

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

MODELADO DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE ESPECIES FORESTALES DE INTERÉS PARA LA RESTAURACIÓN, CONSERVACIÓN Y USO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN EL INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO, GUATEMALA, C.A.

PABLO ERNESTO DE LA ROCA GONZÁLEZ

GUATEMALA, MAYO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE ESPECIES FORESTALES DE INTERÉS PARA LA RESTAURACIÓN, CONSERVACIÓN Y EL USO SOSTENIDO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN EL INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO, GUATEMALA, C.A.

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

PABLO ERNESTO DE LA ROCA GONZÁLEZ

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

**INGENIERO AGRÓNOMO EN
RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO**

GUATEMALA, MAYO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR EN FUNCIONES

Lic. M.A. Pablo Ernesto Oliva Soto

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL PRIMERO	Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
VOCAL SEGUNDO	Dra. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Jorge Mario Cabrera Madrid
VOCAL CUARTO	P. Agr. Marlon Estuardo González Álvarez
VOCAL QUINTO	Br. Sergio Wladimir González Paz
SECRETARIO	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria

Guatemala, mayo de 2021

Guatemala, mayo de 2021

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de Graduación titulado: “Modelado de la distribución potencial de especies forestales de interés para la restauración, conservación y el uso sostenible de los recursos naturales de la vertiente del Pacífico. Diagnóstico y servicios en el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, Guatemala, C.A.”, como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Pablo Ernesto de la Roca González

ACTO QUE DEDICO

A

- MIS PADRES** Igor y Marleny, por ser mis ejemplos a seguir, apoyarme incondicionalmente y ayudarme a identificar mi potencial.
- MIS HERMANOS** Azucena, Alejandro y Rodrigo, por acompañarme durante las buenas y malas experiencias dentro y fuera de la vida universitaria.
- MIS ABUELAS** Por demostrarme lo importante que es la constancia y persistencia para alcanzar las metas personales.
- MI FAMILIA** Por manifestar siempre su apoyo y compartir conmigo experiencias valiosas que han fortalecido mis ambiciones personales y este logro.
- MIS AMIGOS** Que, aunque pocos, han crecido conmigo y estoy seguro me seguirán acompañando en el futuro.

AGRADECIMIENTOS

A

Facultad de Agronomía

Por abrirme sus puertas y permitirme absorber conocimientos que me acompañarán por el resto de mi vida profesional.

Mis asesores

Ing. Agr. David Mendieta e Ing. Agr. Juan José Castillo por tomarse el tiempo y esfuerzo para apoyarme durante el proceso de EPS y ayudarme a moldear y diseñar la investigación aquí contenida.

Mi supervisor

Ph.D. Marco Vinicio Fernández por extenderme su apoyo para desarrollar exitosamente mi EPS y por ayudarme con esta primera experiencia profesional.

AI ICC

Por aceptarme y permitirme desarrollar mi experiencia del ejercicio profesional con el apoyo del programa de Sostenibilidad de Sistemas Productivos, rodeado de valiosos profesionales que siempre me extendieron su apoyo, paciencia y amistad.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
RESUMEN	1
CAPÍTULO I. DIAGNÓSTICO DEL PROGRAMA DE SOSTENIBILIDAD DE SISTEMAS PRODUCTIVOS –SSP–, INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO –ICC–, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.	3
1.1. PRESENTACIÓN	5
1.2. MARCO REFERENCIAL	7
1.2.1. Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático -ICC-	7
1.2.2. Ubicación.....	9
1.2.3. Estructura administrativa	10
1.2.4. Programas.....	11
1.3. OBJETIVOS	13
1.3.1. Objetivo general	13
1.3.2. Objetivos específicos.....	13
1.4. METODOLOGÍA.....	14
1.4.1. Reconocimiento de la institución y del programa SSP	14
1.4.2. Fuentes de información	14
1.4.3. Análisis de información recabada	15
1.4.4. Identificación de la problemática del programa SSP	15
1.5. RESULTADOS	17
1.5.1. Relación de las líneas de trabajo con el programa SSP	17
1.5.2. Papel del programa SSP en el ICC	19
1.5.3. Análisis FODA para identificación de prioridades y necesidades.....	22
1.5.4. Estrategias de solución.....	24
1.6. CONCLUSIONES.....	25
1.7. BIBLIOGRAFÍA	26
CAPÍTULO II. MODELADO DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE ESPECIES FORESTALES DE INTERÉS PARA LA RESTAURACIÓN, CONSERVACIÓN Y USO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DE GUATEMALA, C.A.	27
2.1. PRESENTACIÓN	29
2.2. MARCO TEÓRICO	30
2.2.1. Marco conceptual	30
2.2.1.1. Nicho ecológico	30
2.2.1.2. Distribución de las especies	31
2.2.1.3. Modelos basados en el nicho	33
2.2.1.4. Dualidad de Hutchinson.....	33
2.2.1.5. Enfoques en modelación del nicho ecológico	35

CONTENIDO	PÁGINA
2.2.1.6. El diagrama BAM	36
2.2.1.7. SDM y ENM.....	38
2.2.1.8. Algoritmos para el modelado del nicho ecológico	39
2.2.1.9. Métodos de aprendizaje automático	39
2.2.1.10. ENM y la restauración ecológica	40
2.2.2. Marco referencial.....	41
2.2.2.1. Ubicación geográfica	41
2.2.2.2. Características geológicas.....	42
2.2.2.3. Características climáticas	43
2.2.2.4. Características ecológicas.....	43
2.3. OBJETIVOS.....	45
2.3.1. Objetivo general	45
2.3.2. Objetivos específicos.....	45
2.4. METODOLOGIA	46
2.4.1. Selección de especies.....	46
2.4.2. Obtención de base datos de presencia.....	47
2.4.3. Obtención de datos ambientales	49
2.4.4. Reducción del conjunto de datos ambientales	53
2.4.5. Modelado de nicho ecológico de especies	53
2.4.6. Validación del modelo	54
2.4.7. Análisis multivariado.....	55
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
2.5.1. Selección de especies.....	56
2.5.2. Resultado análisis de autocorrelación	60
2.5.3. Modelos de distribución potencial.....	62
2.5.3.1. <i>Aspidosperma megalocarpon</i> Müll.Arg.	62
2.5.3.2. <i>Andira inermis</i> (Wright) DC.....	66
2.5.3.3. <i>Brosimum costaricanum</i> Liebm.....	68
2.5.3.4. <i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	70
2.5.3.5. <i>Calophyllum brasiliense</i> var. <i>reko</i> (Standl.) Standl.	71
2.5.3.6. <i>Cedrela odorata</i> L.....	73
2.5.3.7. <i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	74
2.5.3.8. <i>Diphysa americana</i> (Mill.) M.Sousa	75
2.5.3.9. <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	76
2.5.3.10. <i>Ficus aurea</i> Nutt.	77
2.5.3.11. <i>Ficus costaricana</i> (Liebm.) Miq.	78
2.5.3.12. <i>Ficus insipida</i> Willd.	79
2.5.3.13. <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	80
2.5.3.14. <i>Handroanthus guayacan</i> (Seem.) S.O.Grose	81
2.5.3.15. <i>Hymenaea courbaril</i> L.	83
2.5.3.16. <i>Inga edulis</i> Mart.....	84
2.5.3.17. <i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.....	85

CONTENIDO	PÁGINA
2.5.3.18. <i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.....	86
2.5.3.19. <i>Nectandra membranacea</i> (Sw.) Griseb.....	87
2.5.3.20. <i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb.	88
2.5.3.21. <i>Platymiscium dimorphandrum</i> Donn.Sm.....	89
2.5.3.22. <i>Poeppigia procera</i> C.Presl.....	90
2.5.3.23. <i>Quararibea funebris</i> (La Llave) Vischer	91
2.5.3.24. <i>Salix humboldtiana</i> Willd.....	93
2.5.3.25. <i>Simira salvadorensis</i> (Standl.) Steyerm.....	94
2.5.3.26. <i>Spondias mombin</i> L.....	95
2.5.3.27. <i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) H.Karst.	96
2.5.3.28. <i>Swietenia humilis</i> Zucc.	97
2.5.3.29. <i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	98
2.5.3.30. <i>Terminalia oblonga</i> (Ruiz & Pav.) Steud.	100
2.6. CONCLUSIONES	101
2.7. RECOMENDACIONES	103
2.8. BIBLIOGRAFIA	104
2.9. ANEXOS.....	109
2.9.1. Mapa de heterogeneidad climática	109
CAPÍTULO III. SERVICIOS PRESTADOS AL PROGRAMA DE SOSTENIBILIDAD DE SISTEMAS PRODUCTIVOS -SSP- DEL INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.	111
3.1. PRESENTACIÓN	112
3.2. ÁREA DE INFLUENCIA	114
3.3. OBJETIVO GENERAL.....	114
3.4. SERVICIOS PRESTADOS	115
3.4.1. Análisis de la red de Parcelas Permanentes de Medición Forestal Manglar – PPMFM- de Guatemala	115
3.4.1.1. Objetivos	115
3.4.1.2. Metodología.....	116
3.4.1.3. Resultados	119
3.4.1.4. Conclusiones.....	130
3.4.1.5. Evaluación.....	132
3.4.1.6. Anexos	133
3.4.2. Apoyo técnico en el establecimiento del Jardín botánico “los Tarros”, Ingenio la Unión.....	135
3.4.2.1. Objetivos	135
3.4.2.2. Metodología	136
3.4.2.3. Resultados	139
3.4.2.4. Evaluación.....	144
3.5. BIBLIOGRAFÍA	145

