon et al. (1997) en Jalisco la especie *P. herrerae* se encuentra distribuida entre un rango altitudinal que oscila entre los 1500-2600 msnm (rara vez desde los 1100 msnm) en las regiones de la Sierra Madre Occidental, la Faja Volcánica Transmexicana y la Sierra Madre del Sur.

Por la morfología y la disposición de sus hojas, los pinos poseen una fisonomía particular y los bosques que presentan un aspecto que difícilmente puede confundirse con el de otros tipos de vegetación, aunque cabe destacar que dentro de las zonas de clima templado y semihúmedo, los pinares entran en competencia con los bosques del género *Quercus*, algunas veces de *Abies*, *Juniperus*, *Alnus*, entre otros, lo anterior debido a la similitud de los requerimientos ecológicos de estos géneros, lo cual da como resultado que los tipos de bosques ocupen nichos muy similares formando intrincados mosaicos y complejas interrelaciones sucesionales (Rzedowski, 1978); asimismo la perturbación entorpece la interpretación de las distintas comunidades y sus diferentes interrelaciones (Pérez, 2011).

Los pinares juegan ecológicamente un componente importante dentro de los bosques de las tierras altas de México (Farjon et al. 1997), son también abundantes, dominantes y endémicos, donde la diversidad puede variar dependiendo de las condiciones ambientales y ecológicas que requiera cada una de las especies para su desarrollo. Tal es el caso de *P. herrerae*, el cual podría atribuírsele que debido a sus características fisiológicas y morfológicas dependa de determinados factores o condiciones ecológicas para su desarrollo y distribución; como lo señala la Agencia para el Desarrollo Internacional (1967, cit. en Rueda et al. 2006), donde algunos rodales de *P. herrerae* han sido observados en suelos profundos, de muy buena o moderada fertilidad, con buen drenaje, y derivados de andesitas, ferromagnésicas, basaltos y dolomitas.

La Sierra de Quila parcialmente decretada como un Área Natural Protegida (ANP), se constituye de acuerdo a la LEGEEPA (2008), como una porción terrestre del territorio nacional representativo de los diversos ecosistemas que le componen, donde además su ambiente original no ha sido esencialmente alterado por el hombre. Las áreas naturales protegidas en México funcionan como el medio ecológico y político de la conservación de los ecosistemas. Al igual que otras categorías de ANP's, el Área de Protección de Flora y Fauna "Sierra de Quila" (APFFSQ) está sujeta a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo (LEGEEPA, 2008).

A pesar de esta iniciativa de conservación y protección sobre los recursos naturales, es evidente que existen factores bióticos y abióticos que en menor o mayor grado inciden sobre el estado y conservación de los recursos forestales, tal es caso de la presencia de *Dendroctonus adjunctus* (escarabajo descortezador) o *Arceuthobium mucronatum* o *Cladocolea cupulata* (muérdago) sobre las poblaciones del género *Pinus*, dañando principalmente especies como *P. herrerae*, *P. douglasiana*, *P. devoniana*, *P. oocarpa* y *P. lumholtzii*.

Con la finalidad de generar información y contribuir al conocimiento sobre el contexto biofísico, geográfico y dasométrico de *P. herrerae*, el presente trabajo aborda la caracterización estructural y su distribución espacial en el ANP "Sierra de Quila"; a través de un inventario forestal y el uso del modelo MaxEnt (modelo predictivo de distribución potencial de especies).

2 MARCO TEORICO

2.1 Áreas Naturales Protegidas

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) forman parte de una política y estrategia establecida por el Gobierno Federal con el fin de lograr objetivos de conservación sobre la biodiversidad y los recursos naturales y, que estos cumplan y contribuyan a generar beneficios para la sociedad en general, específicamente a los pobladores que viven en ellas o en su entorno. Los esfuerzos de consolidación de las ANP en México se han multiplicado en los últimos años, en 1989 solo el 1.6% del territorio estaba cubierto por Parques Nacionales, Reservas de la Biosfera y otras categorías; actualmente las áreas protegidas se componen de 174 zonas federales decretadas, las cuales cubren el 12.92% de la superficie del territorio (Tabla 1) (CONANP, 2010). En el ámbito federal, existen seis categorías, entre las cuales se definen las Áreas de Protección de Flora y Fauna a la que pertenece la Sierra de Quila.

Tabla 1. Áreas Naturales Protegidas de carácter federal.

Número de ANP	Categoría	Superficie (ha)	Superficie del territorio nacional (%)
41	Reservas de la Biosfera	12,652,787	6.44
67	Parques Nacionales	1,482,489	0.75
5	Monumentos Naturales	16,268	0.01
8	Áreas de Protección de Recursos Naturales	4,440,078	2.26
35	Áreas de Protección de Flora y Fauna	6,646,942	3.38
18	Santuarios	146,254	0.07
174		25,384,818	12.92

El Estado de Jalisco cuenta con 18 áreas protegidas con protección legal mediante decreto federal y estatal, las cuales cubren el 25.7% de su superficie y están representadas por declaratoria federal: dos reservas de la biosfera, un parque nacional, dos áreas de protección de flora y fauna, un área de protección de recursos naturales y cinco santuarios (CONANP, 2010).

2.2 Conservación de especies

En el siglo XIX en Europa se inicia una importante corriente de pensamiento, vinculada al sector forestal, que incorpora la preocupación por la destrucción de los bosques y propone acciones de conservación y restauración. Dicha corriente tuvo una pronta influencia en América, que se reflejó en la declaración de las primeras áreas protegidas en Norteamérica y México (Maza et al. 2003).

Durante el siglo XX se extiende por toda la región de América Latina y el Caribe la preocupación por conservar los espacios naturales, con el fin de proteger las cuencas hidrológicas, los bosques y las selvas con potencial forestal, los paisajes, las áreas naturales para la recreación y se inician los primeros esfuerzos importantes de reforestación. Las reservas forestales y los parques nacionales fueron las primeras figuras legales para el establecimiento de áreas protegidas, con excepción de México que establece su primera área protegida (Bosque Nacional el Monte Vedado del Mineral El Chico, Hidalgo, 1899) a finales del siglo XIX. México es uno de los países considerados megadiversos por el gran número de especies y de endemismos que posee. Las ANP han sido espacios fundamentales para la conservación de los ecosistemas naturales y la biodiversidad de la región de América Latina y el Caribe. No obstante, éstas áreas no están exentas de importantes problemas que amenazan constantemente la estabilidad de sus ecosistemas (Maza et al. 2003). El establecimiento de las ANP es un instrumento ampliamente aceptado, el cual se ha venido utilizando para la conservación *in situ* de los ecosistemas naturales y su biodiversidad.

La Sierra de Quila tiene una gran riqueza biológica ya que alberga un 54% de los anfibios y reptiles, el 28% de aves y el 25% de mamíferos, los cuales representan entre el 70 y el 87% de los órdenes de fauna reportados para el Estado de Jalisco. Además, de acuerdo a los estudios de Rodríguez et al. (2010), Escobar et al. (2010) y, Ramírez et al. (2010), basados en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, en la Sierra de Quila se encuentran 11 endemismos, 4 especies en peligro de extinción, 22 especies sujetas a protección especial y 13 especies amenazadas, los cuales son sustentados por los diferentes tipos de vegetación que posee la Sierra.

Por su valor biológico y ecosistémico, el APFFSQ proporciona servicios ambientales como los espacios de esparcimiento y recreación, aporte de oxígeno, captura de carbono y sobre todo la recarga de agua hacia los mantos freáticos, los cuales destacan por abastecer del recurso hídrico a las cuencas del río Armería-Ayuquila y río Ameca, que a su vez surten del mismo a las principales cabeceras municipales y otras poblaciones para el sustento y desarrollo de las actividades comerciales, agropecuarias y productivas.

2.3 Inventario forestal

Un inventario forestal es una operación tendiente a obtener datos de los diversos parámetros del bosque y las manifestaciones del crecimiento, de acuerdo con la calidad de estación (Padilla, 1981).

Una característica fundamental del inventario forestal es el establecimiento de una red de sitios los cuales permitan monitorear a intervalos breves de tiempo el desarrollo del bosque. Los inventarios forestales pueden implementarse a través de sitios permanentes y/o sitios temporales de muestreo, el propósito es obtener datos representativos que puedan emplearse como guía o control de una ordenación o plan de manejo de una masa forestal; los datos que se recaban en campo varían de acuerdo a los objetivos que persiga el tipo de inventario forestal que se lleve a cabo (Villavicencio et al. 1992).

Existen varias clasificaciones empleadas para la realización de un inventario forestal de acuerdo al tipo específico que se trate (Villavicencio et al. 1992).

- a) De acuerdo al tema: botánicos, integrales, faunísticos, edáficos, acuíferos.
- b) De acuerdo al uso: de prevención, de manejo, de aprovechamiento, de protección e investigación.
- c) De acuerdo al tipo de vegetación: maderables y no maderables.
- d) De acuerdo a la influencia: nacionales, estatales, regionales y locales.
- e) De acuerdo a su periodicidad: inventarios convencionales, que se basan principalmente en su muestreo en la utilización de sitios temporales.

El tipo de inventario forestal implementado para este estudio fue de acuerdo al uso: de protección e investigación.

2.4 Diversidad y estructura forestal

2.4.1 Diversidad de especies

Los estudios sobre medición de la biodiversidad se han centrado en la búsqueda de parámetros que permitan caracterizarla como una propiedad de las comunidades ecológicas. Sin embargo, las comunidades no están aisladas en un entorno neutro; en cada unidad geográfica, en cada paisaje, se encuentra un número variable de comunidades. Por ello, para comprender los cambios de la biodiversidad con relación a la estructura del paisaje, la separación de los componentes alfa (riqueza de especies de una comunidad particular a la que se le considera homogénea), beta (refiere el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades de un paisaje) y gama (considera la riqueza de especies de un conjunto de comunidades que integran un paisaje) pueden ser de gran utilidad, principalmente para medir y monitorear los efectos de las actividades humanas (Moreno, 2001).

Índice de Shannon

Expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección. Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra (Moreno, 2001).

Índice de Simpson

Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes (Moreno, 2001). Valores altos indican dominancia de alguna especie (Del Rio et al. 2003).

Índice de Margaleff

Trasforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra. Supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos. Si esto no se mantiene, entonces el índice varía con el tamaño de muestra de forma desconocida o cuando hay una sola especie. Es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas (Moreno, 2001).

Índice de Sørensen

Este índice refiere a que entre más grande sea el número de especies compartidas en la comunidad mayor será su similitud entre esa comunidad. Mide la similitud en la composición de especies entre una región y otra, expresando la similitud de una manera fácil de interpretar. Los valores suelen variar de 0, indicando que no se tienen especies en común, a 1, cuando ambas regiones comparten todas las especies (Bauche, 2003).

Índice de importancia ecológica (IVI)

Por sus siglas en inglés Importance Value Index (Krebs, 1978); este índice es utilizado para describir comunidades vegetales basándose en algunos de los atributos de las poblaciones presentes, en donde se evalúa la abundancia, la frecuencia y la dominancia relativa (%) de las diferentes especies presentes en un lugar. Entendiendo por la abundancia relativa como el número de árboles por especie en relación con el total de los árboles; la frecuencia relativa como el número de ocurrencia de una especie en un área en relación con el número de todas las especies presentes y la dominancia relativa como la proporción del área basal de una especie con respecto a la suma del área basal del resto de las especies en el área de estudio. Al sumar las tres variables, abundancia, frecuencia y dominancia provoca un incremento en las diferencias de las especies entre las muestras con una composición florística semejante y debido a que cada uno de estos tres factores representan un valor porcentual el resultado de la suma de los tres será 300 (Bauche, 2003).

2.4.2 Diversidad estructural

La estructura de una masa forestal está relacionada con el hábitat de muchos animales y plantas, pudiéndose utilizar en muchos casos como indicador de la biodiversidad (Del Rio et al. 2003); toda clase de variedad natural, desde la diversidad de comunidades a nivel de paisaje, comunidades, especies y, hasta la diversidad genética, comprende tres aspectos principales: la composición, la estructura y la función.

La estructura de un bosque se refiere a la distribución de las clases por su edad, dimensiones, volúmenes e incrementos; la estructura abarca varios parámetros tales como: la distribución del arbolado, la uniformidad que presente, la altura, el diámetro, entre otros. La estructura forestal en muchas maneras marca la diferencia entre una masa coetánea y una incoetánea (Villavicencio, 1992); es decir, la diversidad estructural de un rodal varía a lo largo de sus fases de desarrollo. En este contexto, se reconocen las siguientes fases de desarrollo:

Regeneración: comprende desde la emisión de la semilla hasta que logra una altura aproximada a los 50 cm. **Brinzal:** esta etapa de desarrollo en los árboles comprende de entre los 40 o 50 cm hasta 1.50 m de altura. **Vardascal:** comprende todo el arbolado que continua en una clase diamétrica de 10 cm o menor, se acentúa la poda natural de las ramas bajas y al final de esta etapa se observan fustes limpios, flexibles y delgados. **Latizal:** en esta etapa se intensifica la poda natural en los individuos y se alcanza el máximo crecimiento en altura. Se inicia la diferenciación de copas. Existe latizal bajo, donde los individuos alcanzan de 8 a 15 m de altura y 10 a 20 cm de diámetro; y latizal alto, donde se aprecian alturas de 15 a 20 m y diámetros entre 20 y 25 cm. **Fustal:** se considera el arbolado que alcanza la clase diamétrica de 20 cm o más, su crecimiento se manifiesta en diámetro,

cesando el crecimiento en altura. Se denomina fustal joven aquellos individuos entre 20 y 35 cm, fustal medio aquellos árboles que alcanzan entre 35 y 50 cm; y fustal alto o viejo cuando el diámetro rebasa los 50 cm (Villavicencio et al. 2009).

La estructura de un rodal se puede describir mediante tres características: posición o distribución espacial, diversidad y mezcla de especies y diferenciación tanto vertical como horizontal (Del Rio et al. 2003).

En síntesis, sobre la diversidad estructural interesan dos aspectos en las masas forestales mixtas:

- a) la riqueza o variedad de las especies, así como las proporciones de cada una de ellas en el rodal y,
- b) el grado de mezcla o como se reparten las diferentes especies en el espacio.

2.5 Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) fueron desarrollados en Canadá y son considerados como una herramienta para la toma de decisiones en tanto para el área de la geomática, como para otras disciplinas (Anónimo, 2012).

Un SIG es un conjunto organizado de conocimientos sistemáticos sobre las diversas formas de integrar y analizar la información acerca de entidades geográficas. También se ha definido como una colección organizada integrada de un hardware, un software y datos geográficos, diseñada para capturar, almacenar, actualizar, manipular o simular, analizar y desplegar todas las formas de información geográficamente referenciada (Escalante et al. 2000), de tal manera que permite y facilita el análisis, gestión o representación de un espacio del territorio (Hurtado, 2007).

La tecnología de los SIG frecuentemente se ha confundido con otras ciencias y tecnologías que manejan datos espaciales, tales como la percepción remota, cartografía, geodesia, fotogrametría y la geografía. Como un ejemplo se define a la percepción remota como una tecnología de fuente de datos, y a un SIG como una tecnología de procesamiento de datos (Escalante et al. 2000).

Gracias a la amplia difusión de información geoespacial y el desarrollo de las técnicas SIG, en los últimos años se han implementado técnicas aplicadas a la generación de modelos de distribución de especies. Los modelos resultantes de estas técnicas se están mostrando eficaces para establecer planes de conservación, buscar nuevas localizaciones de especies raras y amenazadas, avanzar en la comprensión de los patrones espaciales de la biodiversidad, o evaluar el impacto del cambio global sobre la distribución de los organismos (Pando y Peñas, 2007a).

Los SIG son capaces de definir escenarios, es decir de crear modelos que permiten suponer y predecir el comportamiento de una o más variables que se expresan en el espacio geográfico (Palacio, 1992); de esta manera los SIG se desempeñan como una herramienta de modelización (algoritmos predictivos), coordenadas de presencia de los sujetos de análisis y una base de datos medioambiental que proporcione las variables predictivas para su análisis; también se han desarrollado Sistemas de Información sobre Biodiversidad (SIB) y geográficos (SIG), los cuales son herramientas que permiten conjuntar los datos almacenados para hacer interpretaciones y realizar aplicaciones prácticas en el campo de la conservación, a partir de patrones biogeográficos descubiertos al integrar los datos. A través de estas herramientas se ganan precisión, rapidez y homogeneización pues facilitan la

comparación con escalas y dan la posibilidad de introducir varios parámetros geográficos (clima, suelo, vegetación, topografía u otros) que conceptualizan los limitantes ecológicos en las distribuciones (Escalante et al. 2000).

2.6 Distribución de especies

La biogeografía estudia la distribución de los seres vivos en el tiempo y en el espacio, así como las causas que dieron lugar a tal distribución. Uno de los principales objetivos es describir y comprender los patrones de distribución geográfica de las especies y taxones supraespecíficos (Yáñez y Luna, 2008).

Cada especie tiene una distribución única dentro del espacio ambiental, determinada por su constitución genética y sus requerimientos fisiológicos. La distribución por su parte, está limitada por las interacciones ecológicas con otras especies. Por lo que existe soporte teórico para usar variables ambientales en el modelado de los patrones de distribución más amplios (Margules y Sarkar, 2009). La distribución geográfica de una especie es el conjunto de localidades donde esta ha sido registrada, ya sea mediante la recolecta de especímenes o la observación directa o indirecta. El área de distribución geográfica, resulta de la inferencia acerca de cuál es el área de mayor probabilidad de que una determinada especie este presente (Rodríguez y Escalante, 2008).

Existen dos alternativas para estimar los patrones de distribución geográfica de los taxones, ya bien sea intuitivamente o al relacionar las localidades de los registros con variables ambientales mediante el uso de modelos empíricos predictivos, como por ejemplo BIOCLIM (Envolventes bioclimáticas) (Bonet, 2007); u otros modelos estadísticos como los MLJ (Modelado Lineal Generalizado o Generalized Linear Modelling, GLM) y los MAG (Modelado Aditivo Generalizado o Generalized Additive Modelling, GAM) o los métodos de aprendizaje cibernético, como MaxEnt (Máxima entropía); este último pueden ser usados con datos de sólo presencia, es decir, existen registros de donde está presente el taxón, pero no se conoce si una "no presencia" es una ausencia verdadera o simplemente es resultado de que el taxón en cuestión no fue buscado en el sitio (Margules y Sarkar, 2009).

Para poder predecir zonas de distribución de especies primero se debe de determinar el tipo de ambiente donde se encuentra la especie y luego predecir que la especie ocurre en cualquier lugar donde se presente este tipo de ambiente. Entre mejor se haya definido la relación entre la especie y el ambiente, mejor será la predicción; además, los datos ambientales más precisos pueden permitir una predicción más detallada (Nature Serve, 2006).

La definición de la relación especie-ambiente se basa en el conocimiento existente sobre los lugares donde una especie tiende a ocurrir (especies conocidas en pocas localidades), por otro lado, una computadora establece la relación con base en el ambiente encontrado en las localidades donde los investigadores de campo han documentado la ocurrencia de la especie (brindan relaciones especie-ambiente muy detallada para especies conocidas en muchas localidades) (Nature Serve, 2006).

2.6.1 Modelos de distribución de especies

El modelado es definido como la generalización, mediante simulación o formulación matemática de una realidad que solo conocemos parcialmente. En los últimos años las técnicas de modelados cada vez se aplican más en campos diversos de la biología-ecología, evolución, biogeografía y biología de la conservación; se desea

modelizar, variables ambientales que cubran todo el área de estudio y uno o varios métodos que establezcan una relación entre ambos; en el caso del uso de los modelos de distribución de especies, se describen de manera general los siguientes tres pasos de desarrollo (García, 2008):

- 1) Se parte de datos conocidos sobre la distribución del organismo;
- 2) Se asocia matemática o estadísticamente los datos con diferentes variables independientes que describen las condiciones ambientales;
- 3) Se extrapola la relación al resto del área de estudio y se obtiene un mapa de idoneidad o probabilidad de presencia de la especie, es decir un índice de lo adecuado que es un determinado lugar para el desarrollo de la especie en relación con las condiciones ambientales.

Por lo tanto, los modelos son generalizaciones objetivas y repetibles que indican lo adecuado que es una determinada área para el desarrollo de una especie, en otras palabras, el modelado de distribución de especies consiste en buscar una relación estadística o matemática entre los datos disponibles sobre la distribución de una especie y diferentes variables que describen las condiciones ambientales, extrapolando esta relación al resto del área de estudio, donde la combinación del clima y otros factores se emplean para explicar la distribución de la vegetación en determinada área (Pando y Peñas, 2007a; García, 2008).

La figura (1) muestra un modelo conceptual para la predicción de la distribución potencial de especies, la cual se fundamenta metodológicamente en la teoría de modelos de distribución y el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG).

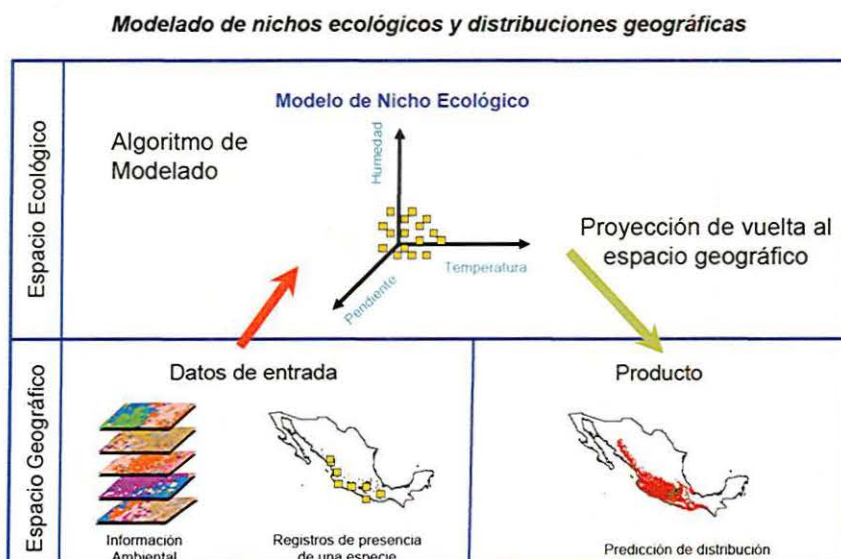


Figura 1: Modelo conceptual de la metodología para el modelado de nichos ecológicos y distribuciones geográficas (Tomado de: Liras (2008)).

A lo largo de su evolución, estos modelos han recibido nombres muy diferentes, por ejemplo: modelos de nicho, modelos de idoneidad o modelos predictivos del hábitat. Recientemente se comienza a unificar criterios y la mayoría de las publicaciones hacen referencia al término “Modelos de distribución de especies” y su resultado final recibe el nombre de mapas de idoneidad de hábitat o de hábitat potencial (García, 2008).

El nicho fundamental de una especie es la combinación de las condiciones ecológicas que la especie puede tolerar, expresada como un espacio multidimensional ambiental. Cuando este espacio está limitado por las interacciones con otras especies (por ejemplo competencia) se habla de un nicho realizado; en la mayoría de los casos la modelización es el nicho realizado (interacción con otras especies) pero utilizando variables que sólo son oportunas para definir el nicho fundamental (condiciones ecológicas).

La expresión de esta idoneidad del hábitat puede ser binaria, otorgando valor 1 a las áreas idóneas y 0 a las no idóneas, o continuas, según un rango de valores que clasifican el territorio (Pando y Peñas, 2007a); para la construcción de estos modelos existen algunos factores que puedan afectar en gran medida a la precisión del resultado final, por ejemplo:

A) La calidad de los datos de localización de la especie: Son dos tipos de datos utilizados habitualmente para generar modelos de idoneidad del hábitat.

Registro de presencia

Un registro de sólo presencia es incuestionable (especialmente si se trabaja con especies sésiles y salvo error de la identificación de la especie).

Registros de ausencia

La dinámica de una población, la fragmentación del hábitat o la capacidad dispersiva son factores que pueden llevar a designar como ausencia una localización con características óptimas para la especie, alterando el resultado final y restando significación biológica en la interpretación del modelo. Esta circunstancia es habitual cuando se trata con especies que no están en equilibrio con su medio (invasoras) u organismos con grandes fluctuaciones interanuales en el tamaño poblacional, que puedan generar ausencias temporales, o también en organismos con baja detectabilidad, que originan ausencias aparentes.

B) Las variables predictivas seleccionadas.

Idealmente deberían ser aquellas que se consideren las causantes directas de la distribución de la especie, aunque es habitual que se utilicen directamente las disponibles, generalmente derivadas de los modelos digitales de elevación o interpolación espacial a partir de datos de estaciones climáticas. Las variables predictivas pueden clasificarse como: gradientes de recursos directamente consumidos (nutrientes, agua, luz), gradientes directos que son parámetros con importancia fisiológica (temperatura, pH) y gradientes indirectos, relativas a las características físicas del territorio (elevación, pendiente, exposición, geología) (Pando y Peñas, 2007a).

C) El algoritmo o método estadístico seleccionado.

Pueden utilizarse métodos basados en registros de presencia-ausencia como, GLM GAM, y redes neuronales o algoritmos basados únicamente en presencia como Bioclim, Domain (Domain Modelling Domain), GARP (Genetic Algorithm for Rule.set Prediction) y MaxEnt (Maximum Entropy). Los modelos basados únicamente en presencias representan generalmente la distribución espacial del nicho ecológico fundamental de la especie (distribución potencial, condiciones ecológicas, ambientales y climáticas), mientras que los basados en presencia-ausencia indican

de modo más próximo la distribución del nicho ecológico efectivo (interacciones con otras especies, ejemplo la competencia).

MaxEnt es un método que aplica el principio de máxima entropía para calcular la distribución geográfica más probable para una especie; este modelo estima la probabilidad de ocurrencia de la especie buscando la distribución de máxima entropía (lo más uniforme posible) sujeta a la condición de que el valor esperado de cada variable ambiental según esta distribución coincide con su media empírica (Pando y Peñas, 2007a).

La entropía es el grado de evolución (orden) que existente en un sistema. El principio de la entropía máxima afirma que, para todo sistema cerrado, la entropía siempre tiende a aumentar, es decir que todo sistema cerrado siempre tiende al desorden o a la incertidumbre estadística (Hurtado, 2007).

La modelación MaxEnt estima la distribución de la probabilidad de incidencia desconocida de una especie, con base a los registros georeferenciados de su presencia. Parte del supuesto de que la mejor estimación es la probabilidad de la distribución de un parámetro, conocido como la máxima entropía. Dicha estimación está sujeta a la limitación de que el valor esperado de cada variable ambiental, bajo la distribución de este estimador, es igual a su promedio empírico (formalmente, la entropía es la misma función que el índice de Shannon de diversidad alfa, pero en este caso, la probabilidad de incidencia de una sola especie en diferentes localidades geográficas reemplaza a la frecuencia relativa de cada especie, en el índice de Shannon) (Margules y Sarkar, 2009).

Los resultados de MaxEnt son las probabilidades relativas de incidencia o curvas de respuesta para las especies en cada una de las celdas del espacio geográfico de las distintas variables ambientales (Margules y Sarkar, 2009); el modelo expresa el valor de idoneidad del hábitat para la especie como una función de las variables ambientales. Un valor alto de la función de distribución en una celda determinada indica que esta presenta condiciones muy favorables para la presencia de la especie. El modelo puede utilizar variables cualitativas, otorgando a cada valor de la variable un peso relativo al número total de puntos de presencia que contiene (Pando y Peñas, 2007b).

2.7 Análisis multivariable

El análisis multivariable se refiere a efectuar un estudio exploratorio de datos, cuyo objetivo es detectar patrones en la estructura de los mismos (Margules y Sarkar, 2009); es particularmente útil para un conjunto de datos escasos. Muchos de estos conjuntos, que pueden ser utilizados para establecer prioridades sobre la biodiversidad, son escasos en cuanto a su cobertura.

En ecología de comunidades se han desarrollado metodologías y técnicas para el análisis de una gran cantidad de datos, además de desarrollos de software que facilita el análisis matemático y estadístico de las relaciones numéricas siendo cada vez mayor el número de trabajos que involucran el análisis multivariable (ordenación y clasificación dos métodos más comunes) para detectar relaciones entre especies y ambientes (Huerta y Guerrero, 2004). En la ecología y en la biología de la conservación, la clasificación es utilizada para delimitar grupos de objetos, comúnmente polígonos regulares, como celdas o cuadrantes, usados para coleccionar y almacenar registros de campo, que tienen rasgos en común. Si los rasgos son especies y los polígonos son clasificados en función de la similitud en la

composición de especies, entonces los grupos resultantes pueden ser concebidos como comunidades o ensamblajes de especies. Si los rasgos son variables ambientales, entonces los grupos son llamados clases o dominios ambientales. La ordenación es utilizada para detectar tendencias en las similitudes y diferencias en la composición de atributos entre polígonos (Margules y Sarkar, 2009).

La información de las comunidades es multivariable debido a que cada sitio se describe por la presencia de muchas especies y a que numerosas variables ambientales afectan la proporción de las especies dada la naturaleza de las múltiples interacciones posibles entre las especies y el ambiente (Huerta y Guerrero, 2004).

El análisis multivariable en la ecología considera tres propósitos generales.

- 1) Resumir la redundancia, reducir ruido, vislumbrar relaciones, e identificar límites. Provee resultados relativamente automáticos y objetivos para cambiar el nivel de abstracción de datos lineales convenientemente colectados, a propiedades a nivel de comunidad y representarlas en gradientes de pocas dimensiones.
- 2) Relacionar comunidades con otros tipos de datos, incluyendo datos ambientales e históricos.
- 3) Mejorar nuestra comprensión de las comunidades, al hacer posibles mejores modelos de estas.