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1. Ubicación instalaciones del ICC.	10
Figura 2. Organigrama.	10
Figura 3. Ejemplo hipotético del concepto de nicho de Hutchinson.	31
Figura 4. Dualidad de Hutchinson en 3 variables climáticas.	34
Figura 5. Diagrama de BAM.	36
Figura 6. Silvigenésis.	40
Figura 7. Área de interés. Vertiente del Pacífico de Guatemala.	42
Figura 8. Modelo de distribución potencial de <i>Aspidosperma megalocarpon</i>	62
Figura 9. Distribución potencial de <i>Aspidosperma megalocarpon</i>	64
Figura 10. Modelo de distribución potencial de <i>Aspidosperma megalocarpon</i> y las Zonas de Vida de Holdridge.	64
Figura 11. Modelo de distribución potencial de <i>Andira Inermis</i>	67
Figura 12. Modelo de distribución potencial de <i>Brosimum costaricanum</i> Liebm.	69
Figura 13. Modelo de distribución potencial de <i>Bursera simaruba</i>	70
Figura 14. Modelo de distribución potencial para <i>Calophyllum brasiliense</i>	72
Figura 15. Modelo de distribución potencial de <i>Cedrela odorata</i> L.	73
Figura 16. Modelo de distribución potencial de <i>Cordia Alliodora</i>	74
Figura 17. Modelo de distribución potencial de <i>Diphysa americana</i>	75
Figura 18. Modelo de distribución potencial de <i>Enterolobium cyclocarpum</i>	76
Figura 19. Modelo de distribución potencial de <i>Ficus aurea</i> Nutt.	77
Figura 20. Modelo de distribución potencial de <i>Ficus costaricana</i>	79
Figura 21. Modelo de distribución potencial de <i>Ficus insipida</i> Willd.	79
Figura 22. Modelo de distribución potencial de <i>Gliricidia sepium</i>	81
Figura 23. Modelo de distribución potencial para <i>Handroanthus guayacan</i> (Seem.).	82
Figura 24. Modelo de distribución potencial de <i>Hymenaea courbaril</i> L.	83
Figura 25. Modelo de distribución potencial de <i>Inga edulis</i> Mart.	84
Figura 26. Modelo de distribución potencial de <i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.	85
Figura 27. Modelo de distribución potencial de <i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	87
Figura 28. Modelo de distribución potencial de <i>Nectandra membranacea</i> (Sw.) Griseb.	88
Figura 29. Modelo de distribución potencial de <i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. Ex Lam.)	89
Figura 30. Modelo de distribución potencial de <i>Platymiscium dimorphandrum</i> Donn.Sm.	90
Figura 31. Modelo de distribución potencial de <i>Poeppigia procera</i> C.Presl	91
Figura 32. Modelo de distribución potencial de <i>Quararibea funebris</i> (La Llave) Vischer.	92
Figura 33. Modelo de distribución potencial de <i>Salix humboldtiana</i> Willd.	93
Figura 34. Modelo de distribución potencial de <i>Simira salvadorensis</i> (Standl.) Steyer.	94
Figura 35. Modelo de distribución potencial de <i>Spondias mombin</i> L.	95
Figura 36. Modelo de distribución potencial de <i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) H.Karst.	96

FIGURA	PÁGINA
Figura 37. Modelo de distribución potencial de <i>Swietenia humilis</i> Zucc.	98
Figura 38. Modelo de distribución potencial de <i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex	99
Figura 39. Modelo de distribución potencial de <i>Terminalia oblonga</i> (Ruiz & Pav.) Steud.	100
Figura 40A. Mapa de heterogeneidad climática para Mesoamérica.	109
Figura 41A. Mapa de heterogeneidad climática para Guatemala.	109
Figura 42. Red de PPMFM de Guatemala.	121
Figura 43. Comparación del crecimiento diamétrico de parcelas analizadas.....	124
Figura 44. Comparación en el crecimiento volumétrico de las parcelas analizadas.	124
Figura 45. Comparación del crecimiento diamétrico de las parcelas con mangle rojo.	125
Figura 46. Comparación del crecimiento volumétrico de las parcelas con mangle rojo. ..	125
Figura 47. Comparación del crecimiento en altura para las parcelas con mangle rojo. ...	126
Figura 48. Comparación del crecimiento diamétrico en parcelas con mangle negro.	127
Figura 49. Comparación del crecimiento volumétrico de parcelas con mangle negro.	128
Figura 50. Comparación en el crecimiento diamétrico en parcelas con mangle mixto.	128
Figura 51. Comparación del crecimiento volumétrico en parcelas con mangle mixto.	129
Figura 52A. Ejemplo formulario de campo.	133
Figura 53A. Medición y mantenimiento de PPMFM en Suchitepéquez.	134
Figura 54A. Medición y mantenimiento de parcela de mangle rojo, Sipacate-Naranjo. ...	134
Figura 55. Identificación de especímenes en el herbario -AGUAT-, FAUSAC.....	139
Figura 56. Identificación temporal de individuos en el jardín botánico.	140
Figura 57. Mapa de ubicación actualizable	142

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1. Actores cooperantes.....	9
Cuadro 2. Análisis del informe de labores 2017.....	17
Cuadro 3. Actividades actualmente realizadas por el programa SSP.....	19
Cuadro 4. Análisis FODA.....	22
Cuadro 5. Zonas de vida según Holdridge para la vertiente del Pacífico de Guatemala....	44
Cuadro 6. Clasificación de variables ambientales.....	49
Cuadro 7: Worldclim 2.0, variables bioclimáticas.....	51
Cuadro 8. variables edáficas.....	52
Cuadro 9. Listado de especies seleccionadas.....	56
Cuadro 10. Descripción de variables seleccionadas.....	60
Cuadro 11. Tasa de omisión y área predicha para <i>Aspidosperma megalocarpon</i>	63
Cuadro 12. Evaluación de la curva ROC para <i>Aspidosperma megalocarpon</i>	63
Cuadro 13. Prueba Jackknife para <i>Aspidosperma megalocarpon</i>	65
Cuadro 14: Red de PPMFM de Guatemala.....	119
Cuadro 15. Resumen de resultados por parcela.....	122
Cuadro 16. Metodología para la asesoría técnica al Jardín Botánico.....	136
Cuadro 17. Listado de especies identificadas.....	141
Cuadro 18. Ejemplo de base de datos de información técnica.....	143

RESUMEN

El diagnóstico se realizó sobre el Programa de Sostenibilidad de Sistemas Productivos - SSP- del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático -ICC-, con sede en Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla. Su principal papel es el apoyo científico ante las problemáticas que socios y actores de la región (comunidades, instituciones públicas, instituciones privadas, centros académicos, entre otros) manifiesten y el desarrollo de investigación que propicie soluciones basándose en sus líneas de trabajo. Actualmente se ha desarrollado investigación en torno a la conservación de suelos, huella hídrica y huella de carbono, diversidad de flora y fauna, entre otros. La intención de analizar la situación actual del programa SSP fue la de identificar las necesidades para priorizar y seleccionar los servicios a prestar y el tema de la investigación.

La investigación se desarrolla en torno a generación de modelos de distribución potencial de 30 especies forestales de interés para la restauración, conservación o gestión sostenible de los recursos naturales en la costa sur. Con registros de ocurrencia de especies disponibles en bases de datos institucionales y digitales, utilizando el algoritmo de máxima entropía (MAXENT) y datos ambientales de modelos mundiales como SoilGrids, WorldClim y SRTM, fue posible generar mapas que responden a distribuciones potenciales en formatos accesibles para cualquier interesado.

Además, el programa MAXENT a través de análisis multivariados complementarios como "Jackknife", extiende la posibilidad de identificar las variables ambientales que mayor influencia tienen sobre la distribución de las especies, lo cual permite profundizar en las interpretaciones de los modelos, acercándonos a las variables que realmente se constituyen como limitantes para la sobrevivencia de una especie en la región.

Los servicios prestados al programa SSP consistieron en el análisis de la base de datos del sistema nacional de parcelas permanentes de medición forestal manglar en conjunto con el Instituto Nacional de Bosques -INAB- y en el apoyo técnico forestal en el establecimiento del jardín botánico "Los Tarros" del Ingenio la Unión.



CAPÍTULO I

DIAGNÓSTICO DEL PROGRAMA DE SOSTENIBILIDAD DE SISTEMAS PRODUCTIVOS –SSP–, INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO –ICC–, SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.

1.1. PRESENTACIÓN

De acuerdo al documento técnico “La economía del cambio climático” publicado en 2018 por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales –MARN- y la sede subregional de la CEPAL en México; existen al menos tres índices que evalúan todos aquellos factores relacionados al riesgo existente ante los impactos del cambio climático en Guatemala. Por ejemplo, la organización no gubernamental Germanwatch en su índice de riesgo climático global “Global Climate Risk Index” (publicado anualmente), Guatemala ocupó la posición 11 de 183 países en el periodo de 1997-2016 donde las posiciones más bajas son los países más vulnerables. Según Germanwatch (2018) “el Índice de Riesgo Climático (CRI por sus siglas en inglés) indica el nivel de exposición y vulnerabilidad ante eventos extremos, el cual los países deben entender como alertas a manera de prepararse para un incremento en la frecuencia o en la gravedad de eventos en el futuro.”

Es por ello que en la gestión de los recursos naturales de un país como el nuestro bajo dichas condiciones es imperativa la investigación sobre las posibles soluciones entorno a los tres ejes de acción que son la reducción de la vulnerabilidad, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático. Existen varias instituciones en Guatemala que se posicionan con un papel en investigación en la materia, sin embargo, en la costa sur del país, se ubica con mayor presencia el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático –ICC-, como una iniciativa del gremio azucarero en respuesta a la necesidad de contribuir como un ente científico a la exploración de alternativas ante los efectos ya percibidos por el cambio climático.

A sus casi 10 años de haberse fundado y con un amplio historial de apoyo a diferentes gremios e instituciones, así como la asistencia académica a practicantes de diversos orígenes, locales y extranjeros, cuyas labores en conjunto con el equipo de especialistas, profesionales y técnicos han permitido desarrollar de manera exitosa diferentes proyectos, investigaciones y actividades distribuidos en sus complementarios programas.

El programa de Sostenibilidad de Sistemas Productivos –SSP- se incluye como uno de los dos programas encargados de la investigación en el instituto. Anteriormente llevaba el nombre de “Investigación de Ecosistemas”, en la actualidad sus principales proyectos se realizan en torno a la investigación de biodiversidad de fauna y flora, el mejoramiento de técnicas para la conservación de suelo, la adaptación de metodologías de medición de huella hídrica para productores agrícolas y la medición de huellas de carbono en procesos productivos (principalmente para caña, banano y palma africana), la elaboración de planes de mitigación que presentan alternativas de reducción de emisiones para los diferentes gremios. Además, en la actualidad se trabaja con mancomunidades, teniendo una primera experiencia con la Mancomunidad del Sur que incluye a algunos municipios del departamento de Escuintla.