La ordenación es el término colectivo para una serie de técnicas que arreglan objetos (muestras o especies), a lo largo de ejes abstractos construidos sobre la base de composición de especies. El objetivo de la ordenación es acomodar las muestras, relevamientos o especies, de tal manera que la distancia entre los puntos esta inversamente relacionada con las semejanzas entre ellos, así como, representar las relaciones entre las especies y las muestras (unidades geográficas), lo más exacto posible, en un espacio de pocas dimensiones (McCune y Mefford, 1999; Huerta y Guerrero, 2004).

El producto final es una gráfica, bi-dimensional, en la cual, las muestras o especies semejantes (o ambas), se encuentran cerca entre si y las disimiles se encuentran apartadas.

3 ANTECEDENTES

Vegetación y estructura

México es un país con una gran diversidad biológica; a escala mundial se ubica entre los 12 países considerados como megadiversos que en conjunto albergan el 70% de la biodiversidad total del planeta (CONABIO, 2009); entre los factores que hacen posible esta diversidad se encuentra la topografía, la variedad de climas y la compleja historia geológica y biológica del país, además de que por su posición, el territorio mexicano está ubicado en la zona de dos grandes regiones, la Neotropical, correspondiente a Centro y Sudamérica y la Neártica, correspondiente a Norteamérica, por lo anterior, existe en el país una rica mezcla de flora y fauna dentro de una gran variedad de ambientes naturales como las zonas marinas y costeras, las altas montañas, las zonas áridas hasta los bosques tropicales húmedos entre otras.

En 1966 fue publicada por Rzedowski y McVaugh la obra titulada *Vegetación de Nueva Galicia*; el trabajo se refiere a una amplia región que abarca en su totalidad los estados de Jalisco, Colima, Aguascalientes y porciones de los estados de Nayarit, Durango, Zacatecas, Guanajuato y Michoacán, donde por primera vez se hace referencia a la vegetación del occidente de México (Guerrero y López, 1997).

Los pinos migraron hacia el actual territorio mexicano desde el hemisferio norte a través de corredores naturales e impulsados por los cambios climáticos del pasado (Sánchez, 2008); los procesos de diversificación del género ocurrieron en las principales cadenas montañosas, las cuales funcionan como corredores biológicos o como islas biogeográficas que definieron el patrón de distribución general actual de los pinos.

P. herrerae en principio fue clasificado y denominado como *Pinus teocote* en 1931 por el Ing. Jesús González Ortega; sin embargo en 1939 Maximino Martínez después de un examen minucioso fue quien lo denominó como una especie nueva. Para su descripción esta especie fue colectada en Jalisco en la Sierra del Halo, en el municipio de Tecalitlán, Jalisco en mayo de 1939 y fue remitido por el señor José Pérez Gómez, guarda forestal de Pihuamo que le encontró semejanza con *Pinus teocote* (Martínez, 1948). A partir de la década de los ochenta aumenta el interés por estudiar la vegetación y flora de Jalisco donde se pueden citar varios trabajos, pero muy pocos con respecto al área de la Sierra de Quila (Guerrero y López, 1997).

Aunque la mayoría de especies mexicanas de Pinos poseen afinidades hacia los climas templados a fríos y semihúmedo y hacia los suelos ácidos, existen notables diferencias entre una especie y otra y algunas que no se ajustan a estas normas, encontrándose excepciones que prosperan en lugares francamente calientes, en lugares húmedos, en los semiáridos, así como sobre suelos alcalinos. Por otra parte dentro de las mismas zonas de clima templado y semihúmedo, los pinares no constituyen el único tipo de vegetación prevaleciente, ya que compiten ahí con los

bosques de *Quercus* y a veces con los de *Abies*, *Juniperus*, *Alnus* y con algunas otras comunidades vegetales (Rzedowski, 2006).

La caracterización de la vegetación forestal comprende la estructura y dinámica de un bosque, los aspectos ecológicos y de manejo, donde se desarrollan y/o a los cuales han sido expuestos. La estructura de una masa forestal está directamente relacionada con su estabilidad frente a distintos factores bióticos y abióticos, así como a los beneficios directos e indirectos (fijación de carbono, paisaje, protección del suelo, etc.), por lo tanto un adecuado conocimiento de la estructura de las masas forestales y de su dinámica resultará esencial para fortalecer y garantizar la gestión sostenible de estos ecosistemas.

De acuerdo con Rondeux (1999), las diversas variables referentes a los árboles y a la estructura de los bosques están en estrecha correlación con los demás componentes del ecosistema forestal: suelo, flora y fauna, por consiguiente, la información básica sobre los ecosistemas o comunidades vegetales protegidas constituyen una herramienta esencial para la implementación de medidas adecuadas en la conservación y manejo a corto, mediano y largo plazo.

Villavicencio et al. (2002) realizaron una descripción estructural mediante índices de caracterización cuantitativa en un ecosistema forestal en la Sierra de Quila, se establecieron dos parcelas cuadradas intercaladas dentro de una red sistemática de sitios circulares, cada parcela cuadrada cubrió una superficie de 100 x 100 m en un bosque de pino-encino. Las parcelas se subdividieron en 25 cuadrantes de 20 x 20 m, en éstos se levantaron datos dasométricos, variables cualitativas y ubicación de manera espacial mediante una coordenada cartesiana, todos los arboles igual o mayores a 7cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). La composición de especies para cada parcela se determinó de acuerdo al índice de importancia ecológica (IVI), para la estimación de los índices de agregación, diferenciación dimensional y mezcla de especies, los autores utilizaron el método de muestreo "grupo estructural de cuatro árboles" y para la estructura vertical emplearon el índice del perfil (A) de Pretzsch. La estructura horizontal en ambas parcelas presentaron una tendencia a distribuirse de manera regular y los índices estructurales de agregación, el perfil vertical, la diferencia dimensional y mezcla de especies mejoran sustancialmente la descripción de los ecosistemas forestales mixtos de manera cuantitativa. La caracterización de la vegetación es el primer paso para comprender la estructura y dinámica de un bosque y la estructura espacial en masas forestales de formación natural son importantes especialmente para los procesos regenerativos del bosque, además de ser considerado como un factor para la determinación del hábitat y diversidad de especies (Villavicencio et al. 2002).

Cruz et al. (2009) señalan que la diversidad estructural es uno de los aspectos más relevantes en el ámbito forestal ya que puede ser fácilmente modificable a través de las intervenciones silvícolas y donde la estructura de una masa forestal está relacionada con el hábitat de muchos animales y plantas, pudiéndose utilizar en muchos casos como un indicador de la biodiversidad; misma que implica conocer su distribución y los factores ambientales y climáticos asociados.

Jiménez et al. (2001) mencionan que el conocimiento de las diversas características estructurales en los bosques multicohortales es fundamental para el desarrollo adecuado de planes de manejo en recursos naturales; los autores especifican una metodología que define el comportamiento de la estructura arbórea en bosques multicohortales de pino-encino mediante el uso de indicadores ecológicos en la

Sierra Madre Oriental, además concluyen que los índices de diferenciación de mezcla de especies y de distribución vertical son la base para definir la posición que guarda cada una de las especies localizadas en el ecosistema forestal y que mediante la aplicación de las variables: diversidad de especies, distribución espacial y diferenciación dimensional, se logra caracterizar en forma cuantitativa las estructuras arbóreas en ecosistemas de tipo multicohortal.

Bauche et al. (2002) analizaron diferentes índices de estimación de la diversidad en el ANP Sierra de Quila en comunidades arbóreas y su relación con variables ambientales y edáficas, con el fin de comparar cada comunidad con base a su composición, estructura y riqueza. Los autores seleccionaron un transecto rectangular piloto con longitud de 10km y 1.8km de ancho orientado de norte a sur en la parte central del ANP. En sus resultados, los autores identificaron 4 tipos de bosques, donde la variación y distribución de especies en estos ecosistemas forestales son relacionados con las características del sustrato y la asociación del gradiente altitudinal, tal fue el caso para la comunidad arbórea en el estrato III (*Feozem háplico*) la cual en una diferencia de altitud de 400m presentó el espectro de diversidad más amplio. El uso de medidas de diversidad donde se emplea la riqueza y la abundancia de especies proporcionan una validez sustentada a los criterios de conservación, ya que estas son comúnmente utilizadas como indicadores ambientales por ser también interpretadas como un índice de salud del ecosistema.

Distribución de especies

Los factores medioambientales tienen un efecto sobre la distribución de la especie ya sea de una forma directa o indirecta. Estas relaciones entre los organismos y el medio abiótico son la causa de los patrones espaciales que pueden observarse a diferentes escalas. La idea de separar la diversidad en tres componentes, alfa (local), beta (regional) y gama (global) fue acuñada por Whittaker (1960) y todavía es considerada como una forma de esquematizar jerárquicamente la diversidad e incorporar el factor escala.

En la macroecología, la cual integra la perspectiva de escalas espaciales amplias y escalas temporales largas en el estudio de la ecología, se hace una distinción entre escalas grandes (global o regional) y escalas pequeñas (local). A escala global las variables que se asocian son los procesos históricos, el balance entre la especiación y la extinción, así como al clima en su aspecto más amplio y el número de especies a nivel global; mientras que a una escala regional los factores más relevantes son los de mayor relación con el ambiente físico, como topografía, suelo, entre otros. En términos de escala local, los factores como microambiente e interacciones bióticas son los que se asocian de manera más directa (Rodríguez y Vázquez, 2003). En este contexto, Navarro et al. (2003) mencionan que la relación entre las condiciones ambientales y las localidades conocidas del nicho ecológico de un taxón puede ser una forma de explicar los patrones de distribución.

La distribución geográfica de las especies y los factores que la determinan han sido abordadas por diversos estudios ecológicos; los primeros en este sentido eran aplicados a comprender la distribución de las especies de importancia comercial o a prevenir las invasiones de plagas o especies exóticas (Arita y Rodríguez, 2003). Posteriormente aparecieron estudios en los que se analizó la distribución de las especies desde un punto de vista más ecológico y la primera generalización que se propuso fue que, para el caso del hemisferio norte, los límites septentrionales de la distribución de las especies estaban determinados por factores climáticos, mientras

que los límites hacia el sur dependían más de las interacciones ecológicas con otras especies (Arita y Rodríguez, 2003).

Otros estudios sobre la distribución de especies de *Pinus* lo realizaron Herrera et al. (2005), en este describen un análisis comparativo sobre la distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii* a lo largo de la Sierra Madre Oriental; encontrando considerables diferencias entre estas poblaciones del norte y del sur, en cuanto a su superficie y las especies arbóreas asociadas; además las poblaciones en los extremos de la distribución natural presentan menor tamaño y menor densidad de arbolado maduro y regeneración natural.

Arriaga y Gómez (2007) mencionan que el aumento en las emisiones de gases efecto invernadero provoca diferencias en la temperatura y precipitación, por lo cual se estima que los tipos de vegetación más afectados en México serán los bosques templados, que implicará un cambio en la distribución de las especies que habitan en esos ecosistemas. Se advierte que una modificación en el área de cobertura de los tipos de vegetación ya sea una extracción o expansión necesariamente traerá como consecuencia una nueva distribución espacial de las especies, los autores ejemplifican con diversas especies de encinos y pinos, entre estos a *P. herrerae*, como la segunda especie de pino con un porcentaje de cambio alto que traerá una modificación o cambio en su distribución actual bajo un escenario por efecto del cambio climático mediante el uso del modelo de HADCM2 (modelo de predicción del clima: por sus siglas, Centro Hadley modelo acoplado).

Pando y Peñas (2007b) mencionan que la utilización combinada de SIG y modelos predictivos de distribución como Bioclim, Domain, ENFA, GARP, y MaxEnt permiten analizar el hábitat potencial de la especie, donde además los resultados pueden ser aplicados a un plan de gestión territorial orientado a la solución de problemas espaciales derivados del conflicto existente entre el desarrollo económico y la conservación.

4 HIPOTESIS

Las variables ecológicas¹ y dasométricas² están relacionadas con el hábitat de la especie, así como los factores ambientales³ y climáticos con el potencial de distribución.

¹ Se consideran todos aquellos factores que se relacionan con el medio en que habitan, bióticos y abióticos, por ejemplo: composición florística, abundancia de especies arbóreas, de arbustos y vegetación herbácea, presencia de rocas y piedras, presencia de incendios y pastoreo.

² Se consideran aquellas provenientes de la medición de un árbol, por ejemplo: diámetro normal y altura.

³ Se consideran aquellas variables naturales existente en un lugar, por ejemplo: altitud, exposición, pendiente, rugosidad, tipo de suelo, geoformas y tipo de erosión.

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Caracterizar la especie *P. herrerae* de manera estructural y ecológica, así como, determinar los factores bióticos y abióticos asociados a su distribución actual y potencial dentro del área natural protegida "Sierra de Quila", Jalisco, México .

5.2 Objetivos específicos

Determinar la composición, riqueza y diversidad estructural de las poblaciones existentes de *P. herrerae*.

Identificar las áreas potenciales de distribución de *P. herrerae* en un contexto geográfico local dentro del área natural protegida.

6 JUSTIFICACION

Debido a la distribución restringida y disyunta de *P. herrerae* a tres sistemas montañosos que confluyen en el occidente de México, ser una especie endémica del país y no obstante la calificación que la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2010) determina para la especie como de Bajo Riesgo/menor preocupación para México, en el Estado de Jalisco esta especie es considerada por Dvorak et al. (2000) como vulnerable, ya que es una de las especies de mayor aprovechamiento en la industria forestal.

Si bien la “Sierra de Quila”, ubicada en la región administrativa Sierra de Amula del Estado de Jalisco, es un área protegida establecida por decreto presidencial el 4 de agosto de 1982; tiene como objetivo conservar los procesos ecológicos para el funcionamiento de los ecosistemas, además es un área que alberga una gran cantidad de especies de flora y fauna. Este sistema montañoso al igual que otras áreas forestales del país ha experimentado diversos grados de perturbación debido al sobrepastoreo, la tala clandestina, la cacería furtiva, las plagas tanto de insectos como de muérdagos (plantas parásitas), incendios forestales, en sí; factores que ocasionan un problema para el equilibrio de cualquier ecosistema, esto último debido a que cualquier modificación en la distribución espacial de los recursos también modifica su disponibilidad y función. En este contexto y bajo un escenario futuro, de no realizarse medidas para mitigar estos problemas, podrían reducirse estos ecosistemas a escasas porciones e incluso llegar a desaparecer.

Asimismo, la diversidad biológica se ha convertido en los últimos años en uno de los principales retos en la gestión y conservación de las masas forestales; la diversidad estructural del bosque es un indicador de la composición, funcionamiento y desarrollo de las diferentes especies que conforman el hábitat y donde en muchos de los casos se puede utilizar como indicador de la biodiversidad. Por tal razón y con el fin de coadyuvar al conocimiento de esta singular especie situada en el ANP Sierra de Quila mediante su caracterización y un análisis de su distribución potencial se pretende fortalecer los criterios para las dependencias oficiales que participan en la toma de decisiones relacionadas con la administración en el manejo y la conservación de este recurso forestal. En síntesis, mediante el uso de información dasométrica, estructural y variables ecológicas recabadas en campo, y con información climática del área de estudio, se correlacionará mediante un análisis multivariable aquellas variables y parámetros asociados a la especie; asimismo se aplicará el modelo MaxEnt para determinar cuáles variables climáticas y ambientales destacan en importancia y requerimiento para la especie en estudio para su desarrollo y distribución geográfica potencial dentro del área protegida.

7 MATERIALES Y METODOS

7.1 Descripción del área de estudio

7.1.1 Localización

El Área de Protección de Flora y Fauna “Sierra de Quila” (APFFSQ) forma parte de la cadena montañosa de la Faja Volcánica Transversal ubicada dentro de la subprovincia “Sierras de Jalisco”, limita al norte con la Sierra Madre Occidental, al noroeste con la mesa del centro y al este y sur con la Sierra Madre del Sur (Figura 2).

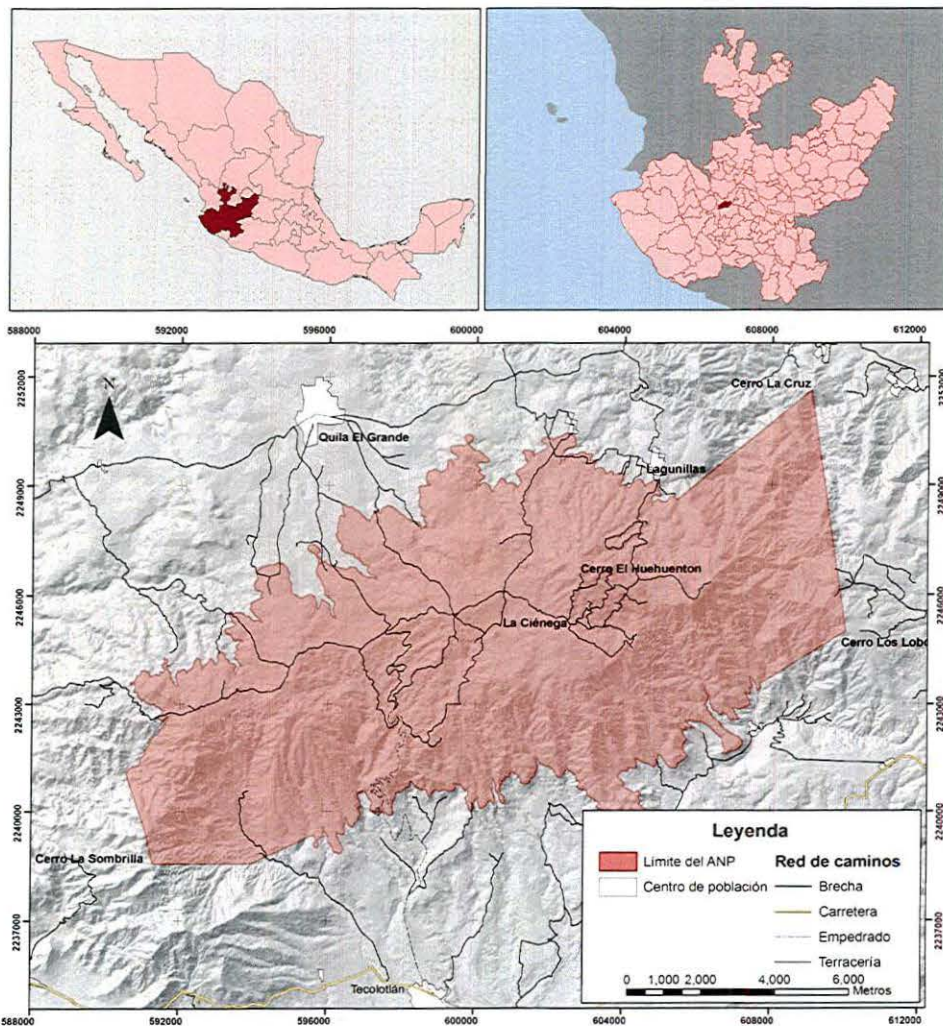


Figura 2: Localización del Área de Protección de Flora y Fauna “Sierra de Quila” Jalisco, México.

El APFFSQ abarca un macizo montañoso naturalmente delimitado al que corresponde un conjunto de biomas geoclimáticamente adaptados y no solamente a la zona mencionada sino a toda la sierra que presenta una gran diversidad de especies (Guerrero y López, 1997).

El área protegida se encuentra geográficamente entre los paralelos 20°14' 29" y 20° 21' 37" latitud N y 103° 56' 49" y 104° 07' 53" longitud W (Ortega, 2007). Su límite altitudinal varía de 1350 a 2560m y cubre una superficie de 14,168 hectáreas, ubicadas dentro de los municipios de Tecolotlán, Tenamaxtlán, San Martín Hidalgo y Cocula en el Estado de Jalisco (CONANP, 2010).

7.1.2 Geología y suelos

El origen geomorfológico de la mayor parte del territorio de la Sierra de Quila se sitúa en el periodo Terciario de la era Cenozoica (35 millones de años aproximadamente) y la porción más antigua tuvo su origen en el Cretácico (65 millones de años) (Guerrero y López, 1997). Las formaciones rocosas (Cretácico y Terciario) que se encuentran en la Sierra de Quila están compuestas en su mayor parte por afloramientos de roca extrusiva ácida (46%), el basalto la más abundante (53 %), y sólo 1 % de toba de acuerdo a la carta geológica de CETENAL (1973).

Villavicencio et al. (2005) describen los siguientes tipos de suelo para el APFFSQ: Cambisol eútrico, Cambisol húmico, Feozem háplico, Feozem luvico, Litosol, Luvisol crómico, Regosol eútrico y Vertisol pélico.

7.1.3 Hidrología

La Sierra de Quila es un parteaguas que abastece a dos de las cuencas hidrológicas del Estado de Jalisco, la cuenca de Ameca-Atenguillo situado al norte de la Sierra y al sur la cuenca Armería. Los arroyos que bajan por las cañadas de la cara norte se juntan para formar al río Grande, que después se convierte en el río Ameca y los arroyos que bajan por las cañadas de la cara sur forman el río Tecolotlán y el río Atengo que se une después al río Ayuquila (CEAS, 2005).

7.1.4 Clima

En la Sierra prevalecen dos tipos de climas, de acuerdo al criterio de Köppen modificado por García (1988): el primero es el clima C (W₂) (W), templado, subhúmedo con temperatura media anual entre 12°C y 18°C y temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y se presenta principalmente en sentido centro-norte. El segundo es el tipo de clima (A) c (W₁) (W), templado semicálido con temperatura media anual mayor a 18°C, a semicálido subhúmedo con lluvias en verano; presente en la mayor parte de la sierra, sobre todo en el centro y en sentido este-oeste. La precipitación pluvial varía según las zonas y es durante los meses de junio a septiembre cuando se presentan las lluvias con mayor frecuencia, con un promedio de 881mm (Ruiz et al. 2003).

Los climogramas representan el clima de una región poniendo en evidencia de una manera rápida las diferencias o similitudes climáticas, es decir, se utilizan para hacer más intuitivos los elementos climáticos. La figura (3) muestra los climogramas de las estaciones climatológicas cercanas al APFFSQ ubicadas al sur en el municipio de Tecolotlán y la otra al norte en el municipio de Ameca, el registro de datos con las que fueron elaboradas comprende un período de entre 1961 y 2000 (ver Ruiz et al. 2003).

La estación que se encuentra en la cabecera municipal de Tecolotlán se ubica a 1285m de altitud. La temperatura media anual es de 22.7°C, con una máxima media de 31.5°C y una temperatura mínima media de 13.8°C. La precipitación promedio es de 770.2mm, con un período de sequía de noviembre a mayo; mientras que la estación que se encuentra en Ameca se ubica a 1419m de altitud. La temperatura media anual es de 21.4°C, con una máxima media de 30.2°C, y una temperatura mínima media de 12.6°C. La precipitación promedio anual es de 856.9mm, con el mismo período de sequía.

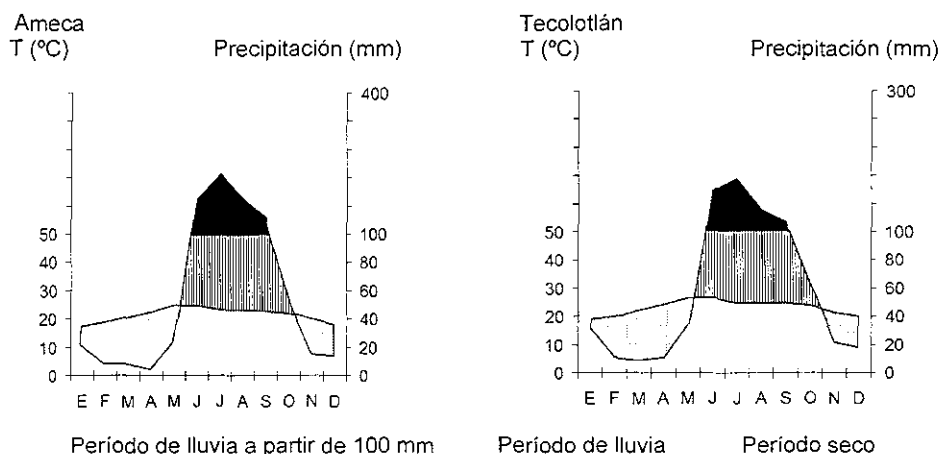


Figura 3: Climograma de dos estaciones próximas al APFFSQ, al norte (Ameca) al sur (Tecolotlán) (Datos fuente: Ruiz et al. 2003; Elaboración: propia).

7.1.5 Vegetación y fauna

La diversidad de condiciones, edáficas y climáticas de la sierra ha dado como resultado la presencia de seis tipos de vegetación de acuerdo a Rzedowski (1978) y Miranda y Hernández (1963). Estrictamente los géneros que más se diferencian son *Pinus* y *Quercus*, la mezcla de estos géneros han dado origen a otras tres condiciones de bosque mixto donde la dominancia de uno u otro género se hace presente. Todo este conjunto de comunidades conforman el paisaje y los principales tipos de vegetación del área protegida descritos a continuación (ver Figura 4).

a) Selva Tropical Caducifolia, constituida principalmente por especies arbóreas que pierden sus hojas en la temporada de estiaje, lo que ocurre por lo menos durante seis meses; entre los elementos arbóreos más comunes se encuentran, *Aralia humilis*, *Bouvardia multiflora*, *Croton incanus*, *Iresine casiniiformis*, *Jatropha cordata*, *Montanoa tomentosa*, *Tecoma stans*.

b) Bosque de Pino-Encino, estas comunidades se componen principalmente de especies de *Pinus* y *Quercus* (en su mayoría Pinos) géneros que forman intrincados mosaicos con relaciones complejas debido a la similitud de sus exigencias ecológicas; en cuanto a las especies más comunes se encuentran *Pinus lumholtzii*, *P. douglasiana*, *P. oocarpa*, *Q. resinosa* y *Q. coccolobifolia*.

c) Bosque de Galería, son comunidades o agrupaciones arbóreas que crecen a lo largo de los ríos y arroyos permanentes o semipermanente y alguno de los árboles característicos son *Alnus acuminata*, *Astianthus viminalis*, *Ficus goldmanii*, *Salix bonplandiana* entre otras.

d) Bosque Mesófilo de Montaña, es una formación vegetal restringida y escasa, que al igual que los bosques de pino-encino ocupa las zonas templadas de las montañas, pero se distribuye en localidades mucho más húmedas que las propias para los anteriores bosques, están compuestas por elementos perennifolios tanto como caducifolios.

e) Bosque Espinoso, lo compone un conjunto heterogéneo de comunidades vegetales cuya característica principal es la de agrupar elementos que en su gran proporción o mayoría son árboles espinosos, este tipo de bosque se encuentra dominado por una sola especie *Prosopis laevigata*, denominado mezquite y en su forma subordinada le acompaña el guamúchil (*Pithecellobium dulce*).

f) Bosque de Encino, que son comunidades vegetales dominadas ampliamente por varias especies del género *Quercus*; estando entre ellas *Q. resinosa*, *Q. magnoliifolia*, *Q. gentryi*, *Q. laeta*, *Q. resinosa* y *Q. castanea* (Guerrero y López, 1997).

En cuanto a la fauna, los pisos altitudinales que determinan los diferentes perfiles vegetales, condicionan y originan la presencia y diversidad de fauna tanto de afinidad Neotropical, como de carácter Neártico. De acuerdo a Rodríguez et al. (2010), Ramírez et al. (2010) y Escobar (2011), como resultado de las actividades de investigación relacionado a las diferentes clases de fauna silvestre en el APFFSQ se presenta la siguiente tabla (2).

Tabla 2. Clases representadas de fauna en el APFF Sierra de Quila.

Clase	Familias	Géneros	Especies
<i>Amphibia</i>	9	15	20
<i>Reptilia</i>	10	26	35
<i>Aves</i>	27	59	80
<i>Mammalia</i>	19	42	56
Total	65	142	191

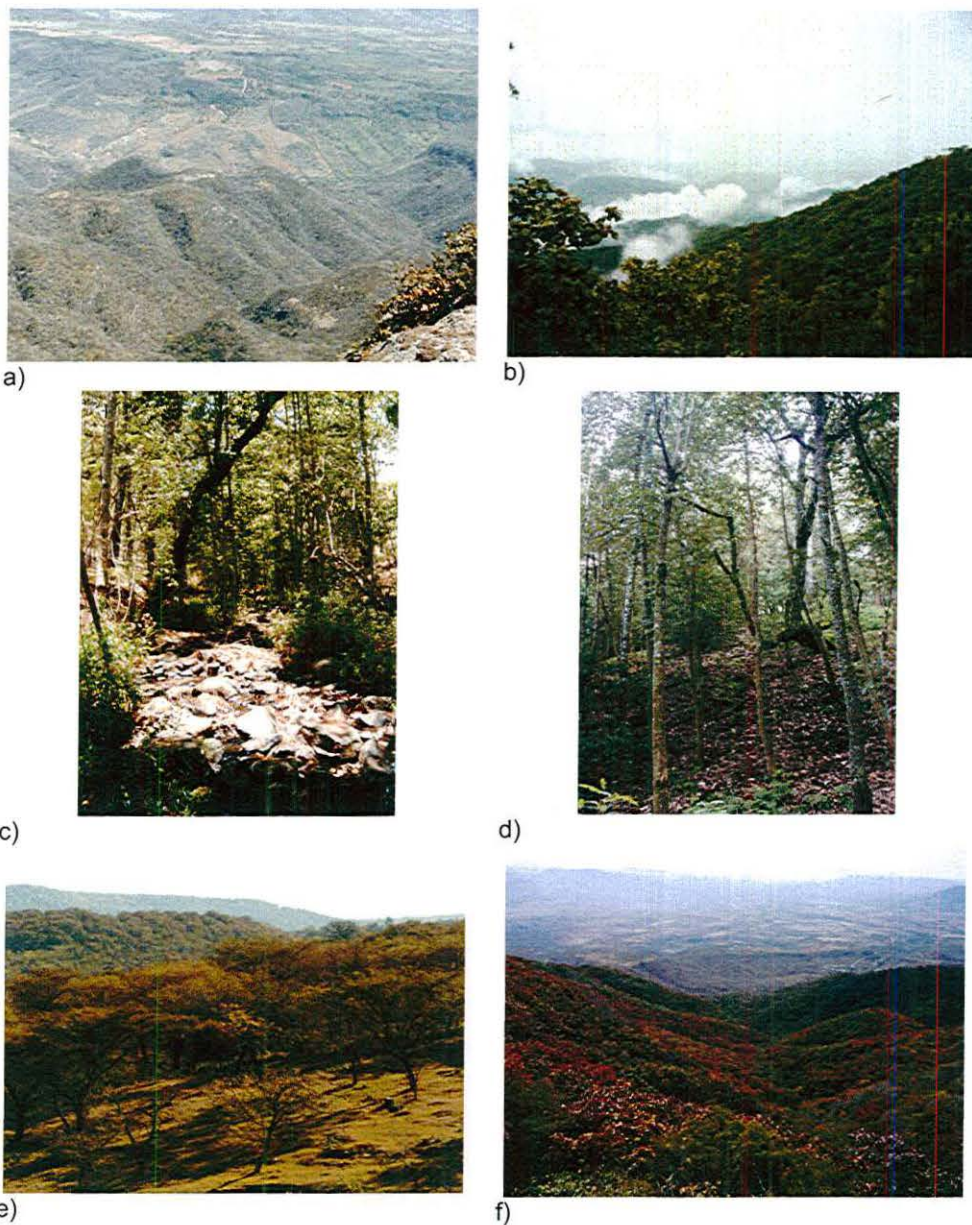


Figura 4: Tipos de vegetación en el APFF Sierra de Quila; a) selva baja caducifolia, b) bosque de pino-encino, c) bosque de galería, d) bosque mesófilo de montaña, e) bosque espinoso y f) bosque de encino.

7.2 Materiales

7.2.1 Trabajo de campo

El desarrollo del presente trabajo se dividió en dos etapas, los materiales ocupados en el trabajo de campo fueron:

1. Clinómetro Sunnto
2. Cinta diamétrica (5m) / Forcípula
3. Brújula
4. GPS-Navegador marca Garmin 60 CSx
5. Altimetro
6. Flexómetro (30m)
7. Distanciómetro Láser
8. Martillo
9. Estacas de metal
10. Formatos de registro
11. Lápices
12. Pintura en aerosol color naranja
13. Cartas topográficas de INEGI a escala 1:50000: F13D73, F13D74 y F13D83.
14. Ortofotografías (película: Color infrarrojo a escala 1:10000)
15. Instructivo de campo
16. Baterías
17. Prensa
18. Bolsas de plástico (muestras de suelo)
19. Pala
20. Caja de herramientas (guarda-equipo)

7.2.2 Trabajo de gabinete

Los materiales utilizados para el trabajo de gabinete fueron:

1. Puntos de colecta georeferenciados (presencia de especies).
2. Proyección: Universal Transverse Mercator (UTM); Zona 13N
3. Datum: World Geographic System 1984 (WGS84)
4. Unidad: Metro
5. Cartografía climatológica sobre precipitación media anual, temperatura máxima, evaporación, humedad relativa anual, temperatura mínima, evapotranspiración y temperatura media anual (Fuente: Cartografía del sistema de información ambiental para el estado de Jalisco INIFAP CIRPAC (2003), referente a los registros de datos climáticos de 116 estaciones por el periodo de 1961 a 2000).
6. Cartografía temática vectorial (raster/grid): textura, pendiente, exposición, área de radiación solar, rugosidad y altura, (elaboración propia a partir del Modelo de Elevación del Terreno (MET), geología, tipo de suelos (cartografía temática de INEGI, 1999^a), curvas de nivel de 5m (Fuente: Comité Regional Sierra de Quila Jalisco, México, 2004) vegetación e Índice normalizado de vegetación (Villavicencio, 2004).
7. Ortofotografías color infrarrojo (Fuente: Comité Regional Sierra de Quila Jalisco, México, 2004)
8. Equipo de cómputo
9. Programas para proceso de imágenes: SIG: ArcView 3.2 / ArcGIS 9.3 (ESRI), Plots de sitios de muestreo: PKPlot (Institut für Forsteinrichtung und

Ertragskunde, Universität Göttingen); Estadística: Excel 2007, WinStat (add-in para Excel); Análisis multivariable: PC-ORD 5.0.

7.3 Metodología

7.3.1 Inventario forestal

El inventario forestal fue implementado para obtener información dasométrica y ecológica a fin de contribuir al conocimiento y situación actual de la especie en estudio. En el APFFSQ se identificaron dos principales áreas de distribución de *P. herrerae*, ubicadas en la parte noroeste sobre una superficie aproximada a las 35 ha y la otra superficie en dirección oeste estimando las 550ha; dichas áreas se definieron para este estudio como Rodal Noroeste y Rodal Oeste por su ubicación con respecto al centro del ANP.

En ambos rodales se implementó una red georeferenciada de 53 sitios circulares de manera sistemática de acuerdo a un patrón pre-especificado, utilizando herramientas del Sistema de Información Geográfica (SIG); en el rodal noroeste se estableció una red de 12 sitios de 100x200 m de distancia entre un sitio y otro; para el rodal oeste se definió una red de 41 sitios de equidistantes a 400 m entre uno y otro. La diferencia en la intensidad del muestreo se debe a la amplia distancia (aprox. 2300 m) que existe entre ambos rodales y la reducida extensión que ocupa la especie en el rodal noroeste; considerando por ende, que ambos rodales ocuparían un diferente tamaño de muestreo.

En el interior de los círculos concéntricos de muestreo se identificó la distribución de los árboles; la información de campo por cada sitio se basa primero mediante la referencia geográfica del punto central del círculo con un GPS (Global Positioning System). Cada sitio quedó marcado con una estaca de metal, los círculos tienen una superficie de 500m² y estos fueron utilizados para registrar todo el arbolado adulto, mientras que en el círculo de muestreo menor (100m²) se registró la regeneración natural.

Registro de datos. Una vez establecido el sitio, se procedió a realizar una caracterización ecológica, así como de variables cualitativas, posteriormente se enumeró todo el arbolado que se localiza dentro del radio correspondiente para cada sitio; el radio del círculo de muestreo fue compensado dependiendo del porcentaje de pendiente del terreno. Para llevar a cabo esta enumeración, se determinó como árbol número uno, aquel que se encontrara primero rumbo al norte franco, de no haberlo, la brújula se deslizó en sentido a las manecillas del reloj hasta encontrar dicho árbol, posteriormente se levantó el registro de: el número de árbol, la especie, azimut, distancia del árbol al centro del círculo de muestreo, el diámetro, la altura, vitalidad, daño, piso de altura, posición social y etapa de desarrollo con respecto a todo el arbolado mayor o igual a 7 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP) (ver Figura 5). Para la regeneración natural sólo se contó el número de especies presentes y el piso altitudinal (bajo, medio y alto) de desarrollo de las plántulas o brinzales (ver Anexo 1). Con los registros se analizará la composición, riqueza y diversidad estructural tanto de la especie como en el ambiente en que se desarrolla además de especies que se asocian, entre estas comunidades vegetales.

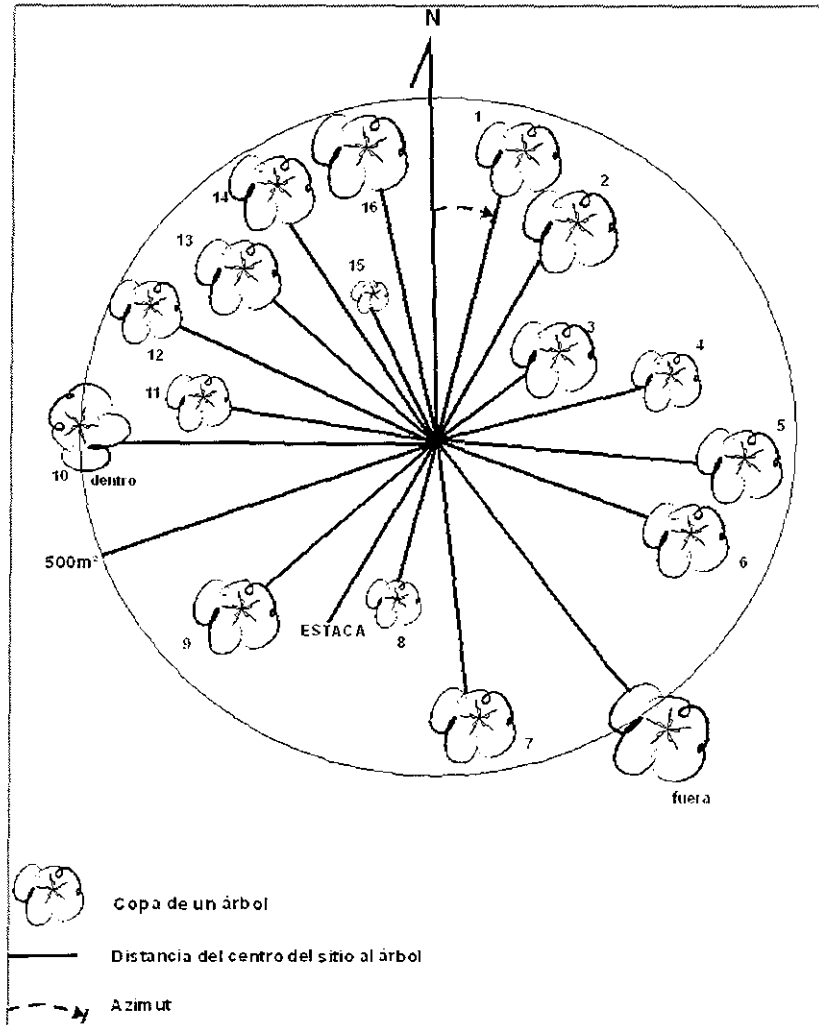


Figura 5: Sitio de muestreo y enumeración del arbolado para el levantamiento de datos dasométricos.

Los sitios fueron evaluados descriptivamente mediante operaciones estadísticas básicas. Se generó una base de datos en el programa Microsoft Excel, sucesivo se elaboraron plots para cada sitio de muestreo con el programa PkPlot en ArcView GIS 3.2a y se generaron histogramas de distribución diamétrica con el programa WinStat 3.1. Por último, se elaboraron gráficos de curvas de altura de la cobertura forestal con la herramienta de gráficos de Microsoft Excel, considerando únicamente las especies de mayor importancia ecológica.

El criterio de la medición y registro de información, se llevó a cabo, de acuerdo a la metodología establecida por Villavicencio (2004); para este levantamiento se emplearon claves y códigos de registro para el formato de campo, los cuales representaran los siguientes parámetros:

Para árboles adultos (mayor a 7cm de DAP)

a)- Datos generales y ecológicos

Rocas	Piedras
0. ausencia	0. ausencia
1. muy pocas	1. muy pocas
2. moderada una c/20m	2. moderada una c/20m
3. abundante una c/10m	3. abundante una c/2m
4. muy abundante una c/1-3m	4. muy abundante una c/0.50m

Incendio	Pastoreo
0. ausencia	0. ausencia
1. ligero no afecta regeneración	1. ligero
2. moderado marco arriba de 50cm y < a 1m	2. moderado una cada 50m
3. fuerte > 1m mueren arboles jóvenes	3. fuerte una c/<50m
4. severo se consume leña gruesa	4. intensivo, se observa gran cantidad de caminos y suelo sin cubierta vegetal

b)- Para la evaluación de la estructura y daños producidos por factores bióticos y abióticos que pudieron presentar los árboles se establecieron los siguientes indicadores

Vitalidad	Daño
1. muerto	0. sin daño
2. turgente	1. descortezado
3. normal	2. cinchado
4. débil	3. insecto
	4. parásitas
	5. quemado
	6. viento

Pisos de altura	Posición social	Etapas de desarrollo
1. piso alto (2/3)	1. dominante	1. regeneración
2. piso medio (1/3-2/3)	2. codominante	2. brinzal
3. piso bajo (1/3)	3. dominado	3. vardascal
	4. suprimido	4. latizal
		5. fustal

c)- Para regeneración natural sólo se registró el tipo de especie y el piso de altura

Pisos
1. Plántulas de 1 a 50cm de altura
2. Brinzales de 50 a 100cm de altura
3. Brinzales mayores a 1m de altura y menores a 7cm de DAP

Para la densidad de copa, arbustos, vegetación herbácea y erosión se diseñó un diagrama de densidad porcentual representado en seis esquemas categorizados con 0%, 1 a 20%, 21 a 40%, 41 a 60%, 61 a 80% y 81 a 100% de cobertura (ver Anexo 1).

Base de datos. Se generó una base de datos de los 53 sitios de los árboles mayores a 7cm de diámetro normal e incluyendo la regeneración natural pasando

los formatos de registro a manera digital, además de separar por especies y cada uno de sus datos correspondientes. Además se creó una base de datos para conjuntar la información estadística de las especies especificando: número de especies, número de individuos, número de árboles por hectárea, promedios de diámetros y altura, volumen por hectárea, total de especies en los diferentes pisos de altura, además los diferentes índices sobre riqueza, diversidad, dominancia, índice de importancia ecológica y de estructura (distribución vertical).

Asimismo se creó una base de datos para la regeneración natural, recabando por sitio, la composición de las especies, el número promedio por hectárea, el total de plántulas y brinzales en los diferentes pisos de altura, así como índices de diversidad y riqueza.

Plots. Una vez definida la base de datos del inventario forestal se generaron plots para cada uno de los sitio de muestreo obteniendo la ubicación gráfica de los árboles. Para generar cada plot fue necesario introducir al programa: la posición de cada árbol dentro del círculo de muestreo con los parámetros: azimut en grados GON (grado centesimal del ángulo central subtendido por un arco cuya longitud es igual a $1/400$ de la circunferencia), la distancia desde el punto central de muestreo a cada árbol y el DAP; para ello, se generaron tablas en formato *prn* a fin de integrarlas al programa.

Estructura horizontal y vertical La estructura horizontal se describe de acuerdo a la frecuencia relativa de las especies según su categoría diamétrica analizada mediante la elaboración de histogramas con la herramienta WinStat para Excel Para la elaboración de estos histogramas se tomó en cuenta el diámetro de las especies con más alto valor ecológico.

Un histograma es una gráfica consistente de un conjunto de rectángulos, cada uno de los cuales tiene como base (eje horizontal) la clase o intervalo y cuya altura (eje vertical) es la frecuencia con que se presenta dicha clase (Padilla, 1981).

El análisis de la distribución vertical de las especies se determinó con el índice del perfil (A) de Pretzsch (1996); para emplear este índice fue necesario definir tres pisos altitudinales en la población, piso (I) de 80 a 100% de la altura máxima de la comunidad arbórea; piso (II) de 50 a 80% y piso (III) de 0 a 50%. El índice (A) registra un valor 0 hasta un valor máximo (A_{max}). Un valor $A = 0$ significa que la comunidad arbórea está representada por una sola especie, además de estar constituida en un solo piso. El valor máximo (A_{max}) se obtiene cuando la totalidad de las especies están representadas en igual proporción en los diferentes pisos.

Curvas de altura. Para el desarrollo de las curvas de altura se tomó en cuenta la relación del diámetro y la altura de cada una de las especies con más alto valor ecológico considerando el total de los individuos de cada una de las especies.

La elaboración de las curvas se realizaron con el programa Microsoft Excel seleccionando el diámetro y la altura de cada uno de los individuos que correspondieran a las 4 especies seleccionadas; las curvas de tendencia se realizaron con el método logarítmico.

Para la estimación y análisis de la diversidad, riqueza y afinidad de especies, además de la estructura forestal se aplicaron, diversos índices (ver Tabla 3). La composición de especies por tipo de vegetación y parcelas representativas se determinaron con el Índice de Importancia Ecológica (IVI Importance Value Index),

que resulta de la suma de valores relativos (%) de la abundancia, la dominancia y la frecuencia.

Tabla 3. Índices de diversidad, riqueza y afinidad de especies.

Shannon	$H' = -\sum P_i \cdot \ln(P_i)$	S: número de especies presentes P_i : proporción de las especies $P_i = n_i / N$ n_i : número de individuos de la especie N: número total de individuos
Evenness (E)	$E = \frac{H'}{\ln(S)}$	H' : Índice de Shannon S: número de especies
Simpson (D)	$D = \sum \frac{(n_i(n_i - 1))}{(N(N - 1))}$	n_i : número de individuos N: número total de individuos
Margaleff (D_{mg})	$D_{Mg} = (S - 1) / \ln N$	S: número de especies N: número total de individuos
Sørensen (C_N)	$C_N = 2_{JN} / (aN + bN) \cdot 100$	C_N = Coeficiente de afinidad de especies JN = número de especies encontradas en ambas localidades aN = número de especies del fragmento 1 bN = número de especies del fragmento 2
Índice de Importancia Ecológica (IVI)	$IVI = (N / ha) + (m^2 / ha) + N_s$	(N/ha): abundancia relativa (m^2/ha): dominancia relativa $f(N_s)$: frecuencia relativa
Índice de Pretzsch	$A = -\sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} \cdot \ln(p_{ij})$ $A_{max} = \ln(S \cdot Z)$	S = número de especies presentes Z = número de estratos de altura p_{ij} = proporción de especies en las estrato de altura $p_{ij} = N_{ij}/N$ N_{ij} = número de individuos de la especie (i) en el estrato (j) N = número total de individuos

7.3.2 Modelos predictivos

Los algoritmos utilizados para modelar la distribución de las especies como Bioclim, Domain, ENFA, GARP y MaxEnt funcionan de modo similar, tomando como entradas un conjunto de coordenadas de presencia y una serie de capas de información climática y geográfica, computan un modelo continuo de idoneidad del hábitat para la especie a lo largo de la región de estudio (Pando y Peñas, 2007a).

De acuerdo a Pando y Peñas 2007a, Pando y Peñas 2007b, Contreras et al. 2010, Reguerin et al. S/F y Elith et al. 2006 el modelo MaxEnt es uno de los que mejor se ajusta a la distribución de especies utilizando datos de sólo presencia en comparación con los anterior señalados. Conjuntamente con el uso de un SIG, el

modelo puede ser analizado estadística y gráficamente, permitiendo reconocer la distribución espacial potencial de la especie.

7.3.2.1 MaxEnt

La predicción de la distribución potencial de la especie *P. herrerae* en el ANP Sierra de Quila se fundamentó metodológicamente en la teoría de modelos de distribución de especies (MDE) (species distribution models SDM). Este modelo determina la relación entre los factores climáticos y los registros de sólo presencia de la especie, para mapear su distribución espacial potencial. Se asume que el clima en los puntos de observación de una especie representa la gama ambiental del organismo. El clima en estos puntos se utiliza como el sistema de calibración para computarizar un modelo de la probabilidad de presencia (Hurtado, 2007).

Los datos cartográficos del sistema ambiental para el estado de Jalisco es una base de variables climáticas que se presenta en la forma de archivos raster, estos están constituidos por celdas o píxeles, cada uno está asociado al valor de un atributo, como por ejemplo la altitud, que corresponde al promedio del valor de este atributo sobre toda la superficie de la celda considerada. Para este trabajo, se dividió el área de estudio en una cuadrícula y asignando valores a las variables ambientales en cada celda. En este estudio la resolución fue de 20m (cada celda corresponde en la realidad a un cuadrado de 400m²) en donde los píxeles con presencia de la especie registrada, constituyen los puntos de muestra y las características son las variables climáticas y ambientales presentes en el área de estudio. El modelo espacial identifica cual de las celdas en la cuadrícula presenta condiciones ambientales que calzan con el tipo de ambiente donde se encuentra o desarrolla la especie para poder predecir en base a estos puntos de presencia la distribución potencial que podría tener la misma.

La distribución desconocida de la probabilidad se llama π . Está definido sobre un rango X (que corresponde a los píxeles del área considerada). Los elementos de probabilidad $\pi(x)$, positiva, para cada punto x . La suma (distribución desconocida) de estas probabilidades es de 1 y donde la aproximación de π es también una distribución de probabilidad (Hurtado, 2007).

Para predecir el área potencial de distribución, la entropía está definida como:

$$H(\hat{\pi}) = - \sum_{x \in X} \hat{\pi}(x) \ln \hat{\pi}(x)$$

MaxEnt estima la distribución probable de la especie, encontrando la distribución probable de la entropía máxima.

7.3.2.2 Registro de presencia de la especie

Los registros de presencia de la especie *P. herrerae* utilizados para generar los modelos de distribución provienen de dos conjuntos de datos:

A) *Inventario forestal*. De los registros obtenidos de los 53 sitios circulares de muestreo de 500m² (sólo en 23 sitios se registró la especie en estudio) del arbolado mayor a 7cm de DAP.

B) *Puntos de ubicación geográfica de cada árbol.* De los registros de ubicación de la especie (registros de sólo presencia) obtenidos de manera aleatoria de los dos rodales en estudio. El registro se llevó a cabo durante los meses de marzo a julio de 2010; se utilizó un aparato GPS-Navegador Garmin 60CSx, empleando la proyección Universal Transverse Mercator con Datum WGS84, Zona13N (Figura 6).

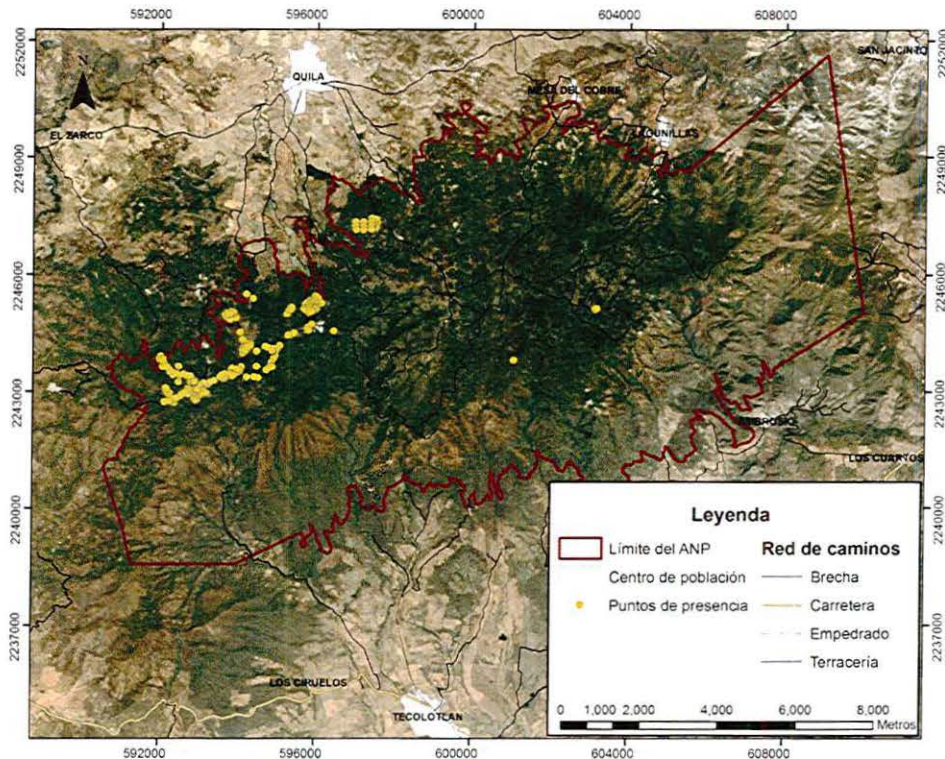


Figura 6: Puntos de presencia de la especie *P. herrerae* en el área protegida Sierra de Quila.

Todos los puntos de presencia se descargaron del GPS con el programa MN DNR-Garmin, posteriormente los archivos se transfirieron en formato CSV (ASCII) a fin de introducir estos mismos al programa MaxEnt.

En total se obtuvieron 559 registros de sólo presencia, sin embargo, utilizando la función "eliminar puntos duplicados" en el programa MaxEnt, se eliminaron todas aquellas repeticiones que coincidían en una misma celda de información cartográfica (resolución de mapa), es decir, los puntos de presencia de especie ubicados en el mismo píxel de 20 x 20m; de esta manera se dispuso con un total de 394 puntos, de estos el 50% (197) se consideraron como registros de prueba y el otro 50% como de entrenamiento (197).

7.3.2.3 Variables climáticas y ambientales

Para ejecutar este modelo se empleó la versión de MaxEnt 3.3.3a, programado en JAVA, que permite desarrollar modelos de distribución de especies de una forma rápida y sencilla. La tabla (4) muestra las distintas variables utilizadas en el modelo y con su respectiva clave de identificación con la que se operó en el ambiente SIG;

la información está compuesta por una serie de datos climáticos y ambientales que son utilizados como insumos para este modelo.

Tabla 4. Variables climáticas y temáticas utilizadas para el modelamiento de la distribución de *P. herrerae* en el ANP Sierra de Quila.

Variable	Clave
Climática	
Temperatura mínima anual	sqja20utmok
Temperatura media anual	sqma20utmok
Temperatura máxima anual	sqxa20utmok
Precipitación	sqpa20utmok
Humedad relativa anual	sqhra20utmok
Área de radiación solar	sqgsol20utmok
Evapotranspiración anual	sqetpa20utmok
Evaporación anual	sqea20utmok
Ambiental	
Altura	sqgh20utmok
Exposición	sqgasp20utmok
Pendiente	sqsl020utmok
Rugosidad	sqrugutmok
Índice normalizado de vegetación	sqndv20utmok
Geología	sqgeo20utmok
Suelo	sq sue20utmok
Textura	sqtex20utmok
Vegetación	sqveg20utmokv1

Los datos climáticos están compuestos por la precipitación promedio anual, humedad relativa anual, evapotranspiración anual, evaporación anual y las temperaturas mínima, máxima y media anual.

Los datos ambientales generados con un modelo digital del terreno son: elevación, pendiente, exposición, rugosidad y área de radiación solar (ver Anexo 2; glosario de términos); de una imagen multiespectral Landsat 7 ETM de 2000 se obtuvo una capa del índice normalizado de la vegetación, así como un mapa de vegetación y uso del suelo; de las cartas temáticas se obtuvieron el mapa geológico, de tipo de suelo y textura.

Con el uso del programa MaxEnt, el SIG y la interacción de las diversas capas de información espacial, se podrán identificar las áreas de igual característica o características asociadas en la actual distribución del pino con respecto al resto de la superficie del área protegida. Todas las variables de información climática y ambiental se unificaron en formato raster y posteriormente se convirtieron en formato ASCII (ASC) con la función *Convert Raster* de ArcGis; las capas tienen una resolución de 20m que es igual a 400 m² por píxel.

7.3.2.4 Proceso del modelo con MaxEnt

Calibración del modelo

Puede llamarse calibración al ajuste de los parámetros y constantes del modelo para incrementar la coherencia entre los datos de entrada y los resultados (Pando y Peñas, 2007a). El modelo para este estudio fue ejecutado a partir de:

- a) Las coordenadas geográficas de los puntos de registro de *P. herrerae* y,
- b) Las variables climáticas y ambientales sobre el área de estudio.

Formatos de salida

MaxEnt sustenta tres formatos de salida para los valores del modelo: crudo, acumulativo y logístico.

Crudo.- lo constituye el modelo exponencial de MaxEnt *per se*.

Acumulativo.- corresponde a un valor crudo de r es el porcentaje de la distribución de MaxEnt cuyo valor crudo es al menos r . Donde el valor de una celda es la suma de las probabilidades de todas las celdas con una probabilidad más elevada que la celda problema. De esta forma las celdas que el modelo predice que presentan las mejores condiciones para la especie, tendrán valor acumulativo de 100, mientras que los valores acumulativos próximos a 0 indican condiciones inadecuadas para el desarrollo de la especie (García, 2008).

Logístico.- si c es el exponencial de la entropía de la distribución de MaxEnt, entonces el valor logístico correspondiente a un dato crudo de r es $c \cdot r / (1 + c \cdot r)$. Esta es una función logística, porque los valores crudos son una función exponencial de las variables ambientales.

Los tres formatos de salida están relacionados de manera monótona, pero están a escalas diferentes y tienen diferentes interpretaciones. La salida por defecto es logística, la cual es más fácil de conceptualizar: proporciona un estimado entre cero y uno de probabilidad de presencia (Phillips et al. S/F). La figura (7) muestra la interfase del programa MaxEnt.