La diversidad de actividades ejecutadas en la actualidad por el programa de Sostenibilidad de Sistemas Productivos son el resultado de los objetivos definidos en el Plan Estratégico 2011-2020 del ICC y la necesidad de los asociados, comunidades interesadas, actores públicos, entre otros actores.

1.2. MARCO REFERENCIAL

1.2.1. Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático -ICC-

El Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático –ICC- fue fundado en 2010 por los ingenios que componen la Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA) y, a partir de 2015, los miembros de la Asociación de Productores Independientes de Banano (APIB), así como el Ingenio Tululá también son miembros del instituto. Además de sus miembros, el ICC trabaja y/o colabora con otros actores tales como entidades gubernamentales (tanto a nivel nacional como municipal), sociedad civil (ONG, asociaciones comunitarias, y pueblos indígenas), universidades, entre otros actores.

Además, mediante el trabajo del ICC se ha contribuido a fortalecer a varias instituciones del estado, dotando de sostenibilidad a los procesos iniciados en conjunto. Su trabajo se ha centrado fundamentalmente en la vertiente del Pacífico guatemalteco, aunque ya se han desarrollado acciones para el resto del país y en otros países de Centroamérica.

El ICC se estructura por cinco programas con los cuales pretende cumplir los objetivos suscitados; se cuenta con dos programas encargados en la investigación (clima e hidrología y sostenibilidad de sistema productivos), otros dos se encuentran a cargo de promover acciones (manejo integrado de cuencas y gestión de riesgo de desastres) y un programa enfocado en el desarrollo de capacidades y la divulgación (desarrollo de capacidades y divulgación) ejecutando sus actividades principalmente con el empoderamiento de las comunidades y/o actores claves para el fortalecimiento en la gestión de los recursos. (Molina, A. 2017)

Visión

Ser una institución privada líder en investigación y desarrollo de proyectos para la mitigación y la adaptación al Cambio Climático en las comunidades y los sistemas productivos de la región mesoamericana.

Misión

Crear y promover acciones y procesos que faciliten la mitigación y la adaptación al cambio climático en la región con base en lineamientos técnico-científicos y económicamente viables.

Objetivos

1. Desarrollar investigación aplicada para generar conocimiento técnico-científico en temas
2. asociados a la mitigación y la adaptación al cambio climático.
3. Aportar a la disminución de la vulnerabilidad y a facilitar la adaptación al cambio y la variabilidad climática.
4. Contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y con la fijación de carbono.
5. Apoyar a sus miembros y a distintos actores clave en la gestión ambiental aplicada.

Socios

Algunos de los socios del ICC son los ingenios azucareros:

- Pantaleón
- Palo Gordo
- Magdalena
- Madre Tierra
- La Sonrisa
- El Pilar
- Santa Ana
- San Diego
- Santa Teresa
- La Unión
- Tululá

Además de la inclusión de los miembros de la Asociación de Productores Independientes de Banano –APIB-, y la cooperación con algunos actores locales y extranjeros enlistados por Molina A. en el 2017 (cuadro 1).

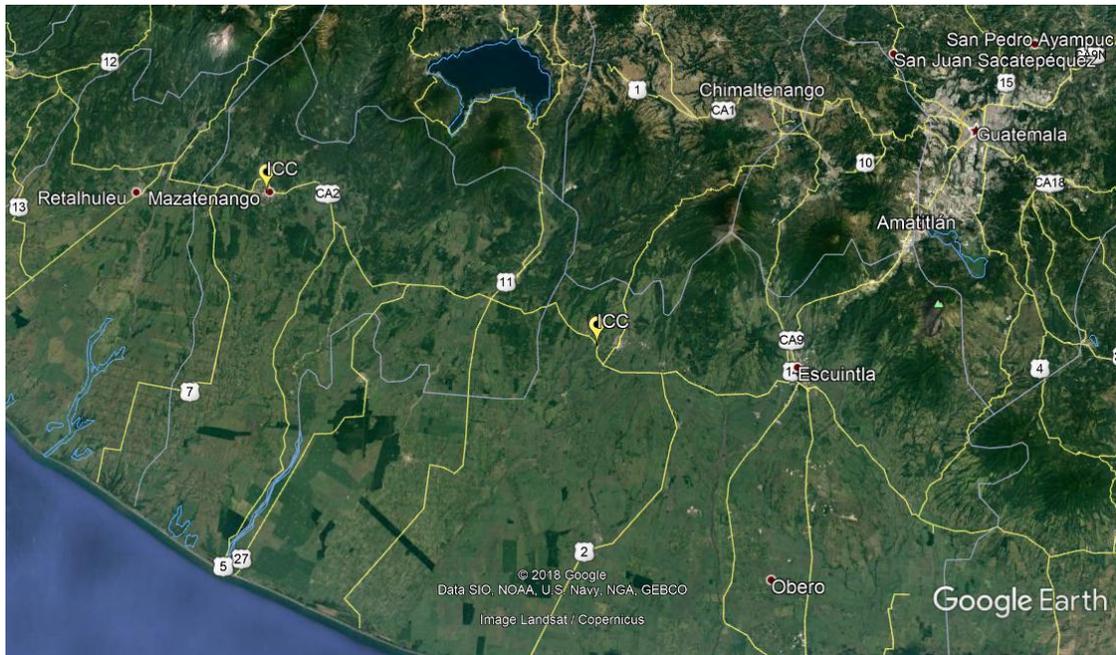
Cuadro 1. Actores cooperantes.

LOCALES	NACIONALES	INTERNACIONALES
MAMCOSUR, MASUR, municipalidades de Escuintla y Suchitepéquez, Acción contra el Hambre, Asoc. Río Ixtacapa, INAB región IX, Conred, Asoc. Xayá, Cunsuroc, Mineduc (varios departamentos), propietarios privados, Asobordas, comunidades, CEDIG, Muni Acatenango, Comunidad Indígena de Palín	MAGA, INSIVUMEH, MARN, MINEDUC, CONAP, INAB, U. del Valle, U. Landívar, FAUSAC, U. Galileo, Defensores de la Naturaleza, FAO, PNUD, BID, TNC, Asoc. Vivamos Mejor, Concyt, Asoc. Reservas Privadas, P. Mundial de Alimentos, SICTA, ICTA, REDFIA, Pilonos de Antigua, USAID, Moscamed, RainForest Alliance	U. Autónoma de Barcelona, U. de Arizona, U. de Oxford, U. EARTH, FAO, CATIE, U. de Puerto Rico, Hadley Centre (Inglaterra), USAID Washington, GCAP, U. Columbia (IRI), IRG-Engility, UNAM, U. de Tennessee

Fuente: Molina, A, 2017.

1.2.2. Ubicación

El ICC cuenta con oficinas en Santa Lucía Cotzumalguapa y Mazatenango. En Santa Lucía Cotzumalguapa se ubican en el edificio 2 de CENGICANÑA, Finca Camantulul en Km. 92.5 Carretera a Mazatenango. En Mazatenango se ubican en 2 da. Ave. 8-51, zona 1, Local 16, Int. CC Santa Clara, Mazatenango, Suchitepéquez (figura 1). Hasta el año 2018 se contaban con oficinas en Ciudad de Guatemala ubicándose en Europlaza, sin embargo, fueron cerradas por motivos de logística. Desde la Ciudad de Guatemala puede accederse a ambas dirigiéndose de la CA9-Sur hacia la CA2-Occidente, transitando por la circunvalación Siquinalá-Santa Lucía Cotzumalguapa.



Fuente: Google Earth, 2019.

Figura 1. Ubicación instalaciones del ICC.

1.2.3. Estructura administrativa



Fuente: Plan Estratégico, 2010-2020

Figura 2. Organigrama.

Su estructura es del tipo lineal (figura 2), se basa en el principio de la jerarquía. Desde el nivel de mayor autoridad encontramos la Asamblea General, la cual la conforma un representante de cada uno de los ingenios mencionados con anterioridad y un representante de ASAZGUA, los mismos para la Junta Directiva y el Comité Técnico. Mientras que Consejo Consultivo lo conforma un representante de cada una las instituciones a mencionar:

- Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad (CEAB), Universidad del Valle de Guatemala
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-Guatemala
- FAO Guatemala
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA), Universidad Rafael Landívar
- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático.

1.2.4. Programas

A continuación, se detallan los objetivos de cada programa:

Programa de Clima e Hidrología

- Generar información y análisis sobre el clima y los recursos hídricos que contribuyan al bienestar de la población y a la sostenibilidad de los sistemas productivos.
- Adaptar los sistemas productivos al cambio climático para que no se vean afectados por eventos extremos y los cambios que se puedan dar a futuro.

Programa de Sostenibilidad de Sistemas Productivos

- Generar y validar conocimiento que contribuya a mantener los servicios que los bosques y otros ecosistemas prestan a la sociedad.
- Mantener sostenimiento de medios de vida, la regulación del ciclo del agua, la fijación de carbono, la conservación de la diversidad biológica y la protección de suelos.

Programa de Manejo Integrado de Cuencas

- Recopilar y generar información básica de las cuencas y establecer la línea base.
- Fomentar y acompañar procesos de organización social para el manejo de cuencas.
- Incidir en el manejo y protección de bosques.
- Apoyar el manejo integrado del agua.
- Contribuir en la protección de suelos

Programa de Gestión de Riesgos

- Influir en la reducción del riesgo de desastres impulsando acciones con base en el análisis de factores naturales y sociales.
- Identificar las principales amenazas climáticas con el fin de hacer aportes para su comprensión y vigilancia a través del tiempo.
- Realizar análisis de vulnerabilidad de poblados, infraestructura y sistemas de producción, para identificar los puntos débiles y priorizar acciones para reducir el riesgo.