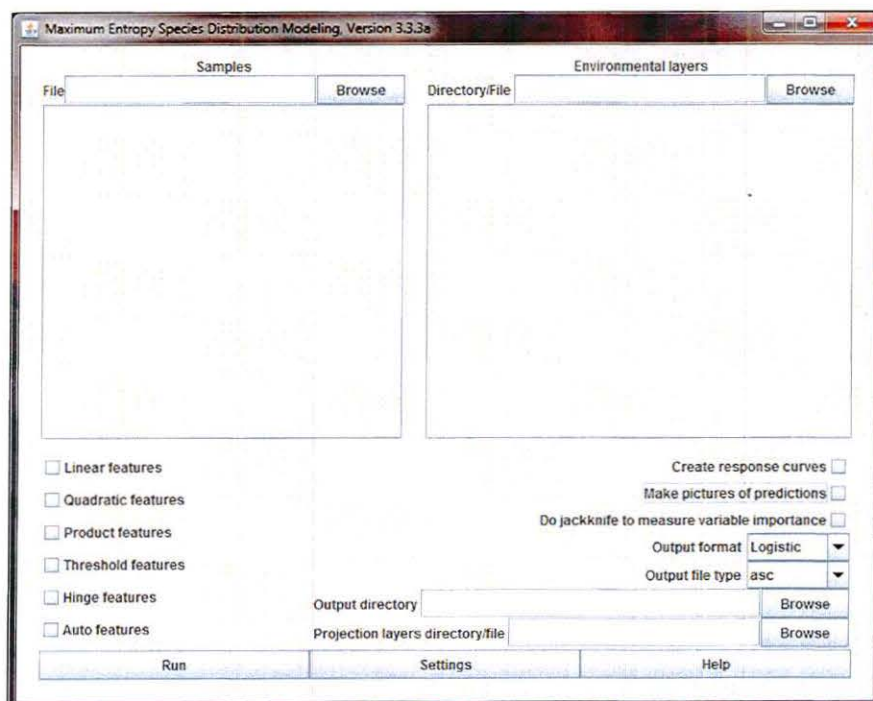


Figura 7: Pantalla de interfase del modelo MaxEnt.

Validación del modelo

La evaluación consiste en una prueba estadística para saber cómo está funcionando el modelo en relación a la exactitud de la predicción con la realidad.

La calidad de la predicción del área de distribución de *P. herrerae* en el ANP se determinó utilizando la técnica de evaluación Receiver Operating Characteristic (ROC) aplicada habitualmente a la evaluación de modelos de distribución basado en algoritmos de sólo presencia.

La construcción de la curva ROC es un proceso interactivo aplicado a cada umbral de idoneidad del modelo: el modelo de distribución se reclasifica en dos categorías a partir del umbral, para obtener un modelo binario, en el que los valores del modelo original inferiores al umbral indican ausencia y los valores iguales o superiores al umbral indican presencia. Sobre este modelo binario se superponen los puntos de presencia y los puntos aleatorios y se calculan los valores de la matriz de confusión. A partir de estos valores se calcula la fracción de verdaderos positivos (sensibilidad = $a / a + c$) y la fracción de aleatorios positivos (especificidad = $d / d + d$). En el gráfico de la curva ROC se dibuja el valor de sensibilidad en el eje x y el valor 1-especificidad en el eje y. Repitiendo el proceso para todos los umbrales de idoneidad del modelo y conectando los puntos mediante líneas rectas se obtiene la función ROC. El área bajo la curva ROC (AUC) indica, para un punto de presencia y uno aleatorio seleccionados al azar, la probabilidad de que el valor de idoneidad previsto por el modelo para el punto de presencia sea mayor que el previsto para el punto aleatorio. Es una medida directa de la capacidad de discriminación del modelo, que toma valores próximos a 1 cuando existe un buen ajuste con los datos de evaluación y cercanos a 0.5 cuando el ajuste no es mejor que el obtenido al azar (Pando y Peñas, 2007a).

La curva operacional ROC para los dos grupos de datos training data set (datos de generación, curva en color rojo) que es la fracción del total de datos de la variable dependiente que se emplea para generar el modelo pero no para validarlo (curva de entrenamiento, representa el ajuste del modelo a los datos de muestreo) y testing data set (datos de validación, curva en color azul) que es la fracción del total de los datos de la variable dependiente no utilizada para generarlo que se utiliza para evaluar el comportamiento del modelo final, en términos de ajuste y consistencia, ante nuevos datos (curva de prueba, indica el grado de ajuste del modelo a los datos de test y supone el test real del poder predictivo del modelo). Cuanto más se aproxime la curva azul a la esquina superior izquierda, mejor es el modelo para predecir las presencias de los datos de test (García, 2008).

Prueba Jackknife (Jackknife model testing)

Para estimar cuáles son las variables más importantes del modelo, se corrió una prueba de Jackknife, la cual estima la importancia de las variables que más influyen para esta especie. MaxEnt crea un modelo usando cada variable de manera aislada y adicionalmente genera otro usando todas las variables. Los resultados de la prueba de Jackknife aparecen en tres gráficos de barras. Además, el programa proporciona curvas de respuesta de la especie ante las diferentes variables independientes y valora la importancia de cada una de ellas en la distribución de la especie.

7.3.3 Análisis multivariable

El método de ordenación de Bray-Curtis es un método de ordenación indirecta, esto se refiere a que los sitios de muestreo se encuentran dentro de un sistema de coordenadas basadas en la disimilitud de la composición de las especies. Bray-Curtis u Ordenación Polar, fue uno de los primeros métodos de ordenación utilizados en ecología de plantas debido a que es una de las pocas técnicas que fue desarrollada para analizar datos de este tipo de comunidades (Margules y Sarkar 2009; Huerta y Guerrero, 2004).

Su función es posicionar las unidades de muestreo dentro de un sistema de coordenadas o ejes, con el fin de obtener la similitud entre muestras y su relación con gradientes ambientales. El procedimiento selecciona aquellas muestras con los valores más distantes y los utiliza como polos y a partir de estos comienza a posicionar las demás muestras para los tres ejes utilizados. Las relaciones de variables ecológicas, forestales (variables dasométricas) y climáticas se exploraron mediante una ordenación de Bray-Curtis mediante la técnica de varianza-regresión.

Para este trabajo se elaboraron tres matrices de datos para cada rodal, una matriz primaria con los valores de presencia-ausencia de las especies y dos matrices secundarias: una que incluye 25 variables obtenidas en campo (dasométricas, ecológicas y ambientales) y otra con 17 variables obtenidas de un SIG (variables climáticas y ambientales) (ver Anexo 3). El rodal oeste está conformado por 23 especies y 41 sitios de muestreo (del inventario forestal), mientras que el rodal noroeste está integrado por 7 especies y 12 sitios de muestreo (inventario forestal). La matriz de datos binarios (presencia-ausencia de especies) fue transformada a través de la técnica de ponderación Beals, esta transformación es recomendada ampliamente en matrices que contienen una gran cantidad de ceros y representan datos heterogéneos, con el fin de evitar el "efecto de la truncación del cero", esto para explicar los extremos de la distribución de la tolerancia de una especie sobre un gradiente ambiental y en la cual más allá de estos límites la especie está ausente. En este sentido, se le aplicó la técnica de ordenación Bray-Curtis con varianza regresión para la selección de puntos extremos y la distancia Sørensen como medida de similitud de la composición florística. También se corrió una clasificación a través de la técnica de análisis de agrupamiento con medida de distancia Sørensen y con el método del vecino más lejano para la unión de grupos (McCune y Mefford, 1999). Ambas técnicas de análisis están disponibles en el programa de cómputo PC-ORD 5.31.

8 RESULTADOS Y DISCUSION

8.1.1 Inventario forestal (Rodal oeste)

En el APFFSQ el bosque de pino-encino se distribuye en la mayor parte de su superficie y ocupa una porción similar a la de los encinos; de manera general, la cobertura forestal se sitúa desde terrenos planos hasta aquellos donde se presenta una fuerte pendiente. El estrato arbóreo se compone principalmente por especies de *Pinus* y *Quercus*, su distribución es constante a lo largo del gradiente altitudinal, el cual va de los 2000 hasta 2560 msnm. Durante el muestreo de campo se obtuvo en la parte oeste del ANP, las especies de pinos más comunes registradas en orden de abundancia fueron: *P. douglasiana*, *P. herrerae*, *P. oocarpa*, *P. montezumae*, *P. lumholtzii*, *P. oocarpa* y *P. luzmariae*. Por otro lado, en la parte central del área natural, Villavicencio (2004) registró durante su estudio la predominancia de *P. lumholtzii*, *P. douglasiana*, *P. oocarpa* y *P. devoniana* respectivamente, cabe señalar que la comunidad arbórea de la parte oeste se distribuye ampliamente sobre suelo de tipo Cambisol húmico, mientras que en la parte central del ANP lo es para el tipo de suelo Regosol eútrico.

La figura 8 muestra un sitio circular del inventario en un SIG; al interior de los círculos concéntricos se identifica la distribución espacial de los árboles por tipo de especies, además de información adicional correspondiente al sitio. Cabe señalar que de los 41 sitios implementados de manera sistemática en el rodal oeste, sólo en 13 se obtuvo el registro de *P. herrerae*. Considerando una superficie *a priori* de 550 ha y la dimensión de cada sitio de muestreo (0.05ha) se estimó una intensidad de muestreo para este rodal de 0.4%.

Composición de especies e índice de importancia

El estrato arbóreo del rodal oeste está compuesto por 8 familias, 9 géneros y 23 especies (Figura 9). Las especies de mayor abundancia y valores más altos de importancia ecológica son en orden descendente: *P. douglasiana*, *Q. resinosa*, *Q. coccolobifolia* y *P. herrerae* (ver Anexo 5).

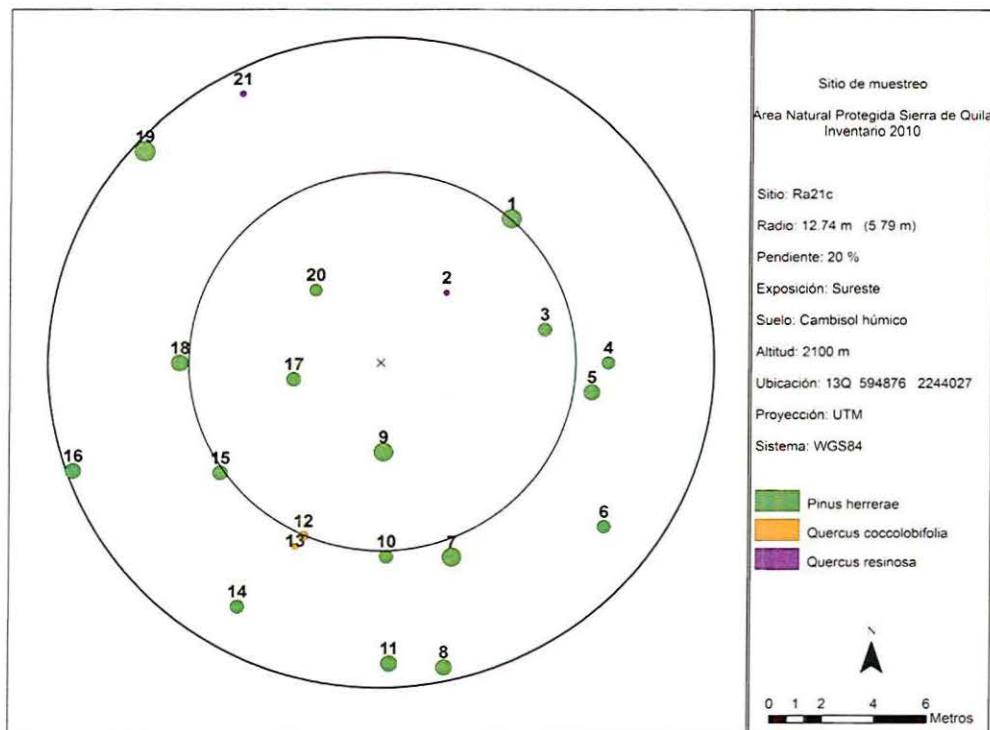


Figura 8: Sitio circular concéntrico de muestreo vinculado a un sistema de información geográfica (Rodal oeste, Sitio 21).

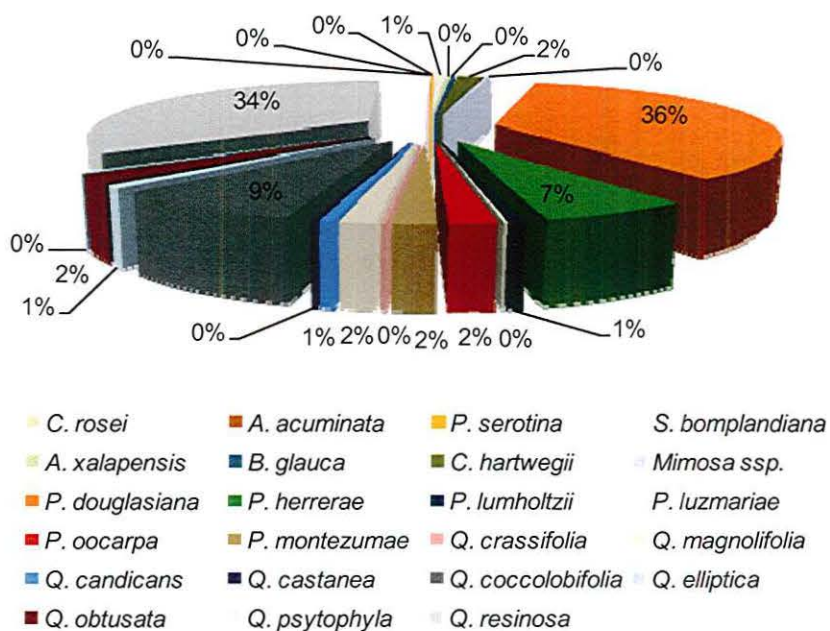


Figura 9: Distribución porcentual de la composición arbórea del Rodal oeste.

El rodal presentó una densidad de 58 árboles/ha de *P. herrerae* (comunidad: 891 árboles/ha). La especie con más alto valor promedio en altura fue *P. oocarpa* con 18 m y conforme al diámetro promedio lo fue *Q. castanea* con 36 cm de DAP, sin

embargo, esta especie es representada sólo por dos individuos dentro del rodal; el área basal predominante y la posición social dominante lo presentó *P. douglasiana* (58.4%). Una descripción detallada de la información dasométrica de las 23 especies inventariadas se muestra en la tabla (5). Jiménez et al. (2001) indican que la abundancia, dominancia y frecuencia de las especies se utiliza para analizar la relación existente entre las especies de una población; asimismo los valores se fundamentan con base a los sitios de muestreo; por ejemplo para este estudio, el valor IVI de *P. douglasiana* fue 108, el cual cubre el 23.6% de la frecuencia de sitios, mientras que para *P. herrerae* (IVI = 24) el 8.3%.

Tabla 5. Datos descriptivos por especie de la comunidad arbórea del Rodal oeste.

Especies	N/ha	N (%)	\bar{h}	\bar{d}	G/ha (m ²)	G (%)	IVI
<i>A. xalapensis</i>	2	0.22	7.8	9.6	0.055	0.23	2
<i>A. acuminata</i>	1	0.11	12.3	16.6	0.023	0.10	1
<i>B. glauca</i>	2	0.22	5.5	10.6	0.055	0.23	2
<i>C. rosei</i>	1	0.11	8.7	11.7	0.010	0.04	1
<i>C. hartwegii</i>	17	1.86	9.4	11.2	0.187	0.77	7
<i>Mimosa ssp.</i>	3	0.38	7.6	19.1	0.102	0.42	1
<i>P. douglasiana</i>	324	36.40	12.6	18.5	11.674	47.98	108
<i>P. herrerae</i>	58	6.51	12.3	19.9	2.349	9.65	24
<i>P. luzmariae</i>	1	0.16	14.3	19.0	0.051	0.21	2
<i>P. montezumae</i>	16	1.81	12.6	17.7	0.479	1.97	4
<i>P. oocarpa</i>	18	2.03	18.0	30.0	1.657	6.81	15
<i>P. serotina</i>	0	0.05	9.5	8.0	0.002	0.01	1
<i>P. lumholtzii</i>	6	0.66	11.6	15.4	0.130	0.53	3
<i>Q. candicans</i>	5	0.60	12.6	20.6	0.227	0.93	3
<i>Q. elliptica</i>	7	0.82	8.2	10.9	0.073	0.30	4
<i>Q. psycotophyla</i>	2	0.22	15.2	25.5	0.115	0.47	1
<i>Q. castanea</i>	2	0.22	19.1	36.2	0.254	1.04	3
<i>Q. coccolobifolia</i>	77	8.59	7.9	12.0	1.172	4.82	27
<i>Q. crassifolia</i>	2	0.22	14.8	23.4	0.147	0.60	1
<i>Q. magnoliifolia</i>	14	1.53	11.8	18.0	0.451	1.85	5
<i>Q. obtusata</i>	21	2.35	12.1	18.7	0.704	2.89	9
<i>Q. resinosa</i>	304	34.10	8.8	12.5	4.373	17.98	72
<i>S. bomplandiana</i>	7	0.82	8.2	13.2	0.113	0.47	2
Comunidad	891	100	11	16	24	100	300

Abreviaturas: N/ha: Número de árboles por hectárea; \bar{h} : Altura promedio, \bar{d} : Diámetro promedio, G/ha: Área basal por hectárea; IVI: índice de importancia ecológica.

En total se registraron 119 árboles de *P. herrerae* y de acuerdo a su posición social, el 14.2% se mantiene como dominante después de *P. douglasiana*; con respecto a las diferentes posiciones sociales se encuentra en la posición codominante con el 7.7%; en posición social dominado con 5.3% y como posición suprimida con el 0.37%. La mayor parte de los árboles del rodal se encuentran en la posición social dominado con 894 árboles (48.9%) de un total de 1827 registros.

Los datos obtenidos por grupos de árboles, muestra mayor abundancia (N/ha) de los encinos, sin embargo la dominancia (G/ha) es mayor en los pinos (67%), ver tabla (6).

Tabla 6. Datos dasométricos por grupo de árboles del Rodal Oeste.

Grupo de árboles	Especies	N/ha	\bar{h}	\bar{d}	G/ha (m ²)
Pino	6	424	12.8	19.1	16.3
Encino	9	434	9.0	13.1	7.52
Hojosas	8	34	8.7	12.4	0.55

Abreviaturas: N/ha: Número de árboles por hectárea; \bar{h} : Altura promedio, \bar{d} : Diámetro promedio, G/ha: Área basal por hectárea.

Estructura vertical y horizontal

De acuerdo al índice vertical de Pretzsch, la diversidad del rodal oeste no se encuentra representadas por todas las especies en todos los pisos, es decir, las especies sólo están representadas en un 65.1% ($A = 2.67$) por igual distribución de las mismas en cada piso de altura; el 100% ($A_{max} = 4.09$) representaría la presencia de todas las especies en cada uno de los pisos. Cabe destacar la presencia de *Q. resinosa* como especie dominante en los pisos de altura alto y medio, seguido de *P. douglasiana*; sólo en el piso bajo *P. herrerae* se presenta como especie codominante.

La relación de altura-diámetro se utiliza para caracterizar la estructura del bosque, estimar volúmenes y evaluar la calidad del sitio forestal; la figura (10) muestra las curvas de tendencia para las cuatro principales especies de valor ecológico en el rodal. En este contexto, *P. douglasiana* y *P. herrerae* conllevan una curva de tendencia muy semejante en desarrollo, sin embargo, *P. herrerae* se encuentra mejor correlacionado (R^2) con respecto al resto de las especies; mientras que *Q. coccolobifolia* muestra una línea de tendencia más horizontal, esto es; no presenta un mayor desarrollo en altura a partir de los 40 cm de DAP.

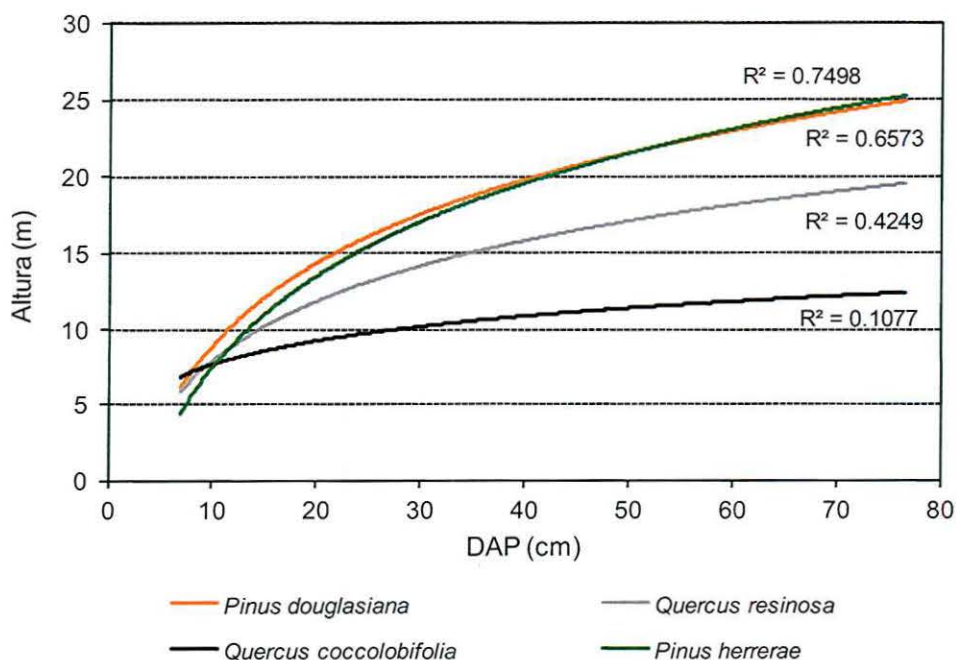


Figura 10: Curvas de altura de las cuatro principales especies según su IVI en el Rodal oeste.

Para la estructura horizontal, la figura (11) muestra la distribución diamétrica de las cuatro especies del rodal oeste con mayor índice de importancia (IVI). Las distribuciones presentan una forma asimétrica positiva, es decir, el número de árboles disminuye a medida que las clases diamétricas aumentan. En este estudio destacan las dos especies de encino, las cuales presentan un fuerte sesgo (> a 36%) hacia la categoría diamétrica de 10 y 20cm; *P. herrerae* presenta una alta concentración de individuos en las segunda categoría (20cm de DAP), registrando una frecuencia de hasta 46% (74 individuos). Las especies de encinos reducen de manera notoria su valor relativo a partir de las clases diamétricas de 30cm, considerando la presencia del número muy reducido de individuos que se presentan en los diámetros de más de 40 cm. Según Ajbilou (2003), la distribución de las clases diamétricas permiten evaluar su estado ecológico y de conservación, detectando la falta de regeneración o bien el envejecimiento de los rodales, que para la distribución de estas especies representan un rodal joven y en donde además Villavicencio et al. (2005) considera este comportamiento en las frecuencias diamétricas como una característica típica de comunidades arbóreas multietáneas.

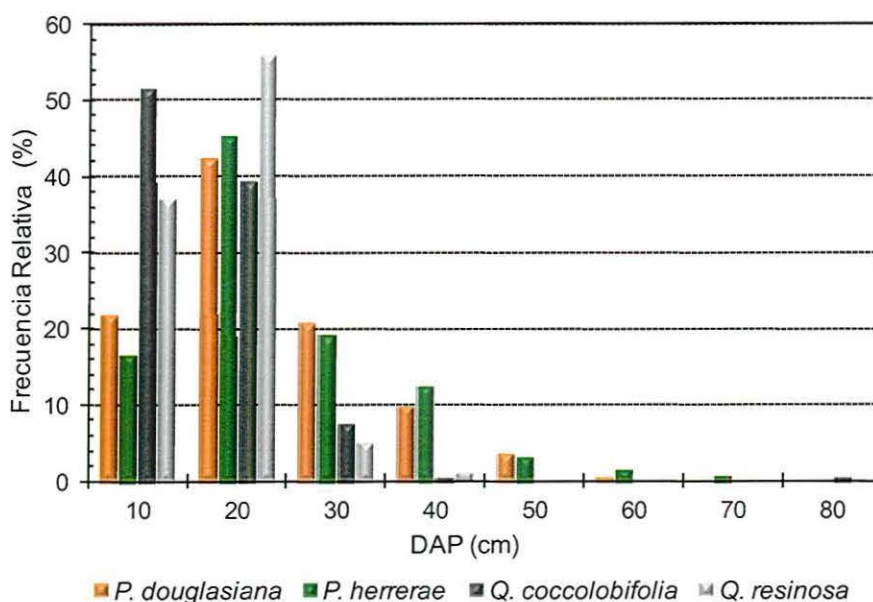


Figura 11: Distribución diamétrica relativa de las especies de mayor valor de importancia ecológica del Rodal oeste.

Índices de diversidad y riqueza

Con respecto a los valores de diversidad, el índice de Shannon incrementa su valor conforme ocurre un mayor número de especies (23); para el rodal oeste se registró un valor alto en diversidad (1.77) y respecto a la riqueza de especies (índice de Margaleff), su valor aumenta conforme el número de individuos es mayor (2.93). El valor de Simpson (3.82) indica que las especies no están distribuidas equitativamente si no por el contrario sólo en algunas especies se encuentra concentrado más del 50% de los individuos.

Regeneración natural

La regeneración natural es uno de los principales medios que garantiza la continuidad de una masa forestal, en el área de estudio, la distribución porcentual más significativa de la regeneración natural por grupo de árboles lo presentaron los encinos con 48%, siendo las especies más predominantes *Q. resinosa* (200 árboles), *Q. coccolobifolia* (96) y *Q. obtusata* (37); posteriormente los pinos cubren el 30% de la regeneración, las especies más abundantes son *P. douglasiana* (201 árboles), *P. oocarpa* (13) y *P. herrerae* (9); por último las hojosas con 22%, representadas por las especies *Clethra hartwegii* (74 árboles), *Arbutus xalapensis* (44) y *Prunus serótina* (23) (Figura 12).

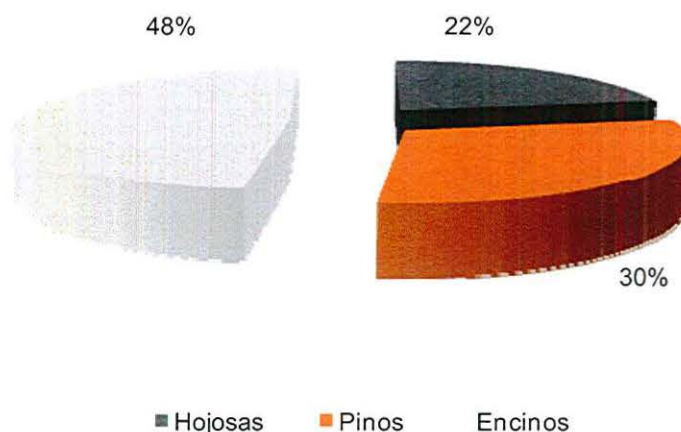


Figura 12: Distribución porcentual de la regeneración natural por grupo de árboles.

La caracterización de la estructura vertical fue catalogada en tres diferentes tipos de altura: Piso 1: Plántulas de 1 a 50 cm. de altura; Piso 2: Brinzales de 50 a 100 cm de altura y Piso 3: Brinzales mayores a un metro de altura y menores a siete centímetros de diámetro normal (1.3 m). El número de árboles de la regeneración natural extrapolada a hectáreas por piso de altura fue de 529 árboles (29%) para el Piso 1, para el segundo piso fue de 288 árboles (16%) y por último, el tercer piso fue de 1029 árboles por hectárea (56%), lo cual indica que sobre la regeneración natural en el rodal oeste los individuos de tipo brinzal predominan en el Piso 3, seguida de toda la plántula del Piso 1, quedando muy poca plántula en la etapa de desarrollo intermedia. De acuerdo a Oliver y Larson (1996 cit. en González y Bravo, 1999), el decremento e incremento del número de plántulas entre los diferentes pisos de altura se explica en gran medida por un efecto negativo de la competencia por la supervivencia entre otras especies herbáceas y arbustivas, suelo, nutrientes, luz, entre otros factores naturales y humanos.

En cuanto a los índices de diversidad y riqueza de especies para la regeneración natural el índice de Shannon (diversidad) fue de 2.03 (23 especies) respecto a la riqueza de especies (Índice de Margaleff) resultó de 1.96. El valor de Simpson (5.75) muestra que las especies no están distribuidas equitativamente, sino por el contrario sólo en algunas especies se encuentra concentrada casi en 50% de los árboles.

8.1.2 Inventario forestal (Rodal noroeste)

Composición de especies e Índice de importancia ecológica

En el Rodal noroeste se instalaron 12 sitios de muestreo, considerando una superficie *a priori* de 35ha como límite de distribución de la especie *P. herrerae* en esta área de estudio, se estimó una intensidad de muestreo de 1.7%.

El estrato arbóreo de este rodal está compuesto por 3 familias, 3 géneros y 7 especies (Figura 13). La población de *P. herrerae* en esta área presentó una densidad de 118 árboles/ha (comunidad: 768 árboles/ha).

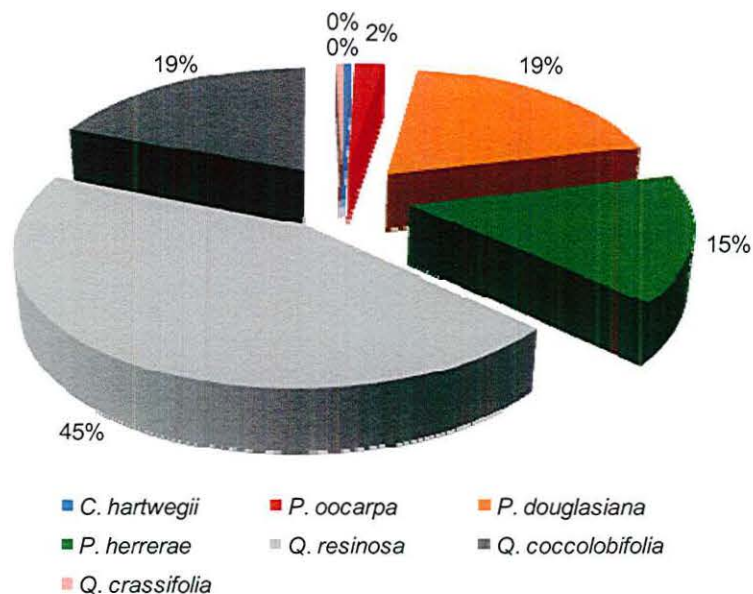


Figura 13: Composición arbórea del inventario forestal del Rodal noroeste.