Programa de Desarrollo de Capacidades y Divulgación

- Divulgar información pertinente utilizando medios escritos y digitales.
- Ejecutar programas de educación y concientización a través de la organización de eventos.
- Brindar asesoría y acompañamiento a las instituciones y empresas miembros del instituto.
- Coordinar la capacitación y actualización constante del personal del ICC para poder desempeñar su labor de la manera más profesional posible.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Conocer y analizar al programa de Sostenibilidad de Sistemas Productivos –SSP- del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático –ICC- para la identificación y priorización de necesidades.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Describir las líneas de trabajo de interés relacionadas con el programa de Sostenibilidad de Sistemas Productivos –SSP-.
2. Identificar el papel del programa de Sostenibilidad de Sistemas Productivos –SSP- dentro del Instituto de Investigación Privado sobre Cambio Climático –ICC- y con los actores relacionados.
3. Identificar y priorizar la problemática del programa de Sostenibilidad de Sistemas Productivos –SSP-.

1.4. METODOLOGÍA

1.4.1. Reconocimiento de la institución y del programa SSP

- Ubicación del ICC (se generó el mapa base).
- Se identificaron y describieron los diferentes accesos (descripción de accesos, estado de vías, se generó el mapa de accesos).
- Se describió la constitución de la organización, antecedentes (se redactó un resumen de los precedentes que coadyuvaron a la constitución de la institución y del programa SSP).
- Situación administrativa (objetivos, antecedentes administrativos relevantes, organigrama general del ICC y del programa SSP).
- Personal y actores interactuantes (descripción de puestos y funciones, intereses, participaciones externas, convenios, asociaciones, etc.).
- Resumen de instalaciones y recursos disponibles.

Posterior al reconocimiento se realizó una revisión de información disponible en medios digitales y/o físicos que enriquecieron la base de datos condensada en el paso anterior y que permitieron analizar a mayor profundidad la situación del programa, se consideró de interés primordial lo enlistado a continuación:

1.4.2. Fuentes de información

- Se entrevistó al personal del programa.
- Se consultaron a bases de datos en línea.
- Se consultaron diagnósticos previos.
- Se analizó el Plan Estratégico del ICC.
- Se analizó Plan Operativo Anual –POA- del programa SSP (2019 y previos).

La base de datos colectada permitió iniciar el proceso de interpretación de la información donde se buscará identificar los siguientes elementos:

1.4.3. Análisis de información recabada

- Análisis del Plan Estratégico del ICC (actualizado).
- Ejes o líneas de trabajo.
- Objetivos.
- Proyección temporal de metas.
- Evaluaciones realizadas.
- Análisis de Planes Operativos Anuales del Programa SSP.
- Evaluaciones de POA's de años anteriores (conclusiones y recomendaciones de personal).
- Principales objetivos del programa.
- Problemáticas discutidas.
- Cambios en actividades propuestas.
- Comparación de percepciones en diagnósticos previos según autor.
- Descripción según entrevistas.

En esta primera fase se busca describir la situación actual del programa, iniciando desde lo general (objetivos, líneas de trabajo, proyección de metas), hasta lo específico (evaluaciones, actores influyentes, problemáticas principales y opiniones de los investigadores del programa)

A continuación, se presenta el proceso:

1.4.4. Identificación de la problemática del programa SSP

- Elaboración de un FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas).
- Selección de medios estratégicos de solución.

- Priorización de problemas.
- Propuesta de servicios que resuelven la problemática planteada
- Propuesta de investigación aplicada.

Finalmente se elaboró un análisis diagnóstico donde se describe la percepción propia sobre la situación actual del programa, comparando sus actividades planteadas en el POA actual y en POA de años anteriores, la percepción de una autoevaluación por personal del programa, problemática central, alcances, proyectos previstos, etc. Tal análisis, permitirá proyectar con mayor objetividad las necesidades primarias del programa definiendo así de manera estratégica los servicios a prestar en mediación con todos los actores interesados.

1.5. RESULTADOS

1.5.1. Relación de las líneas de trabajo con el programa SSP

A continuación, se detallan las principales actividades propuestas para el año 2017 dentro del programa SSP, en relación con las líneas de trabajo del instituto según el plan estratégico 2011-2020 y la evaluación de su ejecución:

Cuadro 2. Análisis del informe de labores 2017.

LÍNEA DE TRABAJO	POA 2017 ACTIVIDAD PROPUESTA	REPORTE ACTIVIDAD
Manejo y recuperación de ecosistemas para la reducción de la vulnerabilidad	Realizar la medición anual de las PPMF ecosistema manglar (finca Manglares y proyecto IPG)	Si
	Seguimiento a la publicación de la Metodología de PPMF en Ecosistema Manglar y conformación de la Red de Parcelas Permanentes del Ecosistema manglar de Guatemala.	NSR
	Elaborar el Estudio técnico, FIR, Iniciativa de Ley y plan maestro Sipacate Naranjo	Si
	Estudio de caudal ecológico (río Acomé y Área de Conservación Sipacate Naranjo)	NSR
Emisiones de GEI de la agroindustria azucarera y producción de banano	Inventario de emisiones de GEI de la producción de azúcar para la zafra 2016-2017	Si
	Inventario de emisiones GEI en generación de energía eléctrica que se vende a sistema nacional zafra 2016-2017	Si
	Inventario de GEI de la producción independiente de banano de la costa sur de Guatemala 2016.	NSR
	Inventario de GEI de la producción de Etanol Zafra 2016-2017.	NSR
	Proyecto LEDS: Apoyar el desarrollo de planes de mitigación de GEI con agroindustria azucarera	Si
	Proyecto LEDS: Apoyar el desarrollo de planes de mitigación de GEI con APIB.	Si

Continuación cuadro 2. Análisis del informe de labores 2017.

Mitigación de cambio climático a través de recursos forestales	Actualización de mapa de zonas forestales de la AIA	Si
	Participación en actividades, mesas, talleres, eventos u otros relacionados a la mitigación.	NSR
Adaptación al cambio climático en sistemas productivos	Estudio de relación entre productividad del banano año 2016 y algunas variables meteorológicas	NSR
Política Ambiental del Azúcar de Guatemala	Secretaría del comité de cosecha de la agroindustria, participación en reuniones mensuales	NSR
	Capacitaciones sobre los Sistemas de Quemas Controladas (SQC) y de Planificación de Quemas (SPQ).	Si
	Participación en las reuniones mensuales del comité de cogeneración de la agroindustria	NSR
	Estimación de huella hídrica del azúcar.	Si
	Actualización de tablas de probabilidad de dirección del viento con fines de manejo de quemas de caña de azúcar	Si
	Evaluación de la implementación y registros del SQC de la zafra 2016-2017	Si
	Elaboración de los instrumentos de la política ambiental del azúcar relacionados a la biodiversidad	Si
	Apoyo a la Gestión Ambiental de ASAZGUA	Si
Política Ambiental y de Cambio Climático de APIB	Actualización de tablas de información meteorológica para el manejo de aplicaciones aéreas en banano	Si
	Elaboración de instrumentos para operativizar la Política Ambiental de APIB (priorización de temas y aprobación de los mismos)	Si
Actividades complementarias o no contempladas en el POA	Implementación y seguimiento del “Sistema de Quemas Controladas –SQC–” para la quema de la caña de azúcar	Si
	Estudio del Carbono Azul en el Área de Conservación Sipacate-Naranja	Si

Fuente: Informe de labores ICC, 2017.

Para el año 2017 el programa de Sostenibilidad de Sistemas Productivos proyectó 23 actividades las cuales encajan en 6 de las 7 líneas de trabajo con las que se tiene relación según el Plan Estratégico 2011-2020, no existe alguna actividad que apoye la línea de trabajo de “Apoyo al manejo integrado de agua”. Además, se compararon las actividades reportadas en el Informe de Labores 2017, donde 17 de las 23 actividades se mencionan como actividades realizadas.

1.5.2. Papel del programa SSP en el ICC

El siguiente paso en el análisis consiste en la entrevista al personal del programa sobre su percepción del desempeño del programa, la afinidad con los objetivos del mismo y sus proyecciones para el futuro. Se realizó un resumen de las principales actividades, su relación con las líneas de trabajo y los comentarios o proyecciones realizadas (cuadro 3).

Cuadro 3. Actividades actualmente realizadas por el programa SSP.

COMPONENTE	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
Huella hídrica	Estimación de huella hídrica del cultivo de caña de azúcar zafra 2018-2019	Empresas interesadas en cuantificar la cantidad de agua consumida en los diferentes procesos para identificar posibles oportunidades y reducir el consumo de agua en los procesos.
	Ensayos de estimación de huella hídrica del banano, producción 2018	
Conservación de suelos	Seguimiento a ensayos de evaluación de prácticas o estructuras de conservación de suelos con socios de ICC	Ensayos de metodologías de conservación de suelo en zonas cañeras, actualización de mapas, capacitación en torno al uso de prácticas de conservación de suelo en ingenios y en partes altas de las cuencas.
	Artículo científico sobre erosión y conservación de suelos	
	Actualización de modelos de erosión hídrica (USLE) del año 2018	
	Promover el uso de prácticas y estructuras de conservación de suelos en la parte alta de las cuencas	

Continuación cuadro 3. Actividades actualmente realizadas por el programa SSP.

	Promover la adopción de prácticas de conservación de suelos por parte de miembros y socios del ICC	
	Capacitación a empresas en el uso de información generada de investigaciones sobre erosión y conservación de suelos	
Inventario y reducción de GEI	Inventario de emisiones de GEI de la producción de azúcar para la zafra 2018-2019	Se realizan inventarios de las emisiones de gases de efecto invernadero en actividades agrícolas (principalmente caña, banano y palma), para poder proyectar por medio de análisis, las propuestas de reducción y mitigación de emisiones a empresas y más recientemente a las mancomunidades del sur.
	Inventario de emisiones GEI en generación de energía eléctrica que se vende a sistema nacional zafra 2018-2019	
	Inventario de GEI de la producción independiente de banano de la costa sur de Guatemala del período 2018	
	Seguimiento al proceso de aval y adopción de planes de mitigación de GEI con agroindustria azucarera	
	Seguimiento y validación al plan de mitigación de GEI con APIB	
	Socialización Plan de reducción de emisiones de Mancomunidad Sureña - MASUR-	
	Capacitación a empresas bananeras en la recopilación y registro de información para cálculo de emisiones	

Continuación cuadro 3. Actividades actualmente realizadas por el programa SSP.

Ecosistema Manglar	Análisis de resultados de medición de PPMF ecosistema manglar	El ICC en conjunto con algunas otras instituciones establecieron 6 PPMFM, además se realizó la primera cuantificación de carbono azul en la zona manglar Sipacate-Naranjo.
	Artículo científico sobre carbono azul en Mangle	
	Capacitación sobre establecimiento, monitoreo y análisis de PPMF	
Biodiversidad	Apoyo en monitoreo biológico en cuencas de interés para ingenios azucareros	Se realiza un estudio exploratorio sobre la biodiversidad del estrato arbóreo en bosques, aves y coleópteros coprófagos (como indicadores).
	Socialización y aval de instrumento de la política ambiental del azúcar relacionados a la biodiversidad	

Fuente: entrevistas, 2019.

Las actividades realizadas en la actualidad por el programa de Sostenibilidad de Sistemas Productivos se clasifican en 5 componentes principales los cuales son abordados por 4 especialistas. Se llevó a cabo una serie de entrevistas a los investigadores del programa acerca de sus funciones, sus opiniones acerca de las actividades y así también las limitantes, con la finalidad de identificar aquellas actividades necesarias que no han podido desarrollarse según lo esperado por falta de tiempo, recursos, estrategias, etc.

Ya que el objetivo de este diagnóstico es identificar las potenciales actividades con las cuales el estudiante puede contribuir durante el ejercicio profesional al programa SSP, el siguiente paso es priorizar y seleccionar las opciones

1.5.3. Análisis FODA para identificación de prioridades y necesidades.

Se seleccionó la herramienta conocida como “FODA” (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas), la cual de manera sistemática desglosa las características del programa en dos grandes grupos: internos (fortalezas, debilidades) y externos (debilidades y amenazas). Dicha metodología de igual manera coadyuva a la generación de estrategias las cuales pueden solucionar problemas detectados en el desempeño de labores del programa (cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis FODA.

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Investigadores altamente capacitados. (muy importante) • Área de influencia grande del programa SSP en la región. (importancia media) • Buenas relaciones interinstitucionales. (muy importante) • Acceso a información científica. (muy importante) 	<ul style="list-style-type: none"> • Interés de asociados en estudios de huella hídrica (muy importante) • Se generó valiosa información sobre erosión en zona cañera (importancia media) • Cooperación de asociados para el cálculo de huella de carbono de sus procesos (muy importante) • Convenio para análisis de información del sistema de PPMFM con INAB (importancia crucial) • Interés sobre los estudios de biodiversidad en fincas (importancia crucial)

Continuación cuadro 4. Análisis FODA.

DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Falta de recursos para ejecutar proyectos propios (importancia media) • Escasa información sobre diversidad de flora y fauna en zonas agrícolas (importancia crucial) • La información de cobertura está desactualizada (importancia crucial) • Poca presencia de PPMFM Sipacate-Naranjo (importancia crucial) 	<ul style="list-style-type: none"> • Desinterés hacia la conservación del suelo (importancia media) • Poca cooperación de agricultores en partes altas (importancia media) • Problemática con la distribución del agua en la costa sur (muy importante) • Impacto del cambio climático en la distribución de flora y fauna silvestre (muy importante) • Pocos estudios en dinámica del ecosistema manglar (muy importante)

Fuente: elaboración propia.

1.5.4. Estrategias de solución

El establecimiento de nuevas Parcelas Permanentes de Medición Forestal Manglar (PPMFM) permitirá al ICC y al programa SSP generar información más sólida de la dinámica del ecosistema manglar en el tiempo necesario para poder identificar las características y comparar con ecosistemas de naturaleza similar en otras posiciones geográficas. De igual manera, la aplicación de una metodología estandarizada en la medición con criterios aceptados interinstitucionalmente permitirá asociar y comparar las bases de datos del ICC con las de otras instituciones en la materia. En convenio puede realizarse un análisis de la información ya generada por distintas instituciones (INAB, CONAP, ICC, etc.) que permita hacer comparaciones entre diferentes ubicaciones geográficas, composición boscosa, crecimientos, entre otros beneficios.

La estrategia defensiva, resultado de contrastar las fortalezas con las amenazas resulta en la necesidad de explorar la diversidad de flora y fauna que actualmente persiste en la región agrícola de la costa sur de Guatemala. Todo ello con el fin de identificar posibles especies adaptables a las perturbaciones antropogénicas o aquellos fenómenos naturales, así como la variabilidad climática, de suelos, etc. Además, incluyendo la información disponible por las estaciones meteorológicas, mapas de suelos, distribuciones potenciales y otras variables; podría describirse los parámetros dentro de los cuales se distribuyen especies de interés.

A continuación, se enlistan las actividades priorizadas:

- Establecimiento de Parcelas Permanentes de Medición Forestal Manglar “PPMFM” en área de protección Sipacate-Naranjo.
- Análisis de la base de datos del Sistema Nacional de PPMFM de Guatemala.
- Apoyo técnico en el establecimiento del Jardín botánico “los Tarros”, Ingenio la Unión.
- Estudio de flora arbórea en fincas con cultivos extensivos en cuencas de interés de la vertiente del Pacífico de Guatemala.

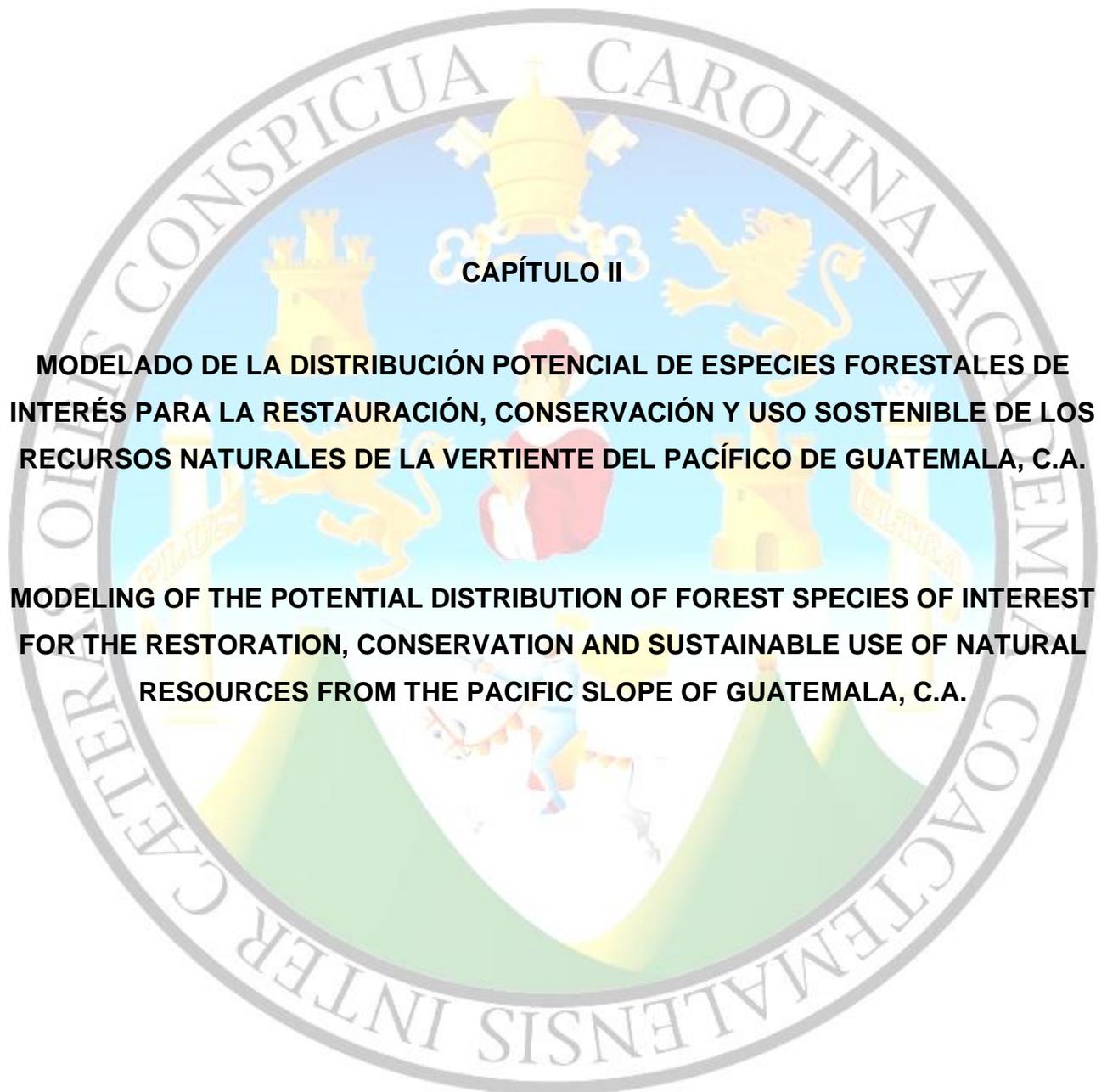
1.6. CONCLUSIONES

1. Las líneas de trabajo relacionadas con el programa Sostenibilidad de Sistemas Productivos se caracterizan por orientarse a la investigación, sin embargo, en años anteriores la mayor cantidad de actividades concluidas exitosamente han sido aquellas relacionadas con servicios a asociados. Según las entrevistas realizadas a los investigadores del programa, esto se debe principalmente a la complejidad de cooperación cuando se debe organizar con comunidades, instituciones públicas, privadas, etc., lo cual dificulta la generación de información necesaria para desarrollar investigaciones en torno a suelos, carbono, flora y fauna, entre otros. Sin embargo, existen experiencias de cooperación exitosas como los estudios de huella de carbono realizados con mancomunidades, parcelas demostrativas de conservación de suelos y estudios de flora y fauna dentro de fincas agrícolas, entre otras.
2. El papel del programa SSP en el ICC es el apoyo científico ante las problemáticas que socios y actores de la región (comunidades, instituciones públicas, instituciones privadas, centros académicos, entre otros) manifiesten y el desarrollo de investigación que propicie soluciones.
3. La priorización y selección de actividades derivó tanto de las necesidades expuestas por investigadores del programa, así como de la disponibilidad de recursos, tiempo y los alcances que un estudiante realizando su ejercicio profesional de agronomía en recursos naturales renovables puede brindar.