Una descripción detallada de la composición florística de las 7 especies se muestra en la tabla (7). Las especies que presentaron con mayor densidad por hectárea y más alto valor de importancia ecológica (ver Anexo 6) son por orden descendente: *Q. resinosa*, *P. douglasiana*, *P. herrerae* y *Q. coccolobifolia*; la especie predominante conforme a la altura promedio del rodal fue *P. herrerae* con 13.9m de altura y conforme al diámetro promedio fue *P. oocarpa* con 34cm de DAP, seguida de *P. herrerae* con 27.5cm.

Las especies *P. douglasiana* y *P. herrerae* predominan con respecto a la proporción relativa del área basal por hectárea; la posición social dominante fue para *P. douglasiana* (46.2%), seguida por *P. herrerae* con 44.1%, con respecto a las diferentes posiciones sociales *P. herrerae* se encuentra en la posición codominante con el 18.9%, en la posición social dominado con 5.3% y para la posición suprimida con el 5.8% de 71 árboles encontrados en este rodal para esta especie; siendo que la mayor parte de los árboles está representados en la posición social de dominado con 208 árboles (45.1%) de 461.

Tabla 7. Parámetros descriptivos por especie del Rodal noroeste.

Especies	N/ha	N (%)	\bar{h}	\bar{d}	G/ha (m ²)	G (%)	IVI
<i>C. hartwegii</i>	3	0.43	9.60	8.80	0.020	0.09	5
<i>P. oocorpa</i>	15	1.95	14.40	34.50	1.554	6.67	15
<i>P. douglasiana</i>	145	18.87	13.50	24.80	8.786	37.72	79
<i>P. herrerae</i>	118	15.40	13.90	27.50	8.276	35.54	71
<i>Q. resinosa</i>	342	44.47	7.50	10.40	3.382	14.52	81
<i>Q. coccolobifolia</i>	142	18.44	6.70	9.70	1.228	5.27	46
<i>Q. crassifolia</i>	3	0.43	5.22	12.40	0.043	0.19	3
Comunidad	768	100	10.12	18.30	23	100	300

Abreviaturas: N/ha: Número de árboles por hectárea, \bar{h} : Altura promedio, \bar{d} : Diámetro promedio, G/ha: Área basal por hectárea. IVI: Índice de importancia ecológica.

La tabla (8) muestra la abundancia (N/ha) por grupo que está representada en mayor proporción por los encinos, mientras que la dominancia (G/ha) está representada por el grupo de los pinos (80%).

Tabla 8. Parámetros dasométricos descriptivos por grupo de árboles del Rodal noroeste.

Grupo de árboles	Especies	N/ha	\bar{h}	\bar{d}	G/ha (m ²)
Pino	3	278	13.7	26.5	18.6
Encino	3	487	7.2	10.2	4.65
Hojosas	1	3	9.6	8.8	0.02

Abreviaturas: N/ha: Número de árboles por hectárea, \bar{h} : Altura promedio, \bar{d} : Diámetro promedio, G/ha: Área basal por hectárea.

Estructura vertical y horizontal

De acuerdo al índice de Pretzsch, la diversidad vertical presente en el Rodal noroeste no se encuentran representadas por todas las especies en todos los pisos, las especies sólo están representadas en un 75.6% ($A = 2.18$) por igual distribución de las mismas, en cada piso de altura; el 100% ($A_{max} = 2.89$) representaría la presencia de todas las especies en cada uno de los pisos. La distribución vertical de las especies arbóreas en esta población muestra que un 28.8% de todos los árboles se ubican en el piso bajo, 24,4% pertenecen a piso medio y el 22.3% se sitúa en el piso alto. La especie principal en el piso alto es *P. herrerae* seguido de *P. douglasiana*, en el piso intermedio y bajo predominan *Q. resinosa* y *Q. coccolobifolia*, resalta en este último piso la escasa incorporación de *P. herrerae*.

La relación de altura-diámetro en la figura (14) muestra la tendencia de las curvas logarítmicas para las cuatro principales especies de acuerdo a su valor de importancia ecológica. *P. douglasiana* es la especie mejor correlacionada, seguida por *P. herrerae*; la relación puede estar sujeta a la calidad del sitio, la densidad del arbolado, la topografía u otros factores.

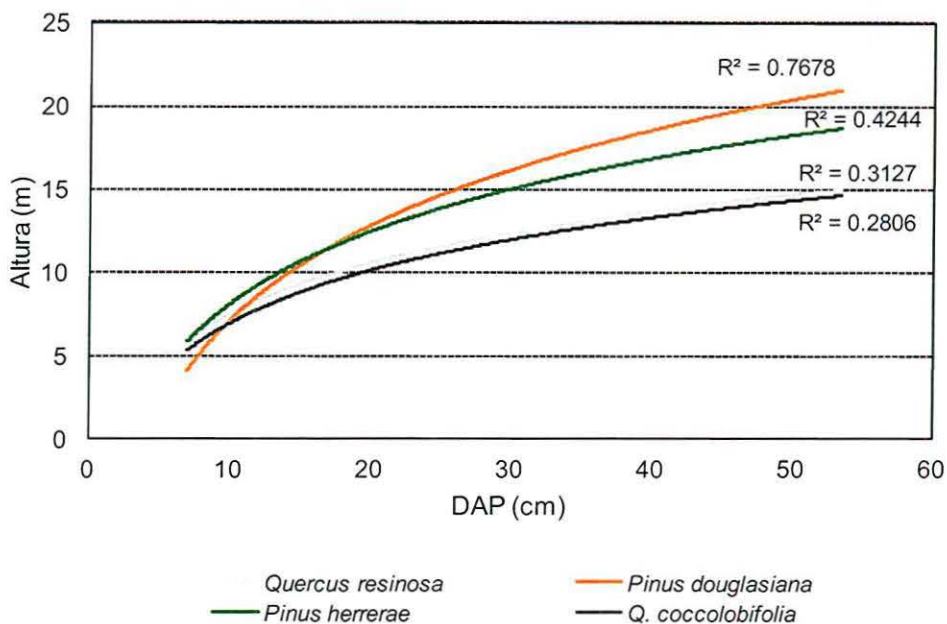


Figura 14: Curvas de altura de las cuatro principales especies de acuerdo a su valor de importancia ecológica del Rodal noroeste.

La estructura horizontal es representada por las mismas cuatro especies de importancia ecológica, la figura (15) muestra la distribución diamétrica; las distribuciones presentan principalmente una forma descendente para *P. douglasiana* y las dos especies del género *Quercus*, los encinos; donde destaca en estas dos últimas un fuerte sesgo hacia los diámetros pequeños, alcanzando un rango de frecuencia entre 34y 68%, cabe destacar los valores promedio del DAP de 10.4cm y 9.7cm para *Q. resinosa* y *Q. coccolobifolia* respectivamente. De acuerdo a Taylor y Halpern (1991), una mayor proporción de las clases de tamaño pequeño aseguraría el reclutamiento y la regeneración de la población.

La especie *P. herrerae* presenta una escasa presencia de brinzales, por el contrario registró una alta concentración de individuos en las categorías diamétricas de 30 a 40 cm de DAP (62 árboles), su distribución sugiere una asimetría negativa; cabe destacar que *P. herrerae* presenta en este rodal un estadio de desarrollo de tipo fustal medio representando un rodal maduro. Según lo especifica Ajbilou et al. (2003), los análisis de la distribución de las clases diamétricas para las diferentes especies arbóreas de un bosque permiten evaluar su estado ecológico y de conservación, en particular permite detectar la falta de regeneración o bien el envejecimiento de las masas. En este contexto, la notoria falta de regeneración de *P. herrerae* y *P. douglasiana* en este rodal podría estar influenciada por un factor ecológico, como es el sombreado de una cubierta excesiva de copas, tal como promedió el porcentaje de cobertura de copas para este rodal (60-80%).

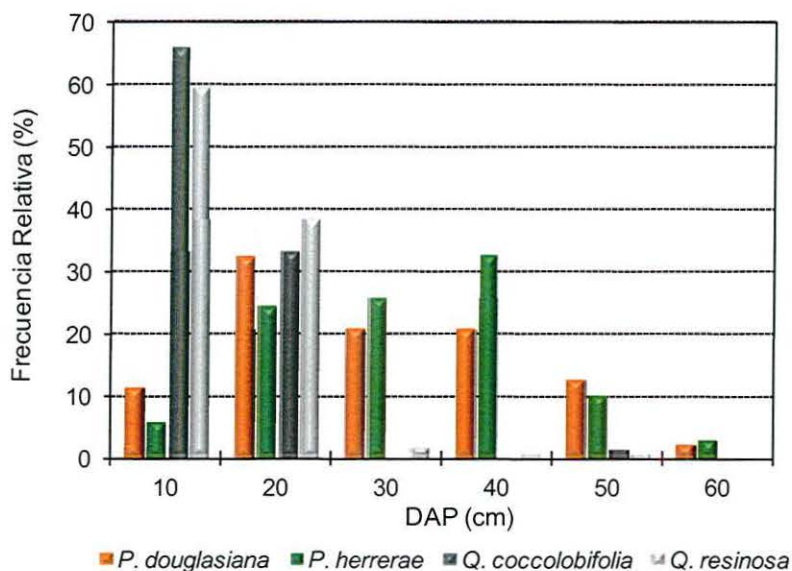


Figura 15: Distribución diamétrica relativa de las cuatro principales especies de acuerdo a su valor de importancia ecológica del Rodal noroeste.

Índices de diversidad y riqueza

De acuerdo a los valores de diversidad de especies (7 en total) en el Rodal noroeste se calcularon los siguientes valores, el índice de Shannon registró un valor alto en diversidad (1.40) y respecto a la riqueza de especies (índice de Margaleff), su valor aumenta conforme el número de individuos es mayor (0.98). El valor de Simpson (3.45) las especies están distribuidas más equitativamente, mas no en su totalidad la especie *Q. resinosa* fue la mayor representada (N/ha) con un 45% en el Rodal noroeste, sin embargo para el índice de Sörensen resultó de 0.47 lo que indica que la similitud en la composición de especies entre un rodal y otro, no se tienen todas las especies en común; solo obteniendo un valor de 1 ambos rodales compartirían todas las especies.

Regeneración natural

Para el Rodal noroeste la regeneración natural por grupo de árboles lo predominan los encinos con 69%, representadas principalmente por *Q. resinosa* (75 árboles) y *Q. coccolobifolia* (72); seguida de los pinos con 31%, compartidas en dos especies, *P. douglasiana* (37) y *P. herrerae* (30); el grupo de otras hojosas no presentó regeneración natural (Figura 16). Con respecto a la caracterización de la estructura vertical para la regeneración natural extrapolada a hectáreas fue para el Piso 1 de 733 árboles (41%) para el Piso 2 de 33 árboles (2%) y para el Piso 3, 1017 árboles (57%). La regeneración para este rodal se encuentra en dos etapas de desarrollo como en el caso anterior, primeramente con brinzales (piso 3) que son más del 57% y enseguida con regeneración (41%) (piso1).

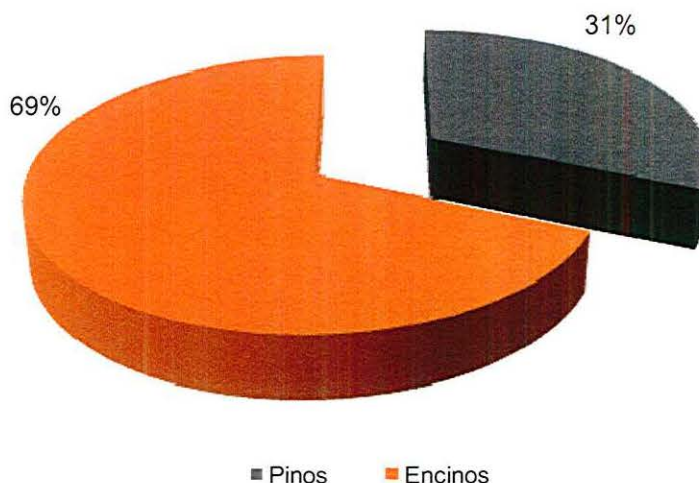


Figura 16: *Distribución porcentual de la regeneración natural del Rodal noroeste por grupo de árboles.*

Con respecto al índice de diversidad de Shannon incrementa conforme ocurre un mayor número de especies 0.47 (4 especies) y respecto a la riqueza de especies (Índice de Margaleff) su valor fue de 0.56. El valor de Simpson (3.54) muestra que las especies no están distribuidas equitativamente si no por el contrario sólo en algunas especies se encuentra concentrado más del 50 % de los individuos.

8.1.3 Modelo predictivo MaxEnt

Para configurar el modelo MaxEnt para la distribución potencial de *P. herrerae* se utilizaron los siguientes formatos y características; como formato de salida, la función logística, por ser la más fácil de conceptualizar ya que proporciona un estimado entre cero y uno de probabilidad de presencia, asumiendo que el diseño de muestreo es tal que las localidades de presencia típicas tiene una probabilidad de presencia de alrededor de 0.5 (Phillips et al. S/F). Las características (features) de Maxent se derivan de las variables ambientales de dos tipos: continua y categórica; de la forma continua las variables toman valores arbitrarios reales que corresponden a los valores medidos como la altitud, la precipitación anual y la temperatura máxima. Las variables categóricas toman sólo un número limitado de valores discretos como el tipo de suelo o el tipo de vegetación; las características "Linear", "Quadratic", "Product", "Threshold" y "Hinge" son derivadas de variables continuas. Sin embargo, la función Hinge permite a Maxent generar un modelo de respuesta arbitraria de la especie a una variable ambiental de las que se derivan (Phillips y Dudík, 2008), en otras palabras, permite la aproximación simple y sucinta de la respuesta verdadera de la especie con el medio ambiente. En este contexto, las características incluidas en este trabajo fueron Quadratic, Product y Hinge. El número de muestras fue de 394, dividiendo el 50% (197) para ejecutar el modelo (entrenamiento) y el otro 50% para su validación buscando así con esta división una significancia estadística y equitativa para la prueba (Hurtado, 2007 y Godínez, 2010). Los mapas de las variables climáticas y ambientales se definieron a un tamaño de celda (píxel) de 20m. El número de iteraciones fue de 1000 y el límite de convergencia se fijó en 0.00001 (valor por defecto); estos valores según Phillips et al. (2006), son conservativos y permiten garantizar la convergencia del algoritmo. La definición de estos parámetros del número de iteraciones y de convergencia también han sido empleados por Pando y Peñas (2007a y 2007b). El valor de regularización se determinó en 1.0 (valor por defecto), ya que el considerar regular

el modelo con un valor menor a uno, este producirá una distribución de salida más localizada, la cual se ajusta estrechamente o de manera excesiva a los registros de presencia dados, por el contrario, un valor de regularización mayor a 1.0 producirá una distribución más extendida (Phillips et al. S/F); no obstante lo anterior, Phillips et al. (2006) y Ortega y Townsend (2008) coinciden que este parámetro es aún motivo de futura investigación. Finalmente se configuró el programa para obtener la salida del mapa de idoneidad en un formato ASCII (ASC).

La figura (17) muestra la pantalla de interfase del programa MaxEnt, como primer paso, en la pestaña Samples (muestras) en Browse (barra de direcciones) se adjuntó la tabla de puntos o registros de presencia de *P. herrerae*, en el recuadro Environmental layers (capas) se adjuntó todas las variables en formato ASCII. Se activaron las opciones Quadratic features, Product features y Hinge features; se empleó el formato logístico y se activó el archivo de salida en formato ASC, con las opciones de Create response curves (Crear curvas de respuesta), Make pictures of predictions (crear imágenes de predicciones) y Do Jackknife to measure variable importance (Índice de Jackknife para medir la importancia de las variables).

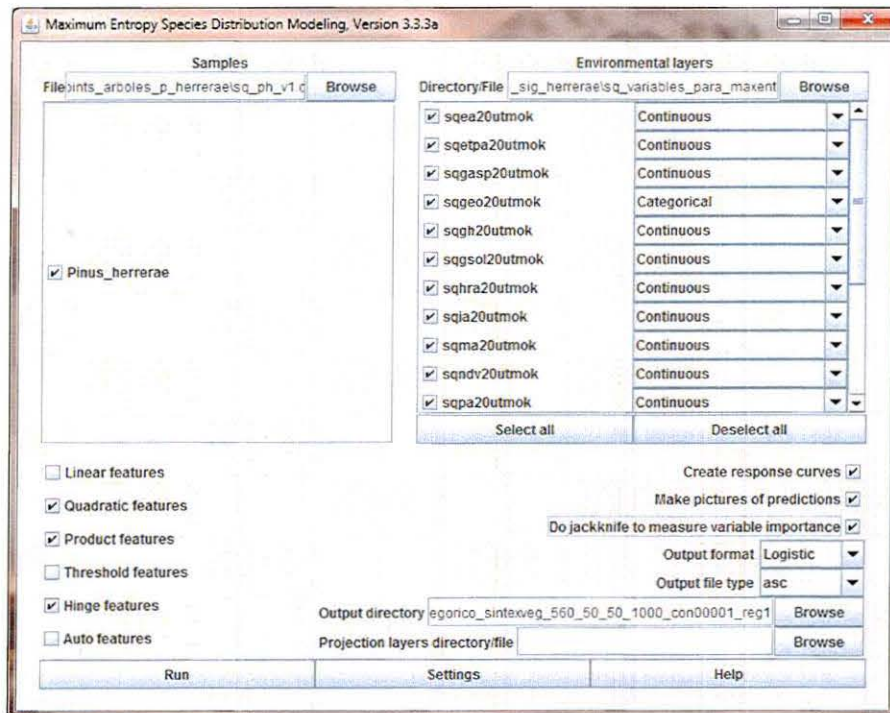


Figura 17: Pantalla de interfase del modelo MaxEnt.

Como segundo paso, en el recuadro Output directory (Figura 18) se creó una carpeta con características de la prueba donde se guardaron los archivos que arroja el modelo. En Projection layers directory file, se le otorga la proyección a todas las capas; en este caso no se utilizó esta opción, ya que todas las capas traían consigo esa información de manera previa. Posteriormente, en la pestaña Settings se despliega otra interfase donde se configuraron los datos básicos y avanzados, ya especificados anteriormente; por último, se seleccionó Run para correr el proceso.

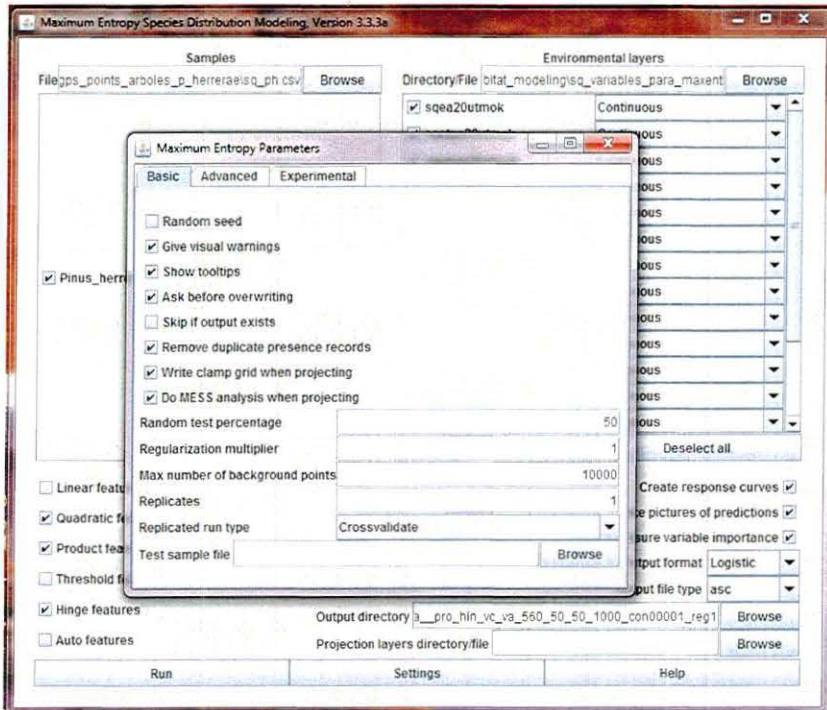


Figura 18: Configuraciones básicas y avanzadas.

El modelo genera varios archivos de salida: un formato *asc*, el cual contiene el archivo raster del mapa de idoneidad y un archivo *HTML*, el cual contiene la descripción de los resultados y sus gráficos.

Las variables climáticas y ambientales utilizadas para la modelación de la distribución de *P. herreriae* en el ANP se enlistan en la tabla (9); los valores climáticos mínimos, medios y máximos corresponden a los valores promedio anuales inferidos para el polígono del área protegida mediante mapas digitales con resolución de 20m; las variables ambientales geología, suelo, textura y vegetación se expresan con atributos tipo o específicos, algunos de estos ya descritos en el subcapítulo 7.1. Cabe señalar que diversos estudios relacionados a obtener los modelos ecológicos de nichos (García, 2008; Kumar, 2009; Morejón, 2009; Contreras et al. 2010; Cuyckens et al. 2010) han empleado como fuente de datos climáticos los provenientes de WorldClim (Hijmans et al. 2005) disponibles en la Web: <http://www.worldclim.org>; las 19 variables climáticas tienen una resolución espacial de 1km².

Tabla 9. Valores mínimos, medios y máximos de las variables climáticas y ambientales del ANP Sierra de Quila.

Variables climáticas					
		Valor mínimo	Valor medio	Valor máximo	Desviación estándar
1	Temperatura mínima anual (°C)	7.7	9.6	11.6	0.78
2	Temperatura media anual (°C)	16.4	18.4	20.6	0.83
3	Temperatura máxima anual (°C)	24.9	27.1	29.5	0.9
4	Precipitación pluvial (mm)	837.6	881.8	914.2	16
5	Humedad relativa anual (%)	60.7	64.4	67.4	1.32
6	Área de radiación solar (WH/m ²)	591932.62	1422337.1	2225516.25	144935.4
7	Evapotranspiración anual (mm)	1333.7	1418	1502.9	34.5
8	Evaporación anual (mm)	1667.2	1772.6	1878.6	43.1
Variables ambientales					
9	Altura (msnm)	1345	1942.4	2558.7	226.9
10	Exposición	-	-	-	-
11	Pendiente (%)	0	33	259	21.5
12	Rugosidad	0	171	254	39
13	Índice normalizado de vegetación	-	-	-	-
14	Geología	-	-	-	-
15	Suelo	-	-	-	-
16	Textura	-	-	-	-
17	Vegetación	-	-	-	-

Abreviaturas: °C: grados centígrados, mm: milímetros, %: porcentual, WH/m²: vatio hora por metro cuadrado, msnm: metros sobre el nivel del mar.

Para obtener el mapa de distribución potencial de *P. herrerae* se determinaron dos pruebas, la primera utilizando sólo variables climáticas y la segunda empleando de manera combinada las variables climáticas y ambientales. Las pruebas se reconocen para este estudio como: Prueba 1 VC (variables climáticas) y Prueba 2 VCA (variables climáticas y ambientales).

Una aplicación natural del modelado de la distribución de especies es contestar la pregunta de: ¿cuáles son las variables que más importan para la especie cuyas distribuciones está siendo modeladas?; para ello, MaxEnt asigna el incremento en la ganancia (gain) a la(s) variable(s) ambiental(es) de las cuales depende dicha característica. Haciendo una conversión a porcentajes al final del proceso de entrenamiento se obtuvo la tabla (10) para la Prueba 1 VC; donde se muestran las variables y su contribución relativa, siendo la precipitación, temperatura máxima y área de radiación solar (58.7, 24.9 y 13.5%) respectivamente, las de mayor contribución porcentual; el resto de las variables presentaron un valor relativo mínimo o nulo. Según Phillips et al. (S/F) existen variables climáticas o ambientales que bien podrían tener una alta correlación, las mismas deben de interpretarse de manera reservada, ya que sus valores porcentuales y los de aquellas que no tengan alguna correlación, están únicamente definidas de manera heurística.

Tabla10: Contribución porcentual de las variables al modelo para *P. herrerae* Prueba 1 VC.

Variable	Clave	Contribución (%)
Precipitación pluvial	sqpa20utmok	58.7
Temperatura máxima	sqxa20utmok	24.9
Area de radiación solar	sqgsol20utmok	13.5
Humedad relativa anual	sqhra20utmok	1.5
Evapotranspiración	sqetpa20utmok	1
Evaporación	sqea20utmok	0.2
Temperatura media	sqma20utmok	0.2
Temperatura mínima	sqja20utmok	0.1
Pendiente	sq slo20utmok	-
Altura	sqgh20utmok	-
Exposición	sqgasp20utmok	-
Índice normalizado de vegetación	sqndv20utmok	-
Rugosidad	sqrugutmok	-
Geología	sqgeo20utmok	-
Suelo	sq sue20utmok	-
Textura	sqtex20utmok	-
Vegetación	sqv20utmokv1	-

8.1.3.1 Curva operacional (ROC)

El modelo fue evaluado a través de la curva operativa característica del receptor (ROC) calculando el área bajo la curva (AUC). Los valores de AUC fluctúan de 0 a 1 donde 0.5 indica que el modelo no tiene capacidad predictiva, 1 significa una discriminación o un modelo perfecto y los valores por debajo de 0.5 indican una relación mucho menor que la esperada al azar.

El análisis ROC generalmente es aceptado como un método estándar para evaluar la exactitud de los modelos de distribución predictiva, que además permite conocer la aplicabilidad de los mismos y proporciona a través de la AUC una medida simple del desempeño del modelo, el cual se utilizó como proceso de evaluación para la Prueba 1 VC y para la Prueba 2 VCA.

El resultado gráfico para la prueba 1 VC se muestra en la curva ROC (Figura 19), donde se observa las curvas AUC de entrenamiento (línea roja) y de prueba (línea azul) con un ajuste similar orientado a la parte superior izquierda, ambas pruebas resultaron satisfactorias; el valor AUC para los datos de entrenamiento fue de 0.959 y para los datos de prueba 0.958, considerando que la división de los datos de sólo presencia fue en dos porciones iguales.

Mientras que las curvas de entrenamiento y la de prueba se sitúen entre ambas lo más juntas posible, mejor es el ajuste del modelo; lo que indica que no hay ningún error de omisión (la especie si esta pero se predice ausente), 100% de sensibilidad y ningún error de comisión (la especie puede estar ahí, sobre predicción) 100% de especificidad. Cabe señalar que las líneas azul y roja serán idénticas en el caso de utilizar los mismos datos para el entrenamiento y para la prueba (Phillips et al. S/F).

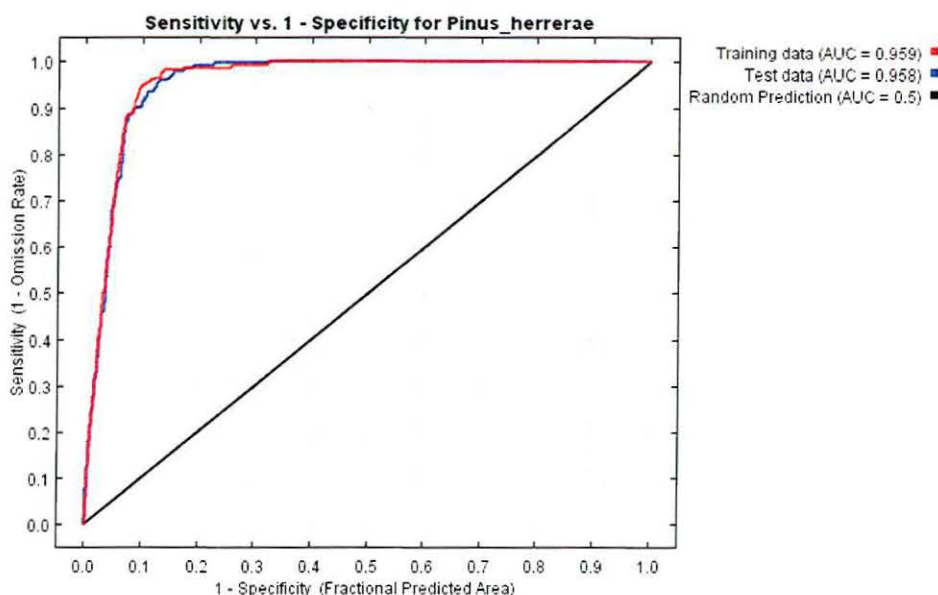


Figura 19: Curva operacional ROC para la Prueba 1 VC; grupos de datos: de entrenamiento (línea roja) y prueba (línea azul).

Para la Prueba 2 VCA la respuesta de la curva ROC se observa el valor calculado por la curva AUC para los datos de entrenamiento de 0.973 y los de prueba 0.971 (ver Figura 20).

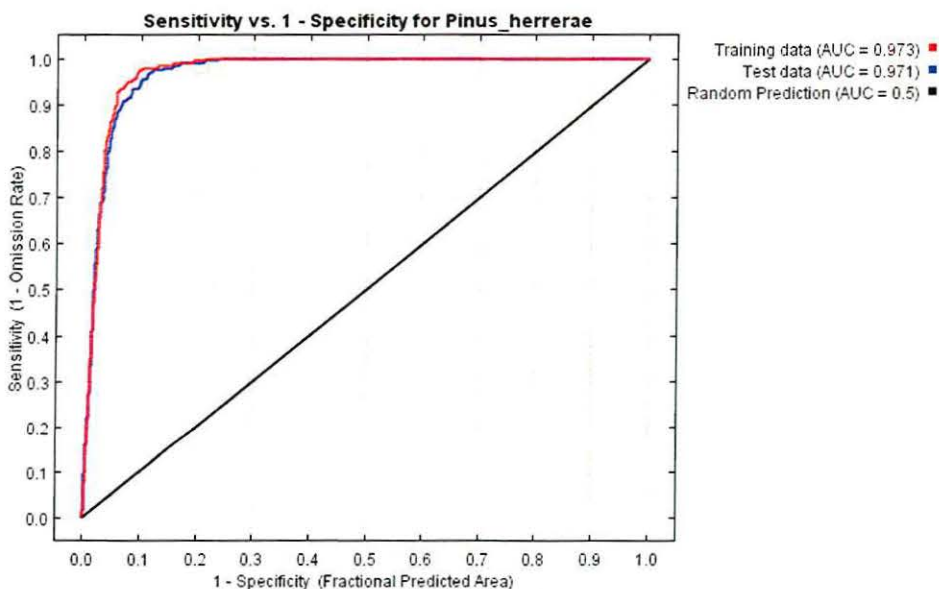


Figura 20: Curva operacional ROC para la Prueba 2 VCA; grupos de datos: entrenamiento (línea roja) y prueba (línea azul).