1.7. BIBLIOGRAFÍA

1. CEPAL, NDF, BID, & MARN. 2018. La Economía del Cambio Climático en Guatemala. Documento Técnico 2018.
2. DARA (El Monitor de Vulnerabilidad Climática). 2012. Methodology Note. Methodological Documentation for the Climate Vulnerability Monitor, 2nd. edition, Madrid.
3. Eckstein, D., Hutfils, M.-L., Wings, M., & Germanwatch. 2018. Global Climate Risk Index 2019 Who Suffers Most From Extreme Weather Events? Weather-related Loss Events in 2017 and 1998 to 2017.
4. ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático). 2018. Informe de Labores 2017. Guatemala. 91 páginas.
5. Juárez, D. 2019. Actividades del programa SSP (entrevista). Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, ICC, investigador del programa SSP.
6. Molina, A. 2017. Trabajo de graduación: determinación de las áreas susceptibles a inundaciones de la parte baja de la cuenca del río Ocosito mediante modelación y percepción comunitaria, diagnóstico y servicios en el instituto privado de investigación sobre cambio climático, Guatemala, C.A. Tesis Inga. Agra. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 285 p.
7. Rodríguez, C. 2019. Actividades del programa SSP (entrevista). Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, ICC, investigador del programa SSP.
8. Santos Pérez, A. 2019. Actividades del programa SSP (entrevista). Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, ICC, investigadora del programa SSP.





CAPÍTULO II

MODELADO DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE ESPECIES FORESTALES DE INTERÉS PARA LA RESTAURACIÓN, CONSERVACIÓN Y USO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DE GUATEMALA, C.A.

MODELING OF THE POTENTIAL DISTRIBUTION OF FOREST SPECIES OF INTEREST FOR THE RESTORATION, CONSERVATION AND SUSTAINABLE USE OF NATURAL RESOURCES FROM THE PACIFIC SLOPE OF GUATEMALA, C.A.

2.1. PRESENTACIÓN

Una de las problemáticas de mayor importancia para Guatemala, es afrontar la realidad de incluirse dentro de los países con alta vulnerabilidad ante los potenciales efectos del cambio climático (CGCCC, 2019). Uno de los sectores con alto riesgo de pérdidas es la costa sur del país, dominada por la actividad agrícola de cultivos como la caña de azúcar, la palma africana, el hule y el banano; gracias a las condiciones ambientales de la región. Existe una estrecha relación entre la biodiversidad y la agricultura; los bosques y los árboles proporcionan servicios ambientales invaluables que contribuyen a la producción agrícola. Estos incluyen servicios de polinización, control de plagas y enfermedades, regulación (y calidad) del agua, regulación climática, entre otros. (CIFOR, 2017)

El Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático –ICC- tiene como uno de sus principales objetivos el contribuir a solucionar las necesidades de sus asociados en torno a la gestión ambiental e investigación que coadyuve a la reducción de la vulnerabilidad, la mitigación y la adaptación al cambio climático en los procesos productivos de los diferentes gremios y actores. El interés sobre el estudio en modelación de nichos ecológicos de especies de interés para la restauración en la región surge en la búsqueda de realizar una gestión sostenible del recurso forestal remanente. El programa de Sostenibilidad de Sistemas Productivos –SSP- del –ICC-, desarrolla investigación hacia la mitigación del cambio climático a través de los recursos forestales y al manejo y recuperación de ecosistemas para la reducción de la vulnerabilidad.

Los modelos de distribución potencial son el resultado de la interacción de variables ambientales, registros de ubicación de las especies de interés y un algoritmo que relaciona las partes y proyecta la idoneidad de hábitat en la extensión deseada. Aunque la vertiente del Pacífico de Guatemala es la región de interés, las proyecciones se extienden a regiones biogeográficas más grandes. Esto permite evaluar un mayor universo de información e incluir registros de regiones colindantes. Los resultados permiten estimar qué variables son las que más influyen en la distribución de las especies y delimitar aquellos lugares con las mejores condiciones, en un formato accesible e interpretable para cualquier interesado.

2.2. MARCO TEÓRICO

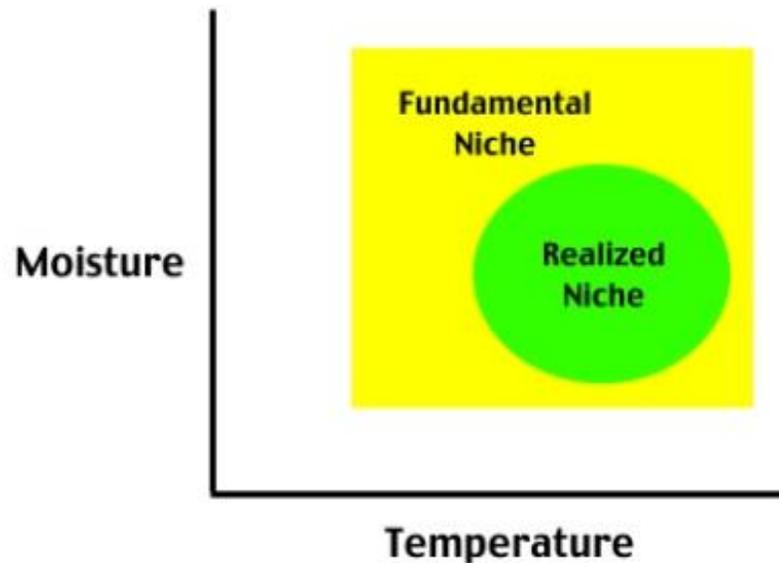
2.2.1. Marco conceptual

2.2.1.1. Nicho ecológico

La palabra nicho que inicialmente se ensambló para ecología, ha sido ampliamente adaptada a diferentes campos, sin embargo, nuestro interés está arraigado al significado planteado por los ecólogos Grinnell y Elton al inicio del siglo XX. Desde entonces, fue utilizado por primera vez el término “nicho ecológico”, y su definición científica fue constantemente debatida gracias al enfoque de estos dos ecólogos. Joseph Grinnell en 1917, describió el nicho ecológico desde el punto de vista del “perfil” de cada especie, el cual se define por los parámetros y limitaciones en sus características fisiológicas, morfológicas y de comportamiento. Así, cada especie sería “apta” para ocupar un espacio particular dentro de todos aquellos espacios que la naturaleza ofrece.

Por otro lado, Charles Elton en 1927, abordó el término desde el punto de vista funcional, donde el nicho de la especie es definido por su lugar en el ambiente biótico (cadenas tróficas). Así, su relación con los alimentos y los enemigos determinarían su espacio. Mientras que las condiciones abióticas no son consideradas. Más adelante, Hutchinson en 1957, basándose en la definición de Grinnell, planteó que existen dos “tipos” de nicho, el nicho fundamental, que describe las condiciones “ideales” para que una especie pueda sobrevivir en el tiempo y el nicho realizado, el cual básicamente es una porción del nicho fundamental donde la especie realmente se encuentra.

El nicho realizado (figura 3) generalmente es un “subgrupo” del fundamental debido a que existen una serie de factores que lo condicionan como la influencia humana, las interacciones bióticas (competencia interespecífica, depredación, etc.) o barreras geográficas que han impedido la dispersión y colonización. Tales factores pueden impedirle a la especie habitar (o incluso encontrar) condiciones que abarquen su potencial ecológico total. (Mijail et al., 2009)



Fuente: Soberón J. et al., 2017.

Figura 3. Ejemplo hipotético sencillo para dos variables (bi-dimensional) del concepto de nicho de Hutchinson.

2.2.1.2. Distribución de las especies

El nicho ecológico de Hutchinson está sumamente relacionado con la distribución de las especies, si nuestro interés primario es encontrar el área geográfica donde habita una especie, lo que queremos es aproximarnos al nicho realizado (lo cual generalmente es más complejo). Por otro lado, si nuestro interés es encontrar el área de distribución potencial de una especie (el área donde una especie podría sobrevivir, aunque naturalmente no se encuentre), debemos modelar su nicho fundamental.

Actualmente existen diferentes métodos para determinar tanto el nicho fundamental como aproximarse al nicho realizado y también existen metodologías para determinar el área de distribución de una especie en el pasado, en el presente o en el futuro, y eso es posible gracias a la integración de los conceptos descrita por los ecólogos Jorge Soberón y Townsend Peterson en el 2005.

Ellos plantearon que *“el área de distribución de una especie es una expresión compleja de su ecología y de su historia evolutiva, determinada por diversos factores operando a diferentes intensidades y escalas.”* Se conocen cuatro clases de factores que determinan en donde la especie puede encontrarse según Soberón J. y Peterson T.:

- (1) *Condiciones abióticas: incluyendo aspectos de clima, ambiente físico, condiciones edáficas, etc., que imponen límites fisiológicos en la habilidad de las especies para persistir en el área.*

- (2) *Factores bióticos: el conjunto de interacciones con otras especies que modifica la habilidad de la especie de mantener poblaciones positivas. Esas interacciones pueden ser ambas positivas (ejemplo: mutualismo como el de los dispersores de semillas, polinizadores, etc.) o negativos (ejemplo: competidores, depredadores, enfermedades). Limitando o realzando los procesos poblacionales, las interacciones obviamente pueden afectar distribuciones.*

- (3) *Las regiones que son accesibles para dispersarse desde algún área original. Este factor es extremadamente útil en para distinguir la distribución actual de alguna especie de la distribución potencial, basado en la configuración del paisaje y de las habilidades de dispersión de la especie. Podrían considerarse como barreras geográficas las montañas, volcanes, ríos, lagos, etc.; barreras que impiden que la especie pueda trasladarse a otras áreas cuyas características permitirían su sobrevivencia.*

- (4) *La capacidad evolutiva de las poblaciones de la especie de adaptarse a nuevas condiciones. Es una posibilidad de distribución adicional e importante de las especies. En teoría, y en limitados experimentos realizados hasta la fecha, los efectos de la evolución en parámetros del nicho en periodos cortos de tiempo aparecen con menor frecuencia. Sin embargo, la “elasticidad genética” es un factor que le brinda ventajas a las especies de modificar sus características y adaptarse a nuevas áreas.*

2.2.1.3. Modelos basados en el nicho

Un modelo basado en el nicho representa una aproximación del nicho ecológico de la especie en las dimensiones ambientales examinadas. El nicho fundamental de una especie consiste del grupo de todas las condiciones que permiten su supervivencia en el tiempo, mientras que su nicho realizado es el subgrupo del nicho fundamental que la especie realmente ocupa (Hutchinson, 1958). Además, la complejidad y afinidad de un modelo con la realidad depende sumamente de la información considerada, la disponible, la escala de interés y la capacidad de los diferentes algoritmos desarrollados con este fin.

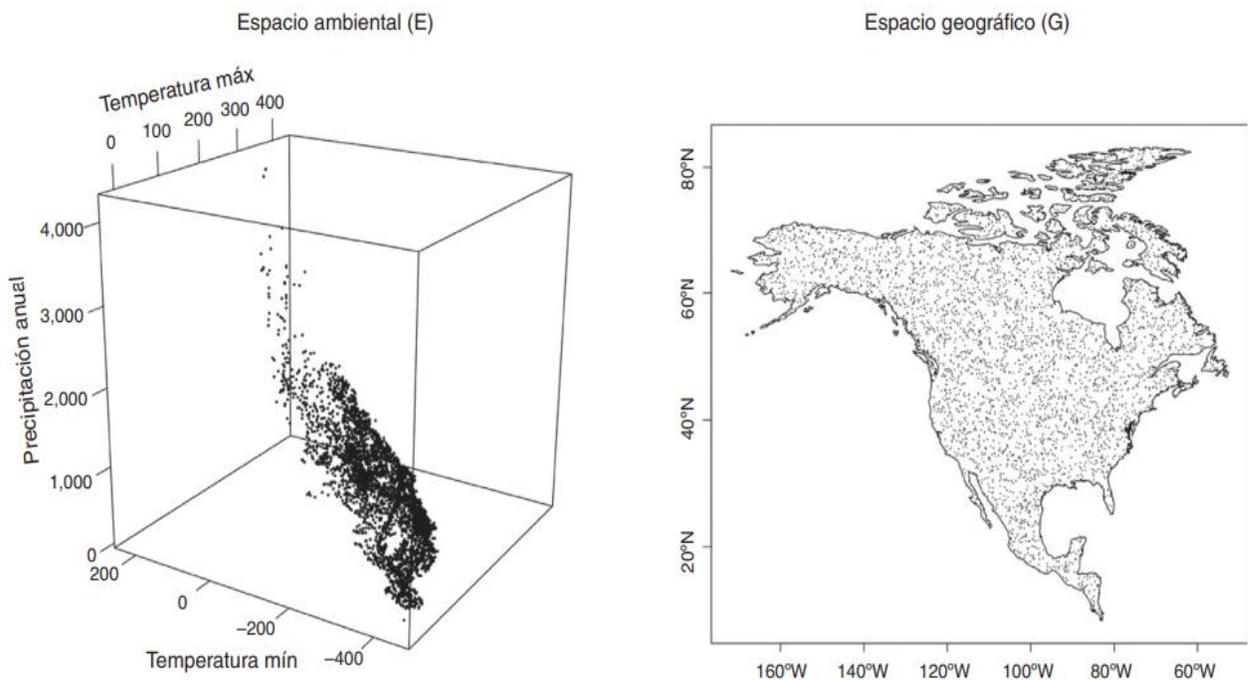
2.2.1.4. Dualidad de Hutchinson

La dualidad de Hutchinson se refiere a una hipótesis donde se explica la relación existente entre el espacio geográfico y el espacio ambiental n-dimensional. Para comprenderla es necesario observar la figura 2, que consiste en un diagrama elaborado por Jorge Soberón en el 2017. En el diagrama se encuentran las dos maneras de entender un nicho ecológico: El usual espacio geográfico (G), básicamente un mapa de la extensión de interés, donde se extiende una “rejilla” con una cantidad finita de cuadrantes de tamaño definido por la escala, que en un contexto digital podrían considerarse como “píxeles” de una resolución establecida en un formato ráster.

De tal cuenta que cada pixel contendría información para cada variable considerada (por ejemplo: elevación, temperatura, precipitación, pH, etc.). Y que luego de un análisis de distribución del universo de píxeles existentes en el espacio geográfico (G), se ilustraría la proporción y ubicación de los píxeles cuyas combinaciones permiten que la especie sobreviva. Por otro lado, el espacio ambiental (E), que básicamente es la manera de entender el nicho que utilizaría una computadora, ya que sencillamente se plantean tantos “ejes” o “dimensiones” según el número de variables utilizadas, como ejemplo en la Figura 4, Soberón diseñó un espacio de 3 dimensiones (3 variables: temperatura max, precipitación y temperatura min.).

Donde dentro se ilustran los puntos cuya ubicación coincide con los parámetros de distribución para una especie X. La dualidad radica en que si bien a cada punto de la retícula geográfica (G) corresponde un único punto del espacio ambiental (E), lo contrario no es verdad necesariamente, porque puede haber 2 regiones del planeta con valores de las variables ambientales iguales o similares.

Esta posibilidad en la práctica desaparece cuando se usan suficientes variables, con la precisión adecuada. Además, es importante reconocer, que estos espacios tienen topologías muy diferentes, que puntos muy lejanos en el espacio geográfico pueden ser muy similares en el espacio ambiental y que puntos muy cercanos en el espacio geográfico pueden ser muy diferentes en el ambiental. (Soberón et al., 2017)



Fuente: Soberón J. et al., 2017.

Figura 4. Dualidad de Hutchinson en 3 variables climáticas.

2.2.1.5. Enfoques en modelación del nicho ecológico

Soberón J. y Peterson T. en el año 2005, definieron dos maneras de estimar el nicho ecológico fundamental (FN) de una especie:

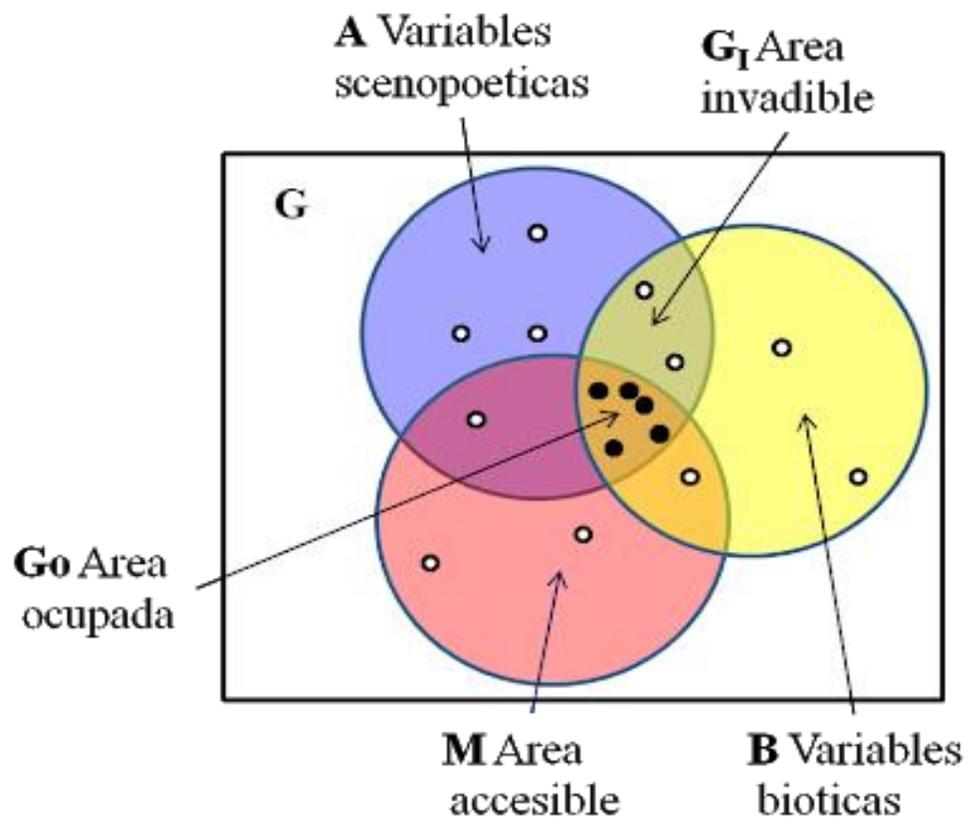
- (1) Medición directa o modelado físico. Básicamente en este enfoque se debe encontrar la manera para “medir” la respuesta de una especie a diferentes combinaciones de las variables físicas como temperatura, humedad, concentración de oxígeno y dióxido de carbono, etc. y luego, con el auxilio de sistemas de información geográfica, proyectar las áreas de aptitud positiva. Este enfoque es denominado el enfoque “mecanicista” y es considerado el más complejo debido a que deben de poder aislarse y modificarse los parámetros físicos para obtener resultados.

- (2) Enfoque correlativista. Este enfoque relaciona información de ocurrencia de la especie con bases de datos climáticos, topográficos, edáficos y cualquier otra “dimensión” ecológica, a través de herramientas de sistemas de información geográfica (SIG). Para ello es necesario coleccionar “puntos” de ubicación geográfica donde la especie de interés haya sido observada, además, de la información de las diferentes variables a considerar en un formato digital. Y, por último, la selección de un algoritmo que relacione ambas partes. Básicamente el algoritmo debe de tener la capacidad de extrapolar e interpolar las variables en función a los registros de ocurrencia incluidos y luego proyectar el área cuyas características pueden considerarse habitables para la especie en cuestión.