Los gráficos indican que ambas pruebas se ajustaron a la distribución de *P. herrerae*, contando con valores superiores a 0.95 lo que significa un buen ajuste del modelo. A pesar de que los modelos hayan tenido un buen ajuste a la distribución, la prueba que mejor se ajustó a la distribución potencial de *P. herrerae* fue la Prueba 2 VCA, registrando valores de 0.97 para los datos de entrenamiento.

8.1.3.2 Importancia de las variables climáticas y ambientales en la distribución potencial de *P. herrerae* (prueba de Jackknife)

MaxEnt generó un conjunto de modelos a través de dos gráficos de barras (ver Figuras 21 y 22), donde se muestra la ganancia de cada una de las variables que identifica la distribución potencial de *P. herrerae*; el primero de los gráficos muestra la contribución de cada variable de manera aislada; la barra azul claro muestra las variables remanentes, donde se excluye una variable; finalmente se crea un modelo (barra roja) usando todas las variables.

Ambas figuras muestran la prueba de Jackknife para los datos de entrenamiento y de prueba, en éstas se identifica que la variable de área de radiación solar (sqgsol20utmok), como la variable que si se usa por sí sola no obtiene ganancia, por lo tanto, no es útil para determinar la distribución de *P. herrerae*, o bien, parece tener la mayoría de la información que no está presente en las demás variables. Por otro lado, la variable de temperatura máxima (sqxa20utmok) permitió un ajuste bueno a los datos de entrenamiento. Adicionalmente las variables de temperatura mínima (sqja20utmok) y precipitación pluvial (sqpa20utmok) resultaron ser útiles para determinar la distribución de la especie.

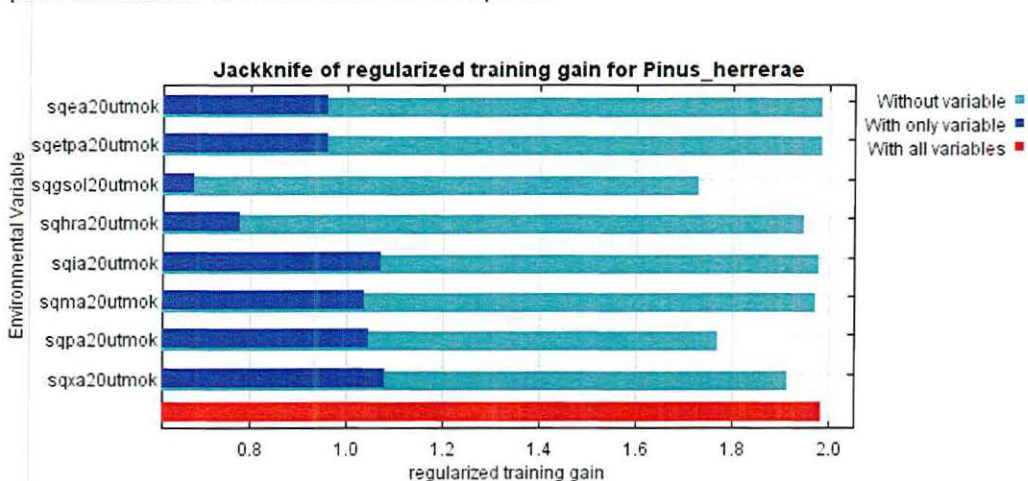


Figura 21: Contribuciones de variables climáticas de la Prueba 1 VC (sin variable, barra color azul claro; con una variable, barra azul rey y con todas las variables, barra color rojo).

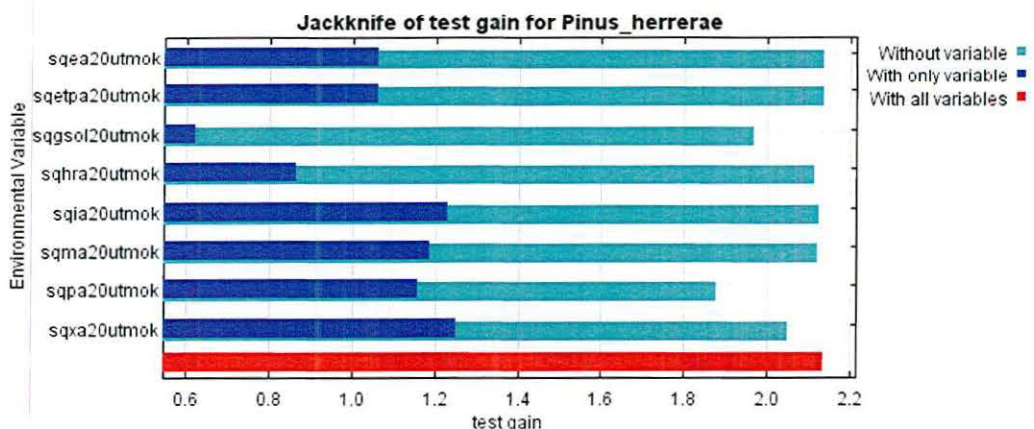


Figura 22: Análisis de Jackknife para los datos de prueba para *P. herrerae* (Prueba 1 VC).

Con respecto a la contribución para la(s) variable(s) para la Prueba 2 VCA, con el proceso de entrenamiento, se obtuvo la tabla (11) donde las variables de mayor contribución fueron precipitación pluvial (22.8%), suelo (21.3%), pendiente (18.9%) y geología (18.5) principalmente.

Tabla 11. Contribución porcentual de las variables climáticas y ambientales al modelo para *P. herrerae* (Prueba 2 VCA).

Variable	Clave	Contribución (%)
Suelo	sqsue20utmok	54.5
Precipitación	sqpa20utmok	12.4
Pendiente	sqslo20utmok	11.5
Altura	sqgh20utmok	9.2
Geología	sqgeo20utmok	5.3
Exposición	sqgasp20utmok	3.6
Índice normalizado de vegetación	sqndv20utmok	1.3
Temperatura media	sqma20utmok	1.1
Rugosidad	sqrugutmok	0.4
Evapotranspiración	sqetpa20utmok	0.2
Temperatura máxima	sqxa20utmok	0.2
Humedad relativa anual	sqhra20utmok	0.1
Temperatura mínima	sqia20utmok	0
Evaporación	sqea20utmok	0
Área de radiación solar	sqgsol20utmok	0

Con respecto al análisis de las contribuciones de ambos tipos de variables (climáticas y ambientales) para la distribución potencial de *P. herrerae* (Prueba 2 VCA); la figura (23) muestra la influencia de cada variable para su desarrollo o distribución potencial; se observa que si MaxEnt utiliza solamente la variable suelo (sqsue20utmok) obtiene un valor de ganancia mayor cuando se utiliza de manera aislada, considerándose por sí misma útil para estimar su distribución, por otra parte la variable que disminuye la ganancia de la mayoría cuando se omite son; evaporación (sqea20utmok) y evapotranspiración (sqetpa20utmok).

La figura (24) muestra los resultados de la prueba de Jackknife para los datos "test" o de prueba, la variable ambiental con mayor ganancia cuando se utiliza por sí sola es el suelo (sqsue20utmok), por lo tanto representa la variable más útil; la variable que disminuye la ganancia de más cuando se omite, es la pendiente (sqslo20utmok), evaporación (sqea20utmok) y evapotranspiración (sqetpa20utmok) por lo tanto es la variable que tiene la mayor información que no está presente en las otras variables.

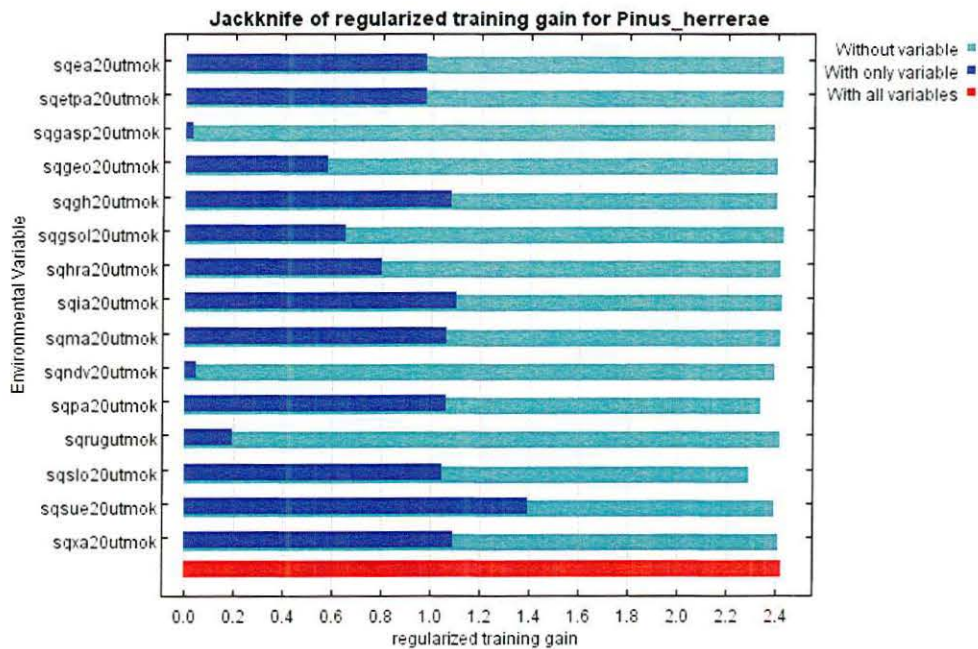


Figura 23: Contribuciones de las variables climáticas Prueba 2 VCA (sin variable, barra color azul claro; con una variable, barra azul rey y con todas las variables, barra color rojo).

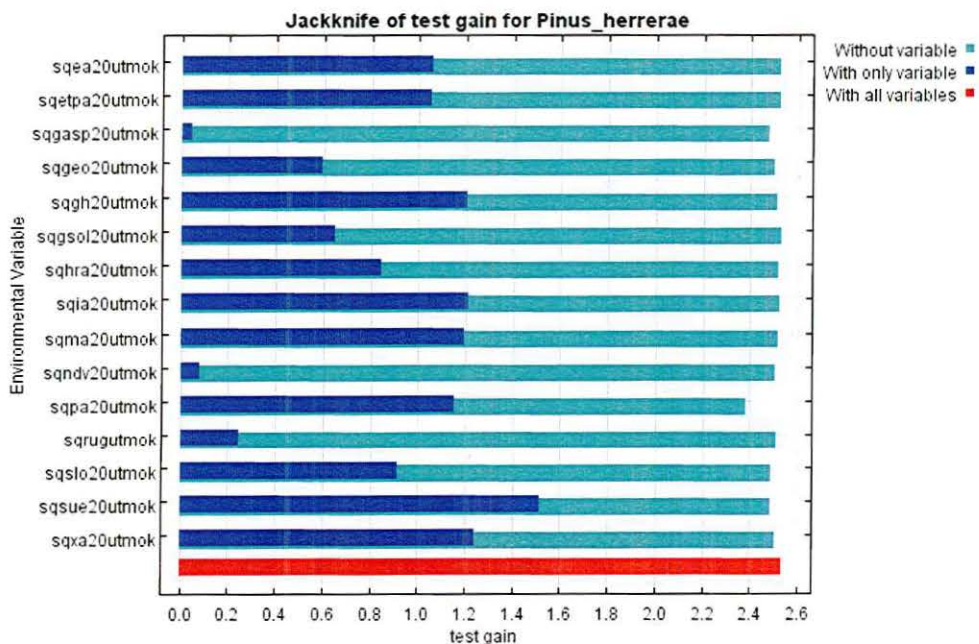


Figura 24: Análisis de Jackknife para los datos de de prueba para P. herreriae Prueba 2 VCA.

En síntesis, los resultados muestran para la Prueba 1 VC que *P. herreriae* se ve influenciado en su distribución por las variables climáticas de temperaturas máxima, mínima y precipitación principalmente; mientras que para la Prueba 2 VCA, le determinan principalmente las variables: tipo de suelo, la especie ocurre

preferentemente sobre el tipo de suelo Cambisol húmico, de textura fina y medianamente permeables; las temperaturas medias anuales mínima (9.2°C), máxima (26.7°C) y media (18°C), la altitud, entre 1985m y 2227m; así como la precipitación media anual mínima de 890mm y máxima de 909mm.

A *P. herrerae* se le atribuye la altitud como una condicionante principal para su hábitat; el rango altitudinal donde se registró la presencia de la especie durante el inventario fue entre 1980 y 2125 msnm.; asimismo Guerrero y López (1997) y Madrigal (1995, cit. en Rueda et al. 2006) coinciden con este mismo rango altitudinal de distribución para la especie. Al respecto, Rueda et al. (2006) describen otros factores de desarrollo para *P. herrerae*, como condiciones de precipitación media anual mínima de 500mm y máxima de 1700mm y una temperatura mínima de -3°C y una máxima de 42°C. Por otro lado, Dvorak et al. (2000) señalan que *P. herrerae* es encontrado en elevaciones desde 1200 hasta 2600 m, pero su distribución es más común entre 1800 y 2400m; otra característica de la especie es alojarse en suelos con buen drenaje. Según Escalante et al. (2003), no sólo las variables ambientales determinan la permanencia de una especie en un lugar, sino que además las explicaciones históricas espaciales toman una relevancia, es decir, considerando el patrón biogeográfico y evolutivo de la especie.

8.1.3.3 Mapa de idoneidad de hábitat o distribución potencial.

Como resultado gráfico del modelo MaxEnt generó el mapa "crudo" de distribución potencial en tonos de grises en formato ASCII (Figura 25).



Figura 25: Mapa "crudo" de idoneidad del modelo MaxEnt en formato asc (Prueba 1 VC).

La imagen proporciona un estimado entre cero y uno de probabilidad de presencia asumiendo que el diseño de muestreo es tal que las áreas de presencia típicas tendrán una probabilidad de presencia de alrededor de 0.5. Con el fin de reescalar

de manera gráfica el resultado en formato raster a la imagen resultante, ésta se reclasificó en 11 clases, las cuales van de 0 a 1 (0 al 100%) de probabilidad de distribución de la especie, además se cambió el color de acuerdo a la graduación relativa, previendo obtener de esta manera una mejor visualización de las superficies acorde a la distribución potencial de la especie; así las tonalidades de colores más cálidos (rojos-naranja-amarillo) en los mapas significarán una mayor probabilidad de la presencia de la especie, por el contrario, los tonos más gélidos (verde-azul) o totalmente transparente se interpretarán como áreas menos susceptibles para su presencia o distribución (ver Figuras 26, 27, 28 y 29). Las figuras 26 y 27 muestran el mapa de idoneidad o distribución potencial de *P. herrerae* utilizando sólo la clase de variables climáticas (Prueba 1 VC), mientras que las figuras 28 y 29, muestran las superficie optima empleando ambos tipos de variables (Prueba 2 VCA).

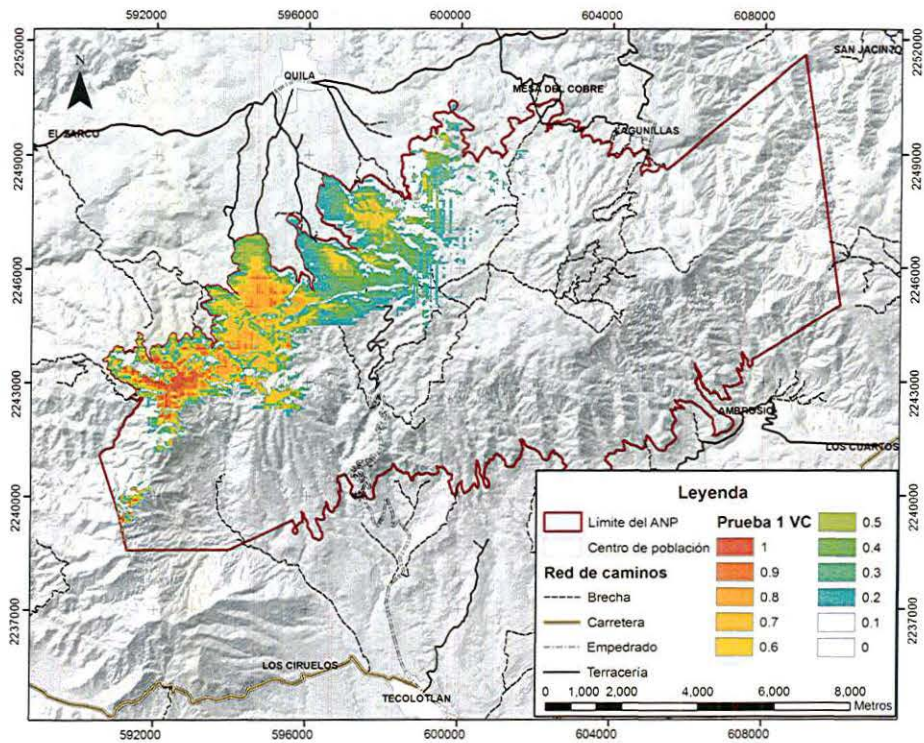


Figura 26: Área de distribución potencial de *P. herrerae* en el ANP Sierra de Quila con base a las variables climáticas (Prueba 1 VC).

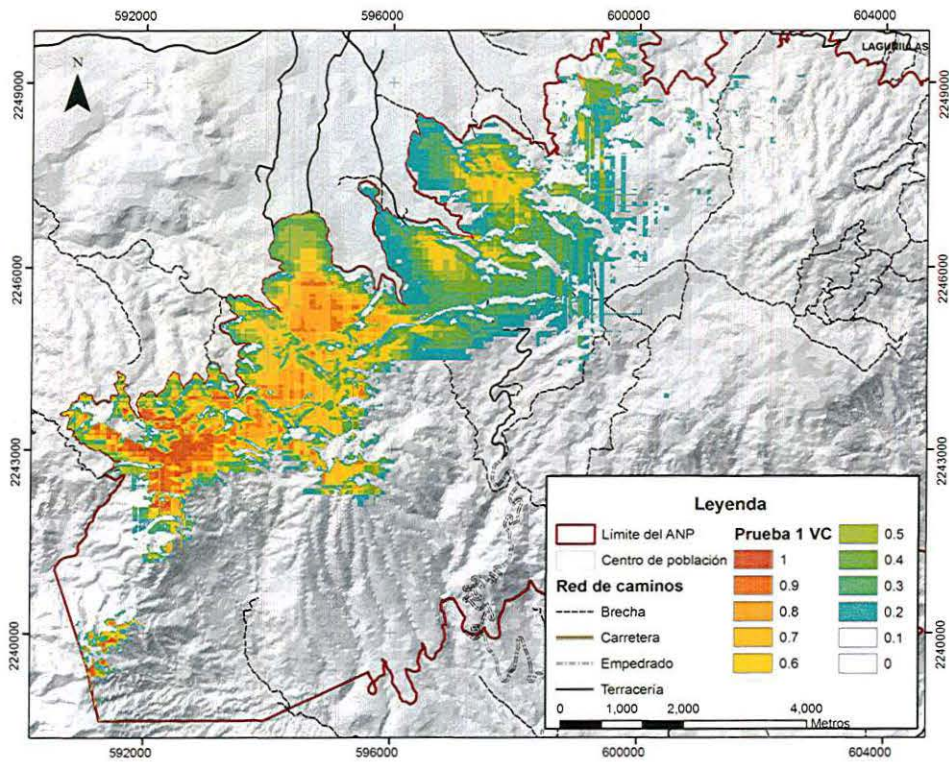


Figura 27: Acercamiento del área de distribución potencial de *P. herrerae* en el ANP Sierra de Quila (Prueba 1 VC).

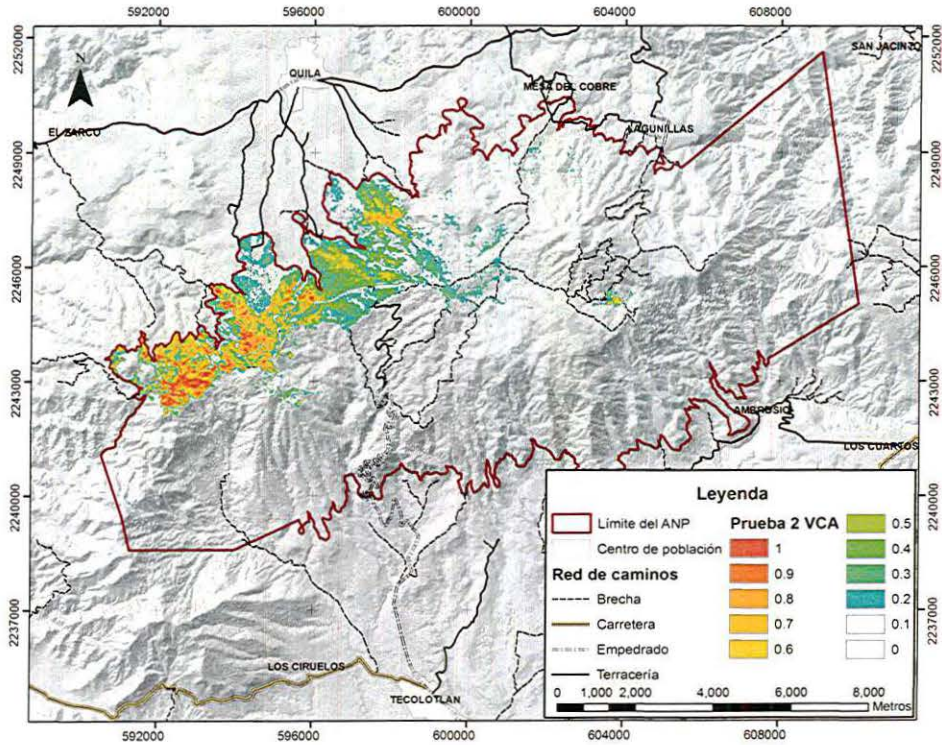


Figura 28: Área de distribución potencial de *P. herrerae* en el ANP Sierra de Quila con base a las variables climáticas y ambientales (Prueba 2 VCA).

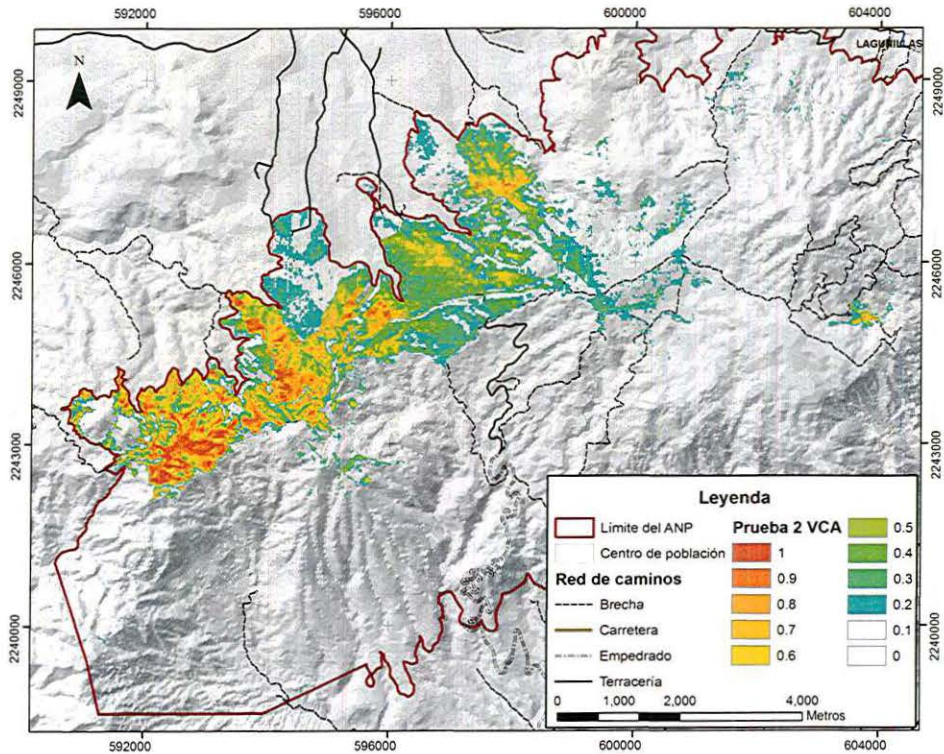


Figura 29: Acercamiento del área de distribución potencial de *P. herrerae* en el ANP Sierra de Quila (Prueba 2 VCA).

Como modelo potencial de distribución de *P. herrerae* en el ANP Sierra de Quila se definió la Prueba 2 VCA, la cual contempla las variables climáticas y ambientales, su elección se fundamenta por haber obtenido los valores más altos de la curva AUC, es decir, 0.973 para los datos de entrenamiento y 0.971 para los datos de prueba, además de que esta prueba mantiene una mayor concordancia en el umbral de distribución con respecto a lo documentado en campo. En este sentido, la figura (30) delimita la superficie de distribución potencial de *P. herrerae* a partir de un umbral de distribución con una probabilidad del 50 al 100%; se observa que la distribución de la especie prácticamente tiene una distribución potencial disyunta, presentándose algunas áreas remanentes ubicadas entre las dos áreas de estudio (Rodal oeste y Rodal noroeste); la superficie que abarca este umbral de idoneidad de nicho dentro del ANP es de 606 hectáreas.

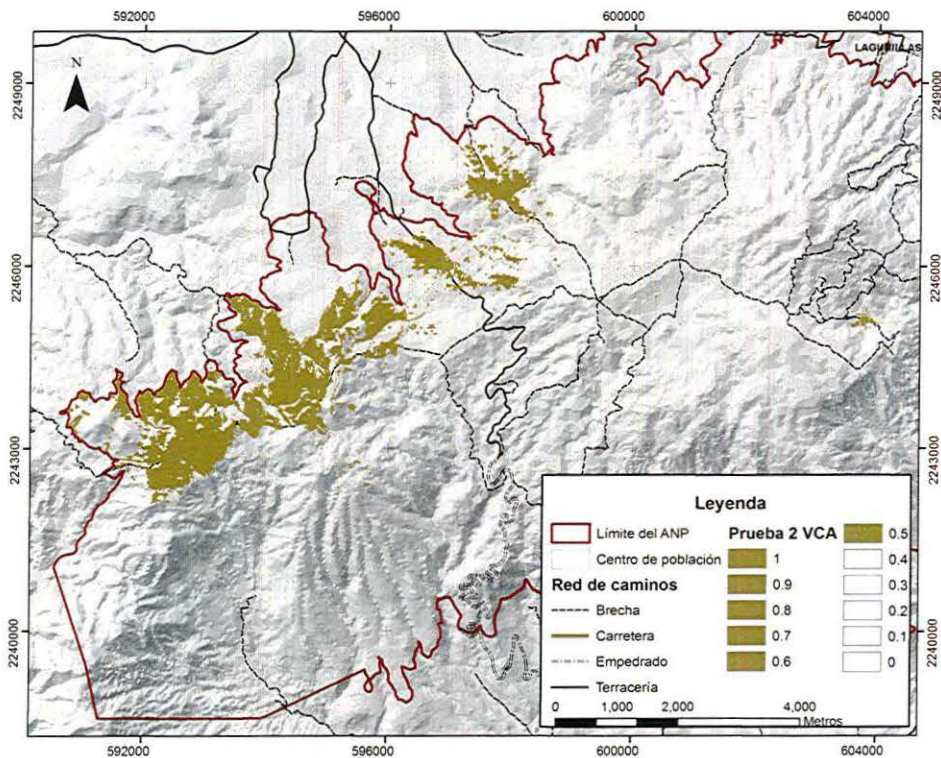


Figura 30: Áreas de distribución potencial de *P. herrerae*, basado en el modelo MaxEnt a partir de una probabilidad de 50% con base a la Prueba 2 VCA.

Los trabajos que abordan la distribución espacial de los pinos en México son escasos, algunos autores como Martínez (1948), Dvorak et al. (2000), Herrera et al. (2005), Rzedowski (2006) y Sánchez (2008) refieren sus trabajos en monografías y guías de campo. Otros autores coinciden en que no hay una gama de trabajos que empleen modelos de distribución para el género *Pinus* y adicionalmente evalúen cuantitativamente las condiciones generales de las especies (Vela (1980), Martínez (1992), Farjon et al. (1997) y Rueda et al. (2006)). Rosas (2008) publicó el único estudio, del que se dispone, con modelos de distribución ecogeográfica del género *Pinus* en México. Con el uso del programa Bioclim definió a partir de los registros de colecta, un dominio central en función de los valores mínimos y máximos de 19 variables climáticas; los modelos obtenidos para *P. ayacahuite*, *P. hartwegii*, *P. montezumae*, *P. patula*, *P. pseudostrobus* y *P. teocote* indicaron una amplia afinidad climática a las condiciones existentes en la subcuenca; *P. cembroides* y *P.*

leiophylla presentaron áreas poco afines; *P. maximinoi* y *P. oocarpa* mostraron preferencia a la franja ubicada entre los 1600 a 2300 msnm con dirección noroeste-sureste, en la que imperan condiciones cálidas y húmedas. De manera particular cabe destacar que *P. hartwegii* registro mayores altitudes y las temperaturas más bajas; *P. cembroides* presentó los registros más bajo de precipitación; *P. maximinoi* y *P. oocarpa* las temperaturas y precipitaciones más altas.

8.1.4 Análisis multivariable

Rodal oeste

De acuerdo con el diagrama de ordenación de la figura (31) se observaron tres sitios de muestreo (1, 12 y 35) en los extremos del gráfico, lo cual indica que son los sitios más disímiles en composición florística. Los tres primeros ejes extrajeron el 84.4 % de la varianza de los datos. El primer eje extrajo el 47% de la varianza, el segundo el 18.8% y el tercero el 18.5%. En la porción inferior izquierda de la figura (31) a partir del centro de los ejes, se agruparon la mayor parte de los sitios. El primer eje presentó las mayores correlaciones con los parámetros del sitio: densidad de copa y número de hojosas; en el segundo eje los parámetros del arbolado: diámetro y altura; mientras que en el tercer eje presenta su mayor correlación con la latitud (Tabla 12).

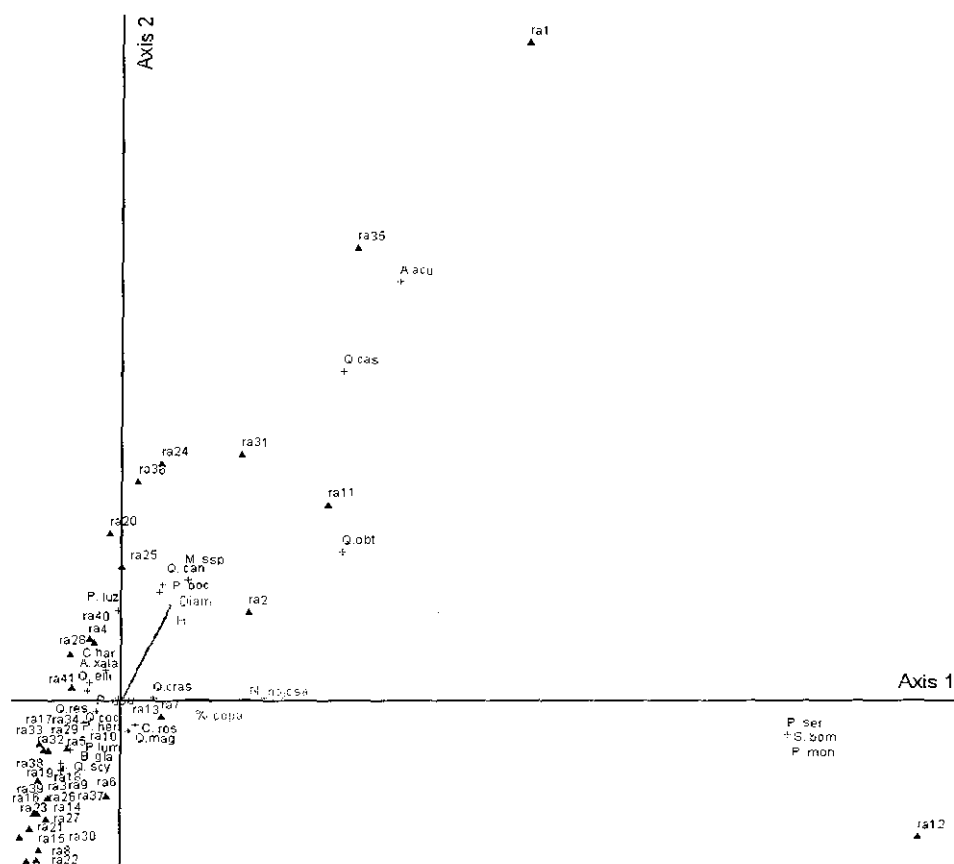


Figura 31: Ordenación de Bray y Curtis de los sitios de muestreo derivado de la presencia-ausencia de las especies y las variables dasométricas, ecológicas y ambientales del ANP Sierra de Quilla.

Tabla 12. Coeficiente de correlación entre las variables dasométricas y ecológicas tomadas en campo con los diferentes ejes.

Variables	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Longitud (X)	0.102	0.103	0.093
Latitud (Y)	0.26	0.014	0.305
Altitud	-0.248	-0.127	-0.274
Exposición	-0.126	-0.113	0.242
Pendiente	0.033	0.135	-0.07
%_arb_her	0.203	-0.083	-0.276
Suelo	-0.051	0.072	0.145
Relieve	-0.062	0.07	-0.098
Geoforma	-0.047	0.069	-0.087
% Erosión	-0.191	-0.199	0.014
Tipo erosión	0.233	0.222	0.071
Forma erosión	0.23	0.223	0.055
% Copa	0.371	-0.005	0.145
Rocas	0.202	0.056	0.011
Piedras	0.294	0.213	0.011
Fuego	0.142	0.027	0.077
Pastoreo	0	0	0
N_árbol	-0.133	-0.206	-0.155
Diámetro promedio	0.331	0.486	0.251
Altura promedio	0.321	0.462	0.297
A_basal	0.174	0.189	0.212
N_pino	-0.102	-0.271	-0.006
N_encino	-0.182	0.013	-0.166
N_hojosas	0.536	0.65	-0.139
Shannon	-0.011	0.178	-0.212

Coeficientes de correlación con las especies y las variables dasométricas

En el primer eje presentó las mayores correlaciones en valores positivos con *Q. obtusata*, *Prunus serotina*, *Salix bonplandiana* y *P. montezumae*; mientras que con valores negativos lo es para *P. douglasiana*, *Q. resinosa* y *Q. coccolobifolia*. En el segundo eje se asociaron *P. oocarpa*, *Q. castanea* y *A. acuminata*; además de *P. herrerae* y *P. lumholtzii*. En el tercer eje las especies asociadas fueron *Q. magnolifolia* y *C. rosei* (Tabla 13).

Tabla 13. Coeficiente de correlación de especies con la ordenación de Bray y Curtis.

Especies	Axis 1	Axis 2	Axis 3
<i>C. rosei</i>	0.034	-0.051	0.967
<i>A. acuminata</i>	0.576	0.824	-0.089
<i>Mimosa. ssp.</i>	0.339	0.596	-0.189
<i>C. hartwegii</i>	-0.163	0.317	-0.391
<i>P. serotina</i>	0.835	-0.04	-0.077
<i>S. bomplandiana</i>	0.835	-0.04	-0.077
<i>B. glauca</i>	-0.414	-0.463	-0.174
<i>A. xalapensis</i>	-0.279	0.158	-0.343
<i>P. oocarpa</i>	0.342	0.924	-0.338
<i>P. douglasiana</i>	-0.942	-0.376	0.175
<i>P. lumholtzii</i>	-0.478	-0.529	-0.226
<i>P. montezumae</i>	0.835	-0.04	-0.077
<i>P. herrerae</i>	-0.71	-0.553	-0.406
<i>P. luzmariae</i>	-0.017	0.442	-0.218
<i>Q. castanea</i>	0.605	0.858	-0.09
<i>Q. obtusata</i>	0.953	0.618	-0.096
<i>Q. crassifolia</i>	0.154	0.015	0.584
<i>Q. resinosa</i>	-0.827	-0.465	-0.565
<i>Q. coccolobifolia</i>	-0.812	-0.735	-0.239
<i>Q. magnolifolia</i>	0.022	-0.08	0.989
<i>Q. candicans</i>	0.208	0.578	-0.2
<i>Q. elliptica</i>	-0.264	0.075	-0.254
<i>Q. scytophylla</i>	-0.226	-0.223	-0.097

La ordenación de los sitios en función de las variables ambientales, obtenidas de SIG mostró como puntos extremos en el eje 1 (x) a la parcela 12, en el eje 2 (y) a las parcelas 1 y 35 tal como se presentó en el caso anterior sólo que las variables fueron diferentes debido a que se tomó en consideración información sobre variables climáticas y temáticas (Figura 32).

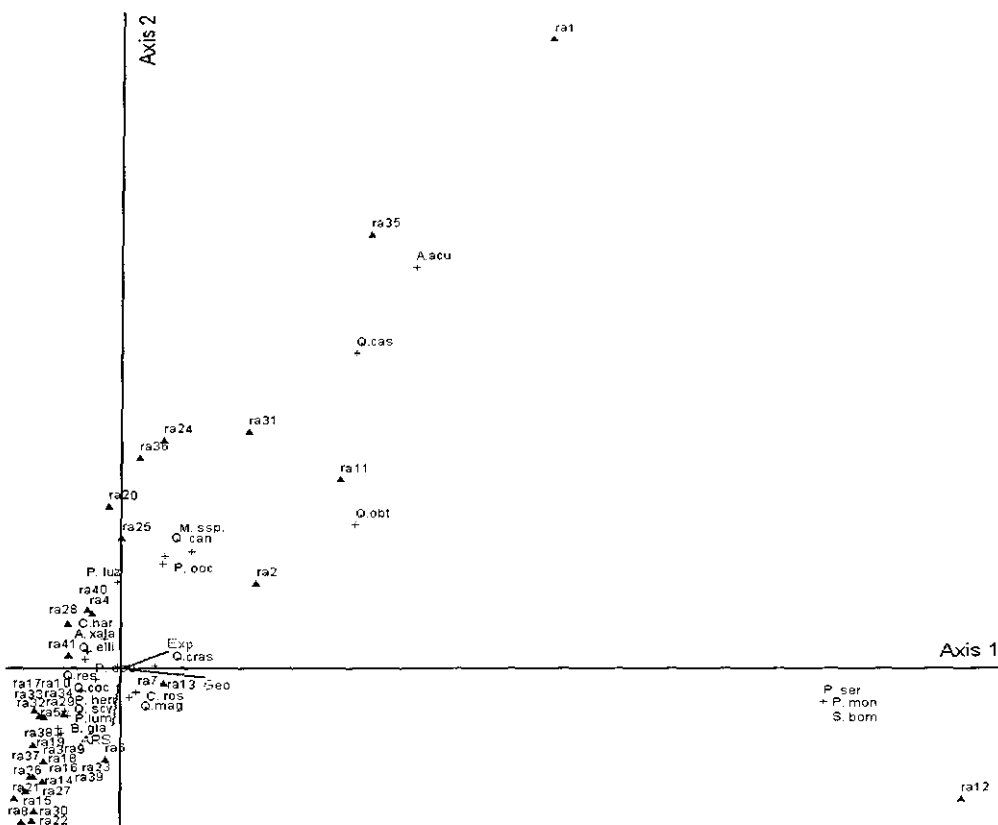


Figura 32: Ordenación de Bray y Curtis derivado de la composición de especies por sitio y las variables climáticas y ambientales obtenidas del SIG en Sierra de Quila.

De acuerdo con el diagrama de ordenación de la figura (32) derivadas de las variables climáticas y ambientales obtenidas de un SIG, mostró un patrón en que la dispersión de los sitios se relacionó con las variables de exposición, geología y área de radiación solar con el 84.4% de la varianza explicada. Se observó que la mayor parte de los sitios se agruparon en la porción inferior izquierda a partir del centro de los ejes y que se correlacionó con la variable de área de radiación solar.

Coefficiente de correlación de variables climáticas-ambientales

En el primer eje se presentó la mayor correlación, con geología y exposición; el segundo eje se relacionó el área de radiación solar; en tanto en el tercer eje las variables de precipitación y humedad relativa anual tuvieron la mayor correlación (Tabla 14).

Tabla 14. Coeficiente de correlación entre variables climáticas y temáticas.

Variables	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Altitud	-0.298	-0.121	-0.309
Área de Radiación Solar	-0.128	-0.381	0.132
Evaporación	0.177	0.082	0.414
Evapotranspiración	0.177	0.082	0.414
Exposición	0.314	0.211	0.176
Geología	0.419	-0.151	0.142
Humedad relativa anual	-0.211	-0.148	-0.426
Índice normalizado de vegetación (NDVI)	0.098	0.269	0.257
Pendiente	-0.04	0.216	0.111
Precipitación	-0.159	-0.074	-0.499
Rugosidad	0.153	0.194	-0.113
Suelo	0.094	0.104	0.144
Temperatura máxima	0.135	0.15	0.337
Temperatura media	0.17	0.175	0.23
Temperatura mínima	0.154	0.188	0.245
Textura	0.231	0.069	0.158
Vegetación	0.22	-0.225	-0.099

La clasificación es consistente con la ordenación y se distinguen con claridad 3 grupos donde comparten más del 50% de similitud florística (Figura 33), el grupo 1 (sitios del 1al 13), el grupo 2 (sitio 12) y el grupo 3 con el resto de los sitios.

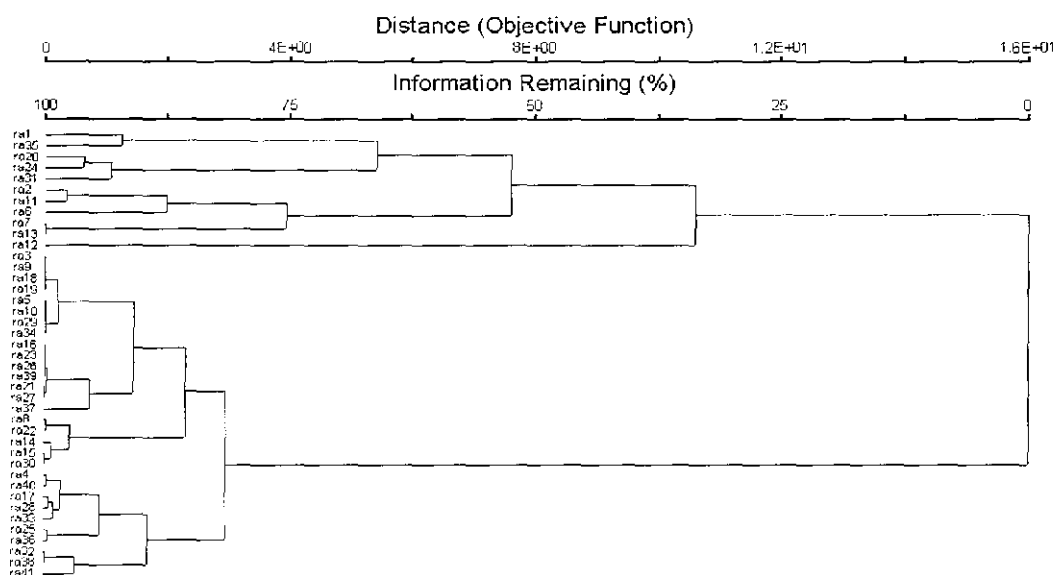


Figura 33: Dendrograma de análisis de agrupamiento rodal oeste con la distancia Sørensen y el vecino más lejano como el método de la unión de grupos.

Rodal noroeste

La ordenación de los sitios en función de la presencia-ausencia de las especies seleccionó como punto extremo en el eje 1 (x) a la parcela 1, en el eje 2 (y) a las parcelas 7 y 12 estos son los sitios más disímiles en composición florística. Los tres primeros ejes extrajeron el 100% de la varianza de los datos. El primer eje extrajo el 91% de la varianza, el segundo el 5.5% y el tercero el 3.4%.

En el diagrama de ordenación de la figura (34) junto con la Tabla (15) muestra al primer eje con las mayores correlaciones con los parámetros del sitio: latitud, relieve, rocas, número de pinos, fuego, exposición y área basal; en el segundo eje número de hojosas, rocas, número de pinos, piedras, número de encinos y en el tercer eje número de pinos, geoformas, exposición y densidad de arbustos y vegetación herbácea.

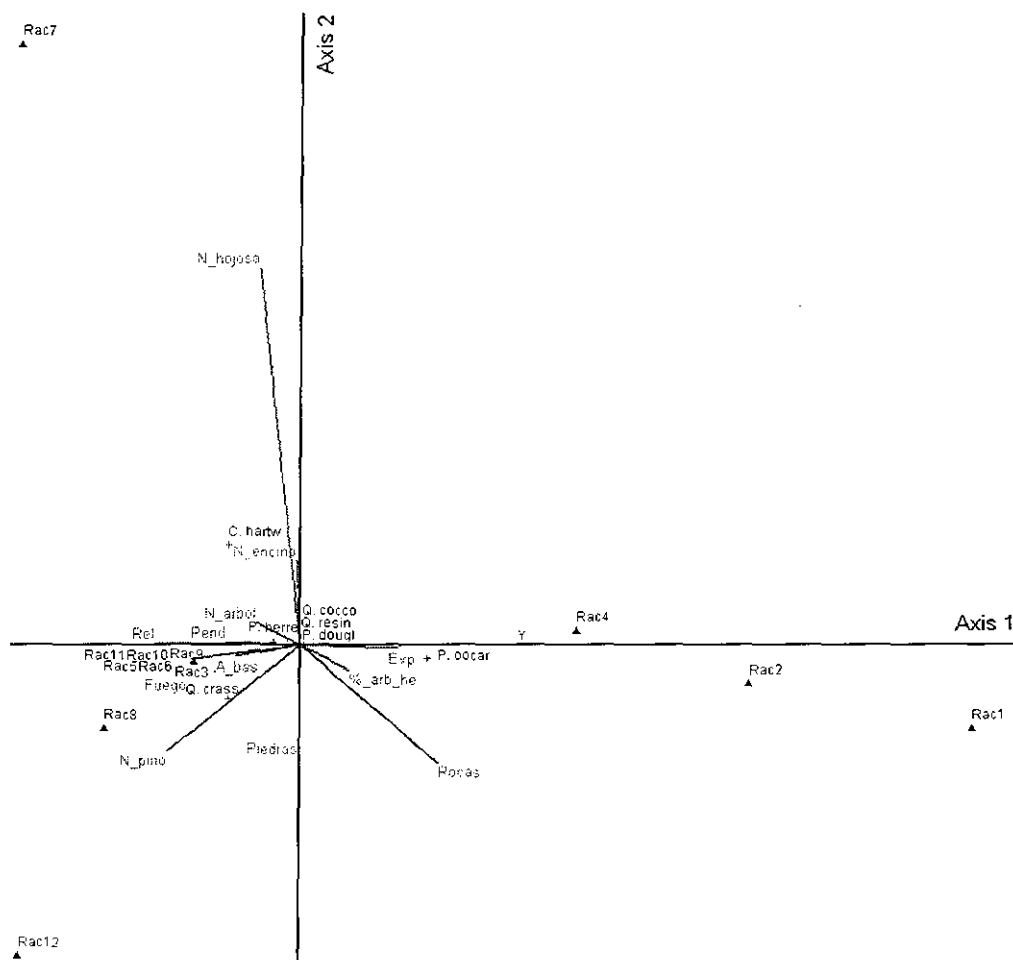


Figura 34: Ordenación de Bray y Curtis de los sitios de muestreo derivado de la presencia-ausencia y las variables dasométricas, ecológicas y ambientales en Sierra de Quila.

Tabla 15. Coeficiente de correlación entre variables dasométricas y ecológicas tomadas en campo de los diferentes ejes.

Variables	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Longitud (X)	-0.205	-0.126	-0.245
Latitud (Y)	0.674	0.011	-0.427
Altitud	0.158	-0.266	0.151
Exposición	0.452	-0.082	-0.518
Pendiente	-0.394	0.088	0.077
%_arb_her	0.321	-0.239	-0.466
Suelo	0.289	0.022	0.047
Relieve	-0.553	0.069	0.133
Geoforma	0.018	0.065	-0.557
Erosión	-0.112	-0.024	-0.049
Tipo erosión	0.112	0.024	0.049
Forma erosión	0.112	0.024	0.049
% copa	-0.142	-0.272	0.434
Rocas	0.539	-0.511	0.260
Piedras	0.06	-0.456	0.319
Fuego	-0.470	-0.169	0.412
Pastoreo			
N_árbol	-0.303	0.22	0.082
Diámetro promedio	-0.08	-0.256	0.157
Altura promedio	-0.222	-0.207	0.21
A_basal	-0.368	-0.16	0.511
N_pino	-0.526	-0.484	0.675
N_encino	-0.087	0.428	-0.21
N_hojosas	-0.293	0.909	-0.113
Shannon	-0.184	-0.165	0.165

Coeficientes de correlación con las especies y las variables dasométricas

El primer eje presentó las mayores correlaciones con *P. oocarpa*, *P. herrerae* y *P. douglasiana*; en el segundo eje se asociaron *C. hartwegii* y *Q. crassifolia* y mientras en el tercer eje las especies asociadas fueron *Q. crassifolia* y *P. oocarpa*. (Tabla 16).

normalizado de vegetación, pendiente evaporación, evapotranspiración y temperaturas máxima y media y por lo tanto con el 100% de la varianza explicada. Sin embargo, un estudio realizado por Sánchez et al. (2008) mencionan que *P. herrerae* se encuentra entre los 2000 y 2500 m de altitud, con humedad intermedia y mucha pedregosidad.

Coefficiente de correlación de variables climáticas-temáticas

En el primer eje se presentó la mayor correlación, con geología y pendiente; el segundo eje se relacionó con evaporación, evapotranspiración y altitud, temperatura máxima, rugosidad e índice normalizado de vegetación; en tanto en el tercer eje las variables de área de radiación solar y exposición tuvieron la mayor correlación (Tabla 17).

Tabla 17. Coeficiente de correlación entre variables climáticas y ambientales por sitio.

Variables	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Altitud	-0.058	-0.522	0.192
Área de Radiación Solar	-0.052	0.128	0.525
Evaporación	0.042	0.528	-0.249
Evapotranspiración	0.042	0.528	-0.249
Exposición	0.365	-0.374	-0.478
Geología	0.935	-0.103	-0.199
Humedad relativa anual	-0.156	-0.257	-0.044
Índice normalizado de vegetación (NDVI)	-0.047	-0.367	0.214
Pendiente	-0.585	0.411	0.056
Precipitación	0.203	-0.572	0.129
Rugosidad	0.374	-0.489	0.108
Suelo			
Temperatura máxima	0.027	0.522	-0.239
Temperatura media	0.090	0.318	-0.098
Temperatura mínima	0.058	0.289	-0.072
Textura			
Vegetación	-0.166	-0.036	-0.073

La clasificación es consistente con la ordenación y se distinguen con claridad 3 grupos donde comparten más del 70% de similitud florística (Figura 36), el grupo 1 (sitios 1, 2 y 4), el grupo 2 con el resto de los sitios y el grupo 3 con el sitio 7.

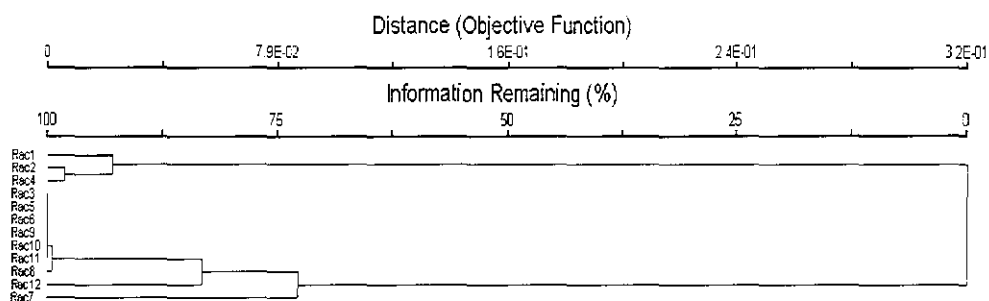


Figura 36: *Dendrograma de análisis de agrupamiento del rodal noroeste con la distancia Sørensen y el vecino más lejano como el método de la unión de grupos.*

El análisis multivariable para los dos rodales presentaron una muy buena correlación, con datos del 100% para el Rodal noroeste y 84.3% para el Rodal oeste; no obstante la buena correlación del Rodal noroeste debida a la gran heterogeneidad de variables que correlacionaron para los 12 sitios y lo disminuido del área de muestreo, se considera al Rodal oeste como una representación más real del área de estudio en general, por el tamaño de muestra representado (aprox. 550ha), el número de sitios de muestreo (41) y la equidistancia (400m) entre estos.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Inventario forestal

La evaluación de la estructura arbórea de los rodales en estudio, particularmente, proporcionó información sobre las diferentes etapas del desarrollo de la especie *P. herrerae*, así como de los aspectos básicos de su hábitat; el inventario forestal permitió obtener datos sobre la distribución del arbolado; la composición arbórea tanto en diversidad de especies y su distribución horizontal y vertical en el rodal; su condición actual en dominancia (área basal) y altura, así como de su condición en términos de regeneración natural; por lo anterior, se puede concluir en la siguiente síntesis sobre los rodales en estudio:

En el Rodal oeste, la posición sociológica de *P. herrerae* mantiene una condición dominada, debido a que el 50% de sus árboles se presentan en la categoría diamétrica de 10cm, asimismo su altura promedio (12.9m) le posiciona en un estrato intermedio dentro de la población. La composición de las especies por estrato de altura mostró que la comunidad de este rodal no se encuentra representada por todas las especies en todos los pisos, sin embargo, *P. herrerae* se sitúa de manera predominante en los pisos intermedio y bajo. La regeneración natural por grupo de árboles es más abundante por los encinos, seguida de los pinos.

En el Rodal noroeste, *P. herrerae* se sitúa en una posición social codominante con una frecuencia mayor sobre las clase diamétrica de 20 a 30 cm; de acuerdo al índice vertical de Pretzsch, las especies que componen esta comunidad no se encuentran representadas en todos los pisos. *P. herrerae* se sitúa de manera predominante en el piso alto (12.3m altura promedio), es decir, este rodal presenta para esta especie árboles maduros, de porte alto en su mayoría. La regeneración natural para esta especie y en general para este género es escasa ya que las plántulas y brinzales del grupo de los encinos predominó con más del 75% de la repoblación.

Modelo MaxEnt

El modelo MaxEnt arrojó en ambas pruebas valores altos del área bajo la curva (AUC), por lo que se consideran potencialmente confiables para la distribución de la especie en estudio; sin embargo, la Prueba 2 VCA que incluyó tanto variables climáticas como variables ambientales mostro el mejor ajuste (0.97).

Se considera que el mapa de idoneidad de nicho de la especie de la Prueba 2 VCA, la cual contempla variables climáticas y ambientales, es el más idóneo para representar el umbral que actualmente sitúa y define la presencia de la especie, ya que concuerda con lo documentado durante el reconocimiento del terreno y trabajo de campo.

El análisis del modelo MaxEnt indica que las variables más significativas para establecer una relación directa con la distribución de la especie son el tipo de suelo (Cambisol húmico), las temperaturas promedio (mínima de 9.2°C, media de 18°C y máxima de 26.7°C), la altitud (entre 1985 y 2227msnm) y la precipitación media anual mínima de 890mm y máxima de 909mm; la ocurrencia de la especie en general tienen relaciones complejas con su medio físico y biótico, por ende su desarrollo y distribución no depende de un solo factor, si no que implica una serie de influencias interdependientes e interrelacionadas; las variables más significativas fueron las temperaturas, por lo tanto, la especie podría ser susceptible ante estos cambios, poniendo en riesgo el estado de sus poblaciones por el fenómeno del cambio climático.

El mapa de distribución potencial de *P. herrerae* brinda un marco hipotético confiable para futuras investigaciones sobre la dinámica de su población, asimismo mediante el criterio cualitativo de carácter espacial para el conocimiento de la especie, los resultados podrán ser empleados en el programa de conservación y manejo del área natural protegida aplicado al fortalecimiento de la gestión territorial y zonificación, para orientar la proyección espacial del fomento y la conservación de la especie.

Análisis multivariable

En el rodal oeste *P. herrerae* se asoció con las especies *Befaria glauca*, *P. douglasiana*, *P. lumholtzii*, *Q. resinosa* y *Q. coccolobifolia*. Las variables de campo que se hipotetizan están influyendo en la distribución de todas las especies en este rodal son el diámetro (16 cm), la altura promedio de los árboles (10m), el número de hojosas y el porcentaje de copa (1 - 40%). Para el Rodal noroeste *P. herrerae* se relacionó con las especies *P. douglasiana*, *Clethra hartwegii* y *Q. crassifolia* y a su vez se relacionó con las variables relieve, fuego, área basal y densidad de pinos.

Cabe mencionar que los resultados de este trabajo con respecto al análisis de variables climáticas-ambientales obtenidas a partir de un SIG, entre las variables más relacionadas fueron exposición, geología, área de radiación solar, precipitación y humedad relativa anual.

Con respecto a la hipótesis planteada en este trabajo, esta misma es aceptada, ya que las variables ecológicas y dasométricas están relacionadas con el hábitat de la especie de acuerdo a la interpretación de resultados del análisis multivariable, así como de los atributos ambientales y climáticos que son determinantes en la distribución de la especie de acuerdo a lo obtenido de la modelación con MaxEnt.

En el contexto de este trabajo se hacen las siguientes recomendaciones:

Se sugiere para estudios posteriores realizar un análisis discriminante entre las variables, ya que la inclusión en el modelo, de variables altamente correlacionadas entre sí puede afectar el resultado final.

Se recomienda implementar un programa específico de propagación y fomento de la especie, debido a su delimitada área de distribución, densidad actual y escasa regeneración natural, sobre todo en el rodal oeste.

Se sugiere que los programas de fomento forestal o repoblación de la especie consideren el mapa de distribución potencial obtenido (Prueba 2 VCA).

Con la finalidad de conocer la probabilidad de distribución de una determinada especie y evaluar su condición estructural actual dentro de su comunidad arbórea, se sugiere contar en primera instancia con un acercamiento de su área potencial de distribución, la misma que podrá incluso ser obtenida de manera preliminar por los modelos de predicción de la especie y reconocimiento previo de campo, lo que ayudará a poder optimizar la planificación de inventarios específicos.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Ajbilou, R., Marañón, T. y Arrollo, J. 2003. Distribución de clases diamétricas y conservación de bosques en el norte de marruecos. España. Invest. Agrar.: Sist. Recur. For. 12 (2), 111-123.
- Allen, G. R., Pereira, S. L., Raes, D., Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo; Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) Roma.
- Anónimo, 2012. Tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG): La función de los SIG en la recopilación de datos. Tomado de: http://www.tradecommissioner.gc.ca/eng/services-foreign-companies/local-office.jsp?did=8372&sitid=83&lang=eng&_requestid=118115. Consultado el 25 de noviembre de 2011.
- Arita, T. H. y Rodríguez, P. 2003. Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: Teorías, Conceptos, métodos y aplicaciones: Ecología Geografía y Macroecología. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F., 63-80 pp.
- Arriaga, L. y Gómez, L. 2007. Posibles Efectos del Cambio Climático en Algunos Componentes de la Biodiversidad de México. INE (Instituto Nacional de Ecología) Tomado de: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/437/arriaga.html>.
- Bauche, P. P. 2003. Estudio de la diversidad de comunidades arbóreas en la zona de Protección de Flora y Fauna Sierra de Quila, Estado de Jalisco. Tesis de Licenciatura, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias-Universidad de Guadalajara Jalisco, México. 72 pp.
- Bauche, P. P., Villavicencio, G. R., Gallegos, R. A. y Huerta, M. A. 2002. Índices de diversidad aplicados a comunidades arbóreas en la zona de protección de flora y fauna Sierra de Quila, Estado de Jalisco. En memorias del V Congreso Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Guadalajara, Jalisco, México del 17 al 20 de Octubre de 2002.
- Bonet, G. F. J. 2007. Modelos algorítmicos. Réplica del III taller sobre modelización de nichos ecológicos de GIF. Madrid, España, del 14-16 marzo de 2007.
- CEAS, 2005. Cuencas hidrológicas en Jalisco, conjuntos de datos geográficos de la carta hidrológica de aguas superficiales 1:250,000. Comisión Estatal del Agua de Jalisco. Anuario estadístico del estado de Jalisco. Tomado de: <http://www.ceajalisco.gob.mx/cuencajal.html#cuenca-jal>. Consultado el 29 de agosto de 2011.
- CETENAL (1973). Carta Geológica 1:50000. Atengo-F13D73, Cocula-F13D74 y Tecolotlán-F13D83. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. México.
- CONABIO, 2009. La diversidad biológica de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. D.F. Tomado de <http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/quees.html>. Consultado el 16 de agosto de 2011.
- CONANP, 2010. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Áreas Protegidas Decretadas. Tomado de http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/. Consultado el 07 de abril de 2011.

- Contreras, M. R., Luna, V. I. y Ríos, M. C. 2010. Distribución de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México: Modelos ecológicos de nicho, efectos del cambio del uso de suelo y conservación. *Revista Chilena de Historia Natural* 83: 421-433.
- Chuvienco, S. E. 2002. Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio. *Ariel Ciencia*, España 586 pp.
- Cruz, M. J. Arrieta, R. A., Calderón, C. R., Sánchez, L. A. G., González, E. R. 2009. Análisis de la diversidad estructural en el bosque tropical de Tabasco, México. *Memorias del XIII Congreso Forestal Mundial CFM 2009*. Buenos Aires, Argentina.
- Cuyckens, G. A. E., Perovic, P. G. y Tognelli, M. F. 2010. La quebrada de Humahuaca y su influencia en la distribución de los félidos en la provincia de Jujuy (Argentina). *BioScriba* Vol. 3 (1):35-46.
- Del Rio, M., Montes, I. C., y Montero, G. 2003. Revisión: índices de diversidad estructural en masas forestales. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* 12 (1), 159-176.
- Diccionario Oxford-Complutense, 2000. *Diccionario de Ciencias de la Tierra*, Edición ilustrada, Editorial Complutense. Madrid. 879 pp.
- Dvorak, W. S., J. E. Stanger and M. Mapula. 2000. *Pinus herrerae* In: Conservation and testing of Tropical & Subtropical Forest Tree Species by the CAMCORE Cooperative, College of Natural Resources, NCSU. Raleigh, NC. USA. 75-84 pp.
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. McC., Peterson, A. T., Phillips, S. J., Richardson, K. S., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R. E., Soberon, J., Williams, S., Wisz, M. S. and Zimmermann, N. E. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. / *Ecography* 29: 129/151.
- Escalante, T., Llorente, J., Espinosa, D. y Soberon, J. 2000. Bases de datos y sistemas de información: Aplicaciones en Biogeografía. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 24 (92): 325-341. ISSN0370-3908.
- Escalante, T., Espinosa, N. D. y Llorente, B. J. 2003. Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía: Métodos para la identificación, descubrimiento y comparación de patrones biogeográficos: Ejemplos en México. *Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F.*, 303-307 pp.
- Escobar, I. J. F., Rosas, E. V. C., Santiago, P. A. L. y Villavicencio, G. R. 2010. Distribución altitudinal de la avifauna en la Sierra de Quila, Jalisco, México. . En: *Memoria de Resúmenes del XII Simposio de Zoología*, Universidad de Guadalajara-Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Zapopan, Jalisco del 18 al 22 de octubre de 2010. 43 pp.
- Escobar, I. J. F. 2011. Distribución altitudinal de la avifauna del Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de Quila, Jalisco, México. Tesis de Licenciatura, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias-Universidad de Guadalajara Jalisco, México.
- Farjon, A., and B.T. Styles. 1997. *Pinus* (Pinaceae). *Flora Neotropica Monograph* 75. New York, NY: The New York Botanical Garden.
- Farjon, A., J. A. Pérez, D. L. R. y B. Stails. 1997. Guía de campo de los pinos de México y América Central. *The Royal Botanic Gardens, Kew*. 44-45 pp.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adoptarlo a las condiciones de la República Mexicana). UNAM. México.
- García, M. M. R. 2008. Modelos predictivos de riqueza de diversidad vegetal. Comparación y optimización de métodos de modelado ecológico. *Memoria de Tesis Doctoral*. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Biológicas. Departamento de Biología Vegetal I. Madrid. 188 pp.

- Godínez, H. J. A. 2010. Consulta personal. Departamento de Producción Forestal, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara.
- González, M. S. C. y F. Bravo. 1999. Regeneración natural, establecimiento y primer desarrollo del pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.). Invest. Agr.: Recur. For.: Fuera de Serie (1):225-247.
- Guerrero, N. J. J. y G. A. López C. 1997. La Vegetación y Flora de la Sierra de Quila Jalisco, México. FOMES. U de G. México. 19-20 pp.
- Herrera, R. C., Vargas, H. J. J. y López, U. J. 2005. Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. Acta Botánica Mexicana 72: 1-16.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.
- Huerta, M. F. M. y Guerrero, V. S. 2004. Ecología de comunidades. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Editorial Pandora, S. A. de C.V. 60-78 pp.
- Hurtado, A. C. A. 2007. Uso de modelos de predicción como herramienta para estimar el área de distribución potencial de la especie *Aniba perutilis* Hemsley (Comino Crespo) en el Departamento del Valle del Cauca. Tesis de Pregrado. Fundación Universitaria de Popayán, Facultad de Ciencias Naturales, Programa de Ecología Popayán, Colombia.
- INEGI, 1999a. Cartas topográficas de F13D73 Atengo, F13D74 Cocula, F13D83 Tecolotlán. Escala 1:50000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México.
- IUCN, 2010. In: IUCN Red List of Threatened Species. *Pinus herrerae*. Conifer Specialist Group 1998. Versión 2010.2. Tomado de: <http://www.iucnredlist.org>. Consultado el 5 de Julio de 2010.
- Jiménez, P. J., Aguirre, C. O. y Kramer, H. 2001. Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el norte de México. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol. 10 (2):355-366.
- Krebs, C. 1978. Ecology. Harper. New York, USA. 678 pp.
- Kumar, S. and Stohlgren, T. J. 2009. Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. Journal of Ecology and Natural Environment Vol. 1 (4). 94-98 pp.
- LEGEEPA, 2008. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Última Reforma Publicada DOF 16-05-2008.
- Liras, E. 2008. Funcionamiento, interfaz y formato de los datos en MaxEnt. Réplica del VI taller de modelización de nichos ecológicos 27-30 mayo de 2008 Tomado de: http://www.gbif.es/ficheros/Taller_Nichos_08/13_Funcionamiento_MAXENT.pdf Consultado el 10 de abril de 2011.
- Margules, C. y Sarkar, S. 2009. Planeación sistemática de la conservación. (Trad. V. Sánchez-Cordero y F. Figueroa). Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D. F. (Original en Inglés, 2007). 304 pp.
- Martínez, M. 1948. Los Pinos Mexicanos. Ediciones Bota, México. 1-45 pp.
- Martínez, M. 1992. Los Pinos Mexicanos. 3er ed. Ediciones Bota, México, D. F. pp. 38-78.
- Maza, E. J., Cadena, G. R. y Pigueron, W. C. 2003. Estado actual de las Áreas Naturales Protegidas de América Latina y el Caribe (Versión preliminar) Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Quercus Consultoría Ecológica S. C.


- McCune, B. y M. J. Mefford. 1999. PC-ORD for Windows. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 4.10 MjM Software. Gleneden Beach, Oregon, USA. 234 pp.
- Miranda, F. y Hernández E. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. UNAM. México, D.F.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA, Vol.1. Zaragoza, 84 pp.
- Morejón, V. F. J. 2009. Predicción de la distribución geográfica potencial de la especie invasora Rana Toro Americana (*Lithobates catesbeianus*) en Ecuador. Tesis de Licenciatura. Universidad Técnica Particular de Loja, Escuela de Ciencias Biológicas y Ambientales, Loja, Ecuador. 29 pp.
- Nature Serve, 2006. Modelamiento de distribuciones geográficas de especies endémicas, Proyecto Andes-Amazonia, Boletín #2 febrero de 2006. Tomado de: http://www.natureserve.org/aboutUs/latinamerica/andes_amazon_endemic_es.jsp. Consultado: el 21 de febrero de 2011.
- Navarro, G. A., Townsend, P. A., Yoshinori, J. N. U. Liebig, F. I. 2003. Una perspectiva latinoamericana de La biogeografía: Colecciones biológicas, modelaje de nichos ecológicos y los estudios de la biodiversidad. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F., 115-122 pp.
- Ortega, C. C. A. 2007. Estudio temporal de la fragmentación forestal del Área de Protección de Flora y Fauna "Sierra de Quila" en el Estado de Jalisco, mediante sistemas de información geográfica. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Zapopan, Jalisco. 29-36 pp.
- Ortega, H. M. A. y Townswnd, P. A. 2008. Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: A test of six presence-only methods. Revista Mexicana de Biodiversidad (en línea) 2008, 79: fecha de consulta: 18 de enero de 2012: disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=42579117#>.
- Ortiz, V. B. y Ortiz, S. C. A. 1990. Edafología. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, México D. F. 88 pp.
- Padilla, G. I. 1981. Glosario práctico de términos forestales. Instituto de Investigaciones Forestales, Catálogo No. 6, México D.F. 100 pp.
- Pando, B. B. y Peñas, G. J. 2007a. Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la península Ibérica. GeoFocus, N° 7, 100-119 pp.
- Pando, B. B. y Peñas, G. J. 2007b. Modelos predictivos aplicados a la conservación de flora amenazada: invernaderos vs *Linaria nigricans* en el sureste árido ibérico. Departamento de Botánica, Universidad de Granada, España. 33-47pp.
- Palacio, P. J. L. 1992. Introducción a los Sistemas de Información Geográfica. Consultora Geográfica y Asociados, S. C. Instituto de Geografía, UNAM. 1-42 pp.
- Pérez, D. L. R. J. A. 2011. Consulta personal. Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara (IBUG), Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara.
- Pretzsch, H. 1996. Zum Einfluss waldbaulicher Maßnahmen auf die räumliche Bestandesstruktur. Simulationsstudie über Fichten-Buchen-Mischbestände in Bayern. Biodiversität und nachhaltige Forstwirtschaft. Forum Genetik-Wald-Forstwirtschaft. Ecomed Verlag AG & Co. KG. 177-199 pp.
- Phillips, S. J., Dudík, M., y Schapire, R. E. S/F. Una breve guía didáctica sobre MaxEnt. AT&T, la Universidad de Princeton y el Centro para la Biodiversidad y Conservación del Museo Americano de Historia Natural. Tomado de: <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/tutorial/tutorial-in-spanish.doc>. Consultado el 20 de mayo de 2010.

- Phillips, S. J., Anderson, R. P., and Schapire, R. E. 2006. A maximum entropy modeling of species geographics distributions. *Ecological Modelling*, 190. 231-259 pp.
- Phillips, S. J. and Dudík, M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31:161-175.
- RAE, 2011. Diccionario de la Real Academia Española. Tomado de: http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=cultura. Consultado el 15 de mayo de 2011.
- Ramírez, M. M. M., Iñiguez, D. L. I. e Ibarra, L. M. P. 2010. Aproximación al inventario de biodiversidad para mamíferos medianos en el Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de Quila. Reporte Técnico Final. Departamento de Ecología y Recursos Naturales (DERN-IMECBIO), Laboratorio de Zoología, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. 11 pp.
- Reguerin, J. M., Loza, I. y Fuentes, A. F. S/F. Distribución geográfica y nicho ecológico de dos especies del genero *Schefflera* (Araliaceae), endémicas de Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia, Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés y Missouri Botanical Garden, La Paz Bolivia.
- Ricker, M. y Hernández H. M. 2010. Tree and tree-like species of Mexico: gymnosperms, monocotyledons, and tree ferns. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 27- 38.
- Rondeux, J. 1999. Inventarios forestales y biodiversidad. *Unasylyva* No. 196. Vol. 50. FAO, Roma.
- Rodríguez, G. y Escalante, T. 2008. Áreas de distribución II: Identificación mediante procedimiento manual, la prensa de ciencias, México, D. F. 59-64 pp.
- Rodríguez, C. J. M., Escobar, I. A., Rosas, E. V. C., Santiago, P. A. L., Domínguez, L. M. y Villavicencio, G. R. 2010. Distribución de la herpetofauna en un gradiente altitudinal en la Sierra de Quila, Jalisco, México. En: Memoria de Resúmenes del XII Simposio de Zoología, Universidad de Guadalajara-Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Zapopan, Jalisco del 18 al 22 de octubre de 2010. 43 pp.
- Rodríguez, P. y Vázquez, D. E. 2003. Una perspectiva latinoamericana de La biogeografía: Escalas y diversidad de especies. Facultad de Ciencias UNAM, México, D. F., 109-114 pp.
- Rosas, A. J. C. 2008. Ecogeografía del género *Pinus* (Linnaeus, 1753) en la subcuenca Tecuantepec-Apulco-Mexico. Tesis de Maestría: Instituto Politécnico Nacional; Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. 104 pp.
- Rueda, S. A., J.A. Ruiz, C., J. G. Flores, G. y E. Talavera. 2006. Potencial productivo para once especies de pino en Jalisco. INIFAP. México. 31-36 pp.
- Ruiz, C. J. A., González, A. I. J., Contreras, A. J., Vizcaino, V. I., Ibarra, C. D., Alcalá, G. J., Espinoza, V. S. y Flores, L. H. E. 2003. Estadísticas climatológicas básicas para el estado de Jalisco. INIFAP-CIRPAC. Campo experimental centro de Jalisco. Libro técnico Núm. 1 Jalisco, México. 45-235 pp.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa. México. 283-313 pp.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 295-327 pp.
- Sánchez, G. A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. Madera y Bosques. Instituto de Ecología A.C. Primavera, Xalapa, México. 14 (1):107-120 pp.
- Sánchez, V. L. R., Galindo, G. J. y Díaz, F. F. 2008. Ecología, manejo y conservación de los ecosistemas de montaña de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Veracruzana, Mundi Prensa México, S. A. de C. V. 211-224 pp.
- Taylor, A. H. and Halpern, C. B. 1991. The structure and dynamics of *Abies magnifica* forest in the southern Cascade Range, USA. *J Veg Sci* 2:189-200.


- Vela, G. L. 1980. Contribución a la ecología de *Pinus patula* Schlecht et Cham. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. INIF. México. pp. 109.
- Villavicencio, G. R. 1992. Implantación de sitios permanentes de investigación, medio indispensable para la ordenación ecológica forestal del Bosque-Escuela. Tesis de Licenciatura, Facultad de Agronomía, Universidad de Guadalajara, México. 84 pp.
- Villavicencio, G. R., Gallegos, R. A., y Hernández, A. E. 1992. Los sitios permanentes de investigación en el campo experimental Bosque-Escuela. Amatl, Boletín de difusión del Instituto de Madera, Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara, México. 6 (1): 20-24 pp.
- Villavicencio, G. R., Dees, M. y Gallegos, R. A. 2002. Descripción de estructuras forestales en la zona de protección de flora y fauna Sierra de Quila. En: Memorias del V Congreso Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Guadalajara, Jalisco, México del 17 al 20 de octubre de 2010.
- Villavicencio, G. R. 2004. Kartierung von Vegetationsstrukturen und deren Veränderung in Naturschutzgebieten mit Hilfe von Fernerkundung und terrestrische Inventurverfahren. Dargestellt am Beispiel des Schutzgebietes für Flora und Fauna Sierra de Quila im Bundesstaat Jalisco im Westen Mexikos. Cuvillier Verlag, Göttingen. 161 pp.
- Villavicencio, G. R., P. Bauche, P., A. Gallegos, R., A. L. Santiago, P. y F. M. Huerta, M. 2005. Caracterización estructural y diversidad de comunidades arbóreas de la Sierra de Quila. Ibugana 13 (1): 67-76.
- Villavicencio, G. R., Espinosa, A. J., Hernández, A. E., Gallegos, R. A. y Santiago, P. A. L. 2009. Medición Forestal. Universidad de Guadalajara. 1-68 pp.
- Whittaker, R. H. 1960. Vegetation in the Siskiyou mountains, Oregon and California. Ecol. Monogr., 30:279-338.
- Yáñez, O. O. y Luna, V. I. 2008. Identificación de patrones generales de distribución II, La Prensa de Ciencias, México, D.F. 50 pp.

11 ANEXOS


Anexo 1. Formato de registro de campo.



FORMATO DE REGISTRO Círculos concéntricos de monitoreo ANP-Sierra de Quila
 Proyecto: Diversidad estructural y Distribución espacial de *Pinus herrerae* Martínez (2010)



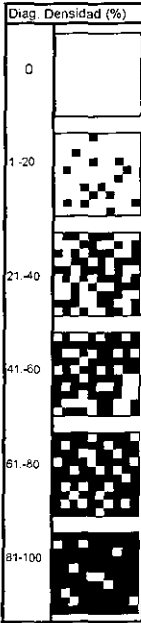
Fecha	Lugar	Sitio No.	Radio (m)	Exposición	Densidad Arb. y veg. herbácea	%
-------	-------	-----------	-----------	------------	-------------------------------	---

GPS (UTM)	Dirección de pendiente y porcentaje	Relieve	Geoformas	Dolina	Tipo suelo (FAO)	Densidad de copa
X	1=Norte	plano	Partaguas	Ladera inferior		
Y		% ondulado	Meseta	Ladera media	Erosión %	
Z		profundo	Cañada	Ladera superior	Tipo Forma	%

Datos ecológicos	
Rocas	(0) ausencia (1) muy poca (2) moderada (una c/20m) (3) abundante (una c/10m) (4) muy abundante (una c/1-3m)
Piedras:	(0) ausencia (1) muy pocas (2) moderada (una c/20m) (3) abundante (una c/2m) (4) muy abundante (una c/0.50m)
Incendio:	(0) ausencia (1) ligero, no afecta regeneración (2) moderado, marco amba da 50cm y < 1m (3) fuerte, > 1m, mueren árboles jóvenes (4) severo, se consume leña gruesa
Pastoreo:	(0) ausencia (1) ligero (2) moderado, una c/50m (3) fuerte, una c/-50m (4) intensivo, se observa gran cantidad de caminos y suelos sin cubierta vegetal

Arbolado Adulto 500 m ²										
No.	Especie	Azmut	Dist.	DAP	Altura	Vitalidad	Daño	Piso-h	P.Soc.	E.D
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										
33										

Diag. Densidad (%)



Indicaciones:	
Vitalidad:	(1) muerto (2) turgente (3) normal (4) depl
Daño:	(0) sin daño (1) descortezado (2) cnchado (3) insecto (4) parasitas (5) quemado (6) viento (7) otros
Piso-h:	(1) piso alto [2/3] (2) piso medio [1/3-2/3] (3) piso bajo [1/3]
P.Soc.:	(1) dominante (2) codominante (3) dominado (4) suprimido
Etapas de desarrollo:	(1) regeneración (2) brinjal (3) monte bravo (4) vardascal (5) latizal (6) fustal
Erosión: Tipo:	Hídrica Forma: Laminar - Canales Tipo: Eólica Forma: Laminar - Tolvanera - Dunas - Deposición
Densidad de copa, Arb. y veg. Herbácea:	Checar diagrama de densidad

Arbolado Adulto 500 m ²										
No.	Especie	Azmut	Dist.	DAP	Altura	Vitalidad	Daño	Piso-h	P.Soc.	E.D.
34										
35										
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
46										
47										
48										
49										
50										
51										
52										
53										
54										
55										
56										
57										
58										
59										
60										

Regeneración Natural 100 m ²										
Piso	Esp.	Num.	Esp.	Num.	Esp.	Num.	Esp.	Num.	Esp.	Num.
1										
2										
3										
Piso	Esp.	Num.	Esp.	Num.	Esp.	Num.	Esp.	Num.	Esp.	Num.
1										
2										
3										
Piso	Esp.	Num.	Esp.	Num.	Esp.	Num.	Esp.	Num.	Esp.	Num.
1										
2										
3										

Piso 1: Árboles de 1 a 50 cm de altura
 Piso 2: Árboles de 50 a 100 cm de altura
 Piso 3: Árboles mayores a 1m de altura y menores a 7cm de DAP

Croquis de sitio	Observaciones (marcar o describir)									
	Presencia de tocones Aprovechamiento de leña, tierra de monte Area reforestada, otros									
Tabla de compensación de radio por pendiente (%) para círculos de 500 m²										
Pen./	5/12,63	10/12,65	15/12,69	20/12,74	25/12,81	30/12,87	35/12,99	40/13,09	45/13,21	50/13,34
Radio	55/13,48	60/13,62	65/13,78	70/13,94	75/14,16					
Tabla de compensación de radio por pendiente (%) para círculos de 100 m²										
Pen./	5/5,63	10/5,66	15/5,71	20/5,79	25/5,90	30/6,03	35/6,20	40/6,42	45/6,68	50/7,00
Radio	55/7,42	60/7,94	65/8,64	70/9,60	75/11,04					

Anexo 2. Glosario de términos.

Altura: Definida en lo general por las dos siguientes expresiones:

- Elevación de cualquier objeto sobre la superficie de la tierra
- Dimensión de un objeto desde la base hasta el vértice.

Área de radiación solar: Es un proceso en el que la energía del sol es propagada a través del espacio libre (Chuvieco, 2002).

Evaporación: Es la transformación de un líquido en vapor o gas (RAE, 2011).

Evapotranspiración: Se conoce como la evapotranspiración la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante la transpiración (consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de las plantas y su posterior remoción hacia la atmosfera) (Allen et al. 2006).

Exposición: Es la orientación que presentan los accidentes topográficos en el bosque (Padilla, 1981).

Geología: Es la ciencia que estudia la constitución y origen de la tierra y de los materiales que la componen (RAE, 2011).

Humedad relativa: Contenido en vapor de agua del aire a una determinada temperatura, expresada como un porcentaje de la cantidad de vapor de agua que se requiere para la saturación a esta temperatura (Diccionario Oxford-Complutense, 2000).

Índice normalizado de vegetación: Consiste en el comportamiento radiométrico de la vegetación; cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés, su reflectividad será inferior, aumentando paralelamente en el rojo, bajos contrastes indican una vegetación enferma o con poca densidad, hasta llegar a los suelos descubiertos o el agua. En definitiva, podemos señalar que cuanto mayor sea la diferencia entre las reflectividades de las bandas IRC y R, mayor vigor vegetal presentara la cubierta observada (Chuvieco, 2002).

Pendiente: Cuesta o declive de un terreno (RAE, 2011).

Precipitación: Es el agua procedente de la atmosfera y que en forma solida o líquida se deposita sobre la superficie de la tierra (RAE, 2011).

Rugosidad: Es el pliegue de una superficie (RAE, 2011).

Suelo: Parte de la tierra no sumergida en el agua, compuesto por partículas sueltas no consolidadas de diferentes tamaños y de un espesor que varía de unos centímetros a muchos metros (Padilla, 1981).

Textura: Se refiere al tamaño de las partículas del suelo (Ortiz y Ortiz, 1990).

Temperatura mínima: Es la temperatura más baja registrada desde que se estableció la estación de observación (Padilla, 1981).

Temperatura media anual: Es el promedio de las temperaturas anuales en periodo largo (20 años) (Padilla, 1981).

Temperatura máxima: Es la temperatura más alta registrada desde que se estableció la estación de observación (Padilla, 1981).

Vegetación: Es uno de los elementos más visibles del paisaje y el principal factor para clasificar a los ecosistemas terrestres (Guerrero y López, 1997).

Anexo 3. Variables utilizadas para el análisis multivariable para los Rodales oeste y noroeste.

	Variables obtenidas del inventario forestal		Variables obtenidas del SIG	
1	X	Longitud	Alt	Altitud
2	Y	Latitud	ARS	Área de radiación solar
3	Alt	Altitud	Eva	Evaporación
4	Exp	Exposición	Evaptrs	Evapotranspiración
5	Pend	Pendiente	Exp	Exposición
6	%_arb_her	% de arbustos y vegetación herbácea	Geo	Geología
7	suelo	Suelo	HR_anual	Humedad relativa
8	Rel	Relieve	NDVI	Índice normalizado de vegetación
9	Geof	Geoformas	Pen	Pendiente
10	Ero	Erosión	Pp	Precipitación
11	Tipo_ero	Tipo de erosión	Rugo	Rugosidad
12	Forma_ero	Forma de erosión	Suelo	Suelo
13	% copa	% Copa	T°_Max	Temperatura máxima
14	Rocas	Rocas	T°_Med	Temperatura media
15	Piedras	Piedras	T°_Min	Temperatura mínima
16	Fuego	Fuego	Tex	Textura
17	Pastoreo	Pastoreo	Veg	Vegetación
18	N_arbol	Número de árboles		
19	Diam	Diámetro promedio		
20	H	Altura promedio		
21	A_bas	Área basal		
22	N_pino	Número de pinos		
23	N_encino	Número de encinos		
24	N_hojosas	Número de hojosas		
25	Shannon	Índice de Shannon		

Anexo 4. Índice de valor de importancia de las especies para el rodal oeste.

Especies	Abundancia (%)	Dominancia (%)	Frecuencia (%)	IVI
<i>C. rosei</i>	0.10946907	0.04287989	1.27388535	1.42623432
<i>A. acuminata</i>	0.10946907	0.09597386	0.63694268	0.84238561
<i>M. ssp.</i>	0.38314176	0.42031397	0.63694268	1.44039841
<i>C. hartwegii</i>	1.86097427	0.77057616	4.45859873	7.09014917
<i>P. serotina</i>	0.05473454	0.01007864	0.63694268	0.70175585
<i>S. bomplandiana</i>	0.82101806	0.46559069	0.63694268	1.92355143
<i>B. glauca</i>	0.21893815	0.22501196	1.91082803	2.35477813
<i>A. xalapensis</i>	0.21893815	0.22501196	1.91082803	2.35477813
<i>P. oocarpa</i>	2.02517789	6.80901803	6.36942675	15.2036227
<i>P. douglasiana</i>	36.3984674	47.9846916	23.566879	107.950038
<i>P. lumholtzii</i>	0.65681445	0.53286247	1.91082803	3.10050495
<i>P. montezumae</i>	1.80623974	1.9691444	0.63694268	4.41232681
<i>P. herrerae</i>	6.51340996	9.65489278	8.28025478	24.4485575
<i>P. luzmariae</i>	0.16420361	0.21127666	1.27388535	1.64936562
<i>Q. castanea</i>	0.21893815	1.04302123	1.27388535	2.53584473
<i>Q. obtusata</i>	2.35358511	2.89448175	3.82165605	9.06972292
<i>Q. crassifolia</i>	0.21893815	0.60460665	0.63694268	1.46048747
<i>Q. resinosa</i>	34.0996169	17.9754026	20.3821656	72.457185
<i>Q. coccolobifolia</i>	8.59332239	4.81549277	13.3757962	26.7846113
<i>Q. magnoliifolia</i>	1.53256705	1.85204477	1.91082803	5.29543984
<i>Q. candicans</i>	0.60207991	0.93483175	1.27388535	2.81079701
<i>Q. elliptica</i>	0.82101806	0.30101751	2.5477707	3.66980627
<i>Q. scytophylla</i>	0.21893815	0.47267251	0.63694268	1.32855334
Total	100	100	100	300

Anexo 5. Índice de valor de importancia de las especies para el rodal noroeste.

Especies	Abundancia (%)	Dominancia (%)	Frecuencia (%)	IVI
<i>C. hartwegii</i>	0.43383948	0.08796028	4.08163265	4.60343241
<i>P. oocarpa</i>	1.95227766	6.67175648	6.12244898	14.7464831
<i>P. douglasiana</i>	18.8720174	37.7241304	22.4489796	79.0451273
<i>P. herrerae</i>	15.4013015	35.5360776	20.4081633	71.3455424
<i>Q. resinosa</i>	44.4685466	14.5226203	22.4489796	81.4401465
<i>Q. coccolobifolia</i>	18.4381779	5.27161989	22.4489796	46.1587774
<i>Q. crassifolia</i>	0.43383948	0.18583506	2.04081633	2.66049087
Total	100	100	100	300