El enfoque mecanicista basado en mediciones directas de las variables físicas ignora por completo las interacciones bióticas, y, por otro lado, en la práctica es tan complejo que muy pocas veces es empleado con la finalidad de modelar el nicho ecológico de las especies. El enfoque correlativista, en contraste, se basa en observaciones que naturalmente son influenciadas por las interacciones bióticas y cuyo objetivo es minimizar el sesgo en las mismas. Por ello en términos de practicidad es mucho más utilizado. (Soberón J., Peterson T., 2005).

2.2.1.6. El diagrama BAM

El diagrama BAM surge como una propuesta para explicar la interacción de los diferentes factores que determinan el área de distribución de una especie y las limitaciones para identificar el nicho fundamental o el nicho realizado para una especie (Soberón y Peterson, 2005), ilustrado en la figura 5.



Fuente: Soberón y Peterson, 2005.

Figura 5. Diagrama de BAM.

Una especie tiene altas probabilidades de ser observada en regiones del planeta donde:

1. Existan las condiciones abióticas necesarias, simbolizadas por «A»;

2. Existan las condiciones bióticas favorables («B»), en otras palabras, el medio biótico de la especie y
3. Hayan estado accesibles a la dispersión de la especie desde la región de su origen histórico, o bien desde alguna región definida en un momento temporal relevante («M»), esto es, la región del planeta accesible a la dispersión, lo cual es un asunto esencialmente histórico.

La zona denotada por GO, o área ocupada es la intersección de favorabilidad biótica y abiótica, y de accesibilidad histórica. La especie puede ser observada/recolectada en esa región. Por definición, las variables ambientales en GO constituyen el nicho realizado (NR). La zona GI es una región con condiciones favorables pero que se ha mantenido fuera de las capacidades de dispersión de la especie. La región A es favorable a la especie si se hace abstracción de las interacciones y por lo tanto su medio ambiente corresponde a la idea de «nicho fundamental» de Hutchinson (1957).

Resulta entonces que cuando se utilizan algoritmos correlativos para modelar distribuciones de especies, el algoritmo combina las presencias y las capas ambientales para generar un objeto (tabla, fórmula, conjunto) en el espacio E, que es posteriormente proyectado a G como consecuencia de la dualidad de Hutchinson. Sin embargo, en los modelos correlativos el investigador muy raramente incluye explícitamente las capas B y M. (Soberón y Peterson, 2005) Así, en una modelación correlativa, ni las interacciones ni los factores históricos y de dispersión son tomados en cuenta explícita y directamente.

En este caso se modelan los ambientes A, y la proyección a G es una distribución potencial (Peterson, Papes, y Soberón, 2015). Vemos entonces que SDM se refiere a modelar objetos en G. Estos pueden ser considerados áreas potenciales (A o GI), si se ignoran los efectos de B y M, o áreas ocupadas (GO), si se cuenta con información sobre B y M. A su vez, ENM se refiere a modelar condiciones ambientales, que se aproximan más o menos a N*F o a NR dependiendo del algoritmo, de la configuración del BAM y de la calidad de las observaciones. (Soberón y Peterson, 2005)

2.2.1.7. SDM y ENM

Los esfuerzos por identificar las áreas de distribución de las especies comenzaron hace más de un siglo, en aquel momento el interés primario era identificar el “hábitat” natural de las especies (principalmente aves) para establecer las áreas de protección. En todas las regiones del mundo los diferentes gobiernos y organizaciones ambientalistas han requerido de metodologías para delimitar áreas de protección para algunas especies en peligro de extinción o de alto interés cultural o histórico. Sin embargo, desde 1,990 con el desarrollo de los primeros algoritmos de modelado surgieron las primeras ambigüedades en los términos. Existe una creciente cantidad de publicaciones que hacen uso de los términos “modelado de la distribución de especies” -SDM por sus siglas en inglés- y “modelado del nicho ecológico” -ENM por sus siglas en inglés-.

El problema recurrente era que no existía una clara distinción entre los dos procesos y en muchas ocasiones se empleaban como sinónimos. En el 2012, Jorge Soberón publicó un artículo en búsqueda de la definición oficial de ambos términos y lo relacionó con sus conceptos descritos en el diagrama BAM. Básicamente, explica que la diferencia está en el objetivo de cada proceso. El modelado de la distribución de especies se refiere a la búsqueda del área que la especie en la actualidad realmente ocupa, en otras palabras, a la aproximación al nicho realizado. Él propone que el término “modelado de la distribución de especies” está bien aplicado cuando dentro del análisis se incluye “M” que se refiere al área que espacial e históricamente ha sido disponible para la dispersión de la especie.

De tal cuenta que el resultado del modelado de la distribución de alguna especie debe reflejar una aproximación al área realmente habitada y para ello se deben incluir aspectos biogeográficos. Por otro lado, el modelado del nicho ecológico tiene por objetivo el encontrar los parámetros de las diferentes variables que limitan su sobrevivencia. Como resultado de un modelo de nicho se espera una aproximación al nicho fundamental de la especie, en otras palabras, la distribución “potencial”. De tal cuenta que observaríamos un mapa donde se ilustre el área “ideal” o habitable por la especie, donde se incluye el área donde realmente se encuentra y áreas donde la especie podría sobrevivir, pero no ha podido colonizar por aspectos biogeográficos que han limitado su distribución.

La afinidad de los diferentes procesos de modelado a la realidad depende de la cantidad de variables incluidas en el análisis, además de la calidad, escala y resolución; la calidad de los registros de ocurrencia de la especie y el algoritmo seleccionado para relacionar ambas partes y generar el modelo.

2.2.1.8. Algoritmos para el modelado del nicho ecológico

Robert J. Hijmans el desarrollador de la base de datos WorldClim, Diva-GIS y algunas otras herramientas especializadas para SDM y ENM, en conjunto con Jane Elith, científica de la Universidad de Melbourne, parte desarrolladora en diversos proyectos como DISMO (un paquete de R que permite desarrollar variables climáticas derivadas); en el año 2013 publicaron el manual titulado “Modelado de la distribución de especies con R” el cuál enlista las diferentes metodologías, paquetes, funciones y algoritmos disponibles.

Existen tres tipos de algoritmos para modelado de SDM y ENM, métodos de “perfil”, métodos de “regresión” y métodos de “aprendizaje automático”. Los métodos de perfil son aquellos que utilizan solamente datos de presencia, mientras que los métodos de regresión y aprendizaje automático utilizan datos de presencia y, además, datos de ausencia, pseudo-ausencia o “background data”. La diferencia entre los métodos de regresión y los métodos de aprendizaje automático no es muy grande considerando la información que utilizan ambos, pero sí en los conceptos matemáticos y estadísticos que rigen sus procesos.

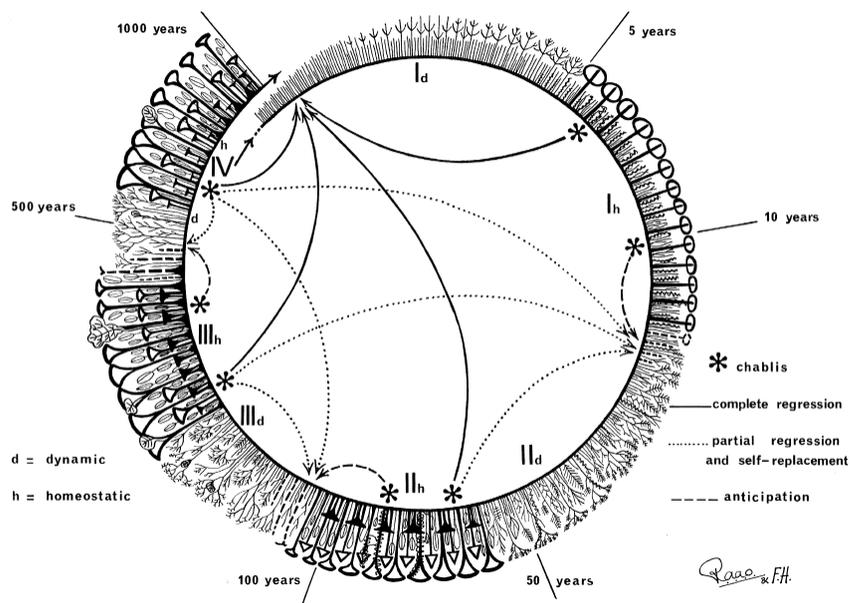
2.2.1.9. Métodos de aprendizaje automático

Los modelos de aprendizaje automático son modelos de regresión flexible no paramétricos. Los métodos incluyen redes neuronales artificiales (ANN), bosques aleatorios, árboles de regresión potenciados y máquinas de vectores de soporte.

En la actualidad MAXENT es el método más utilizado y aceptado en la comunidad científica, se basa en el principio de máxima entropía donde busca maximizar la ganancia, ello surge del análisis de las variables en función a los datos de ocurrencia, para ello, auxiliándose de aprendizaje automático, permuta la importancia que aporta cada variable al análisis y como resultado, la salida es interpretada como la probabilidad, dándole a cada pixel un valor entre 0 y 1 que puede considerarse la “idoneidad” de dicho espacio. (Phillips et al., 2006)

2.2.1.10. ENM y la restauración ecológica

Los modelos de distribución potencial pretenden coadyuvar los esfuerzos que buscan garantizar una gestión sostenible de los recursos forestales y naturales, así como aquellos que integran planes de restauración ecológica. Para ello es importante considerar la dinámica sucesional de la especie en cuestión y el estadio sucesional en el que se encuentra el lugar a restaurar. En la figura 6 se pueden observar las distintas sucesiones que componen la silvigénesis considerando fenómenos de perturbación por estadios.



Fuente: F, Hallé, 1978.

Figura 6. Silvigénesis.

En la costa sur de Guatemala, las condiciones de perturbación a ecosistemas forestales son constantes, debido a la alta interacción histórica con actividades agrícolas y comunitarias. En general, los bosques tienden a índices de conectividad muy bajos, constituyéndose como relictos o dispersos y están limitados a pequeños bosques de galería o quebradas.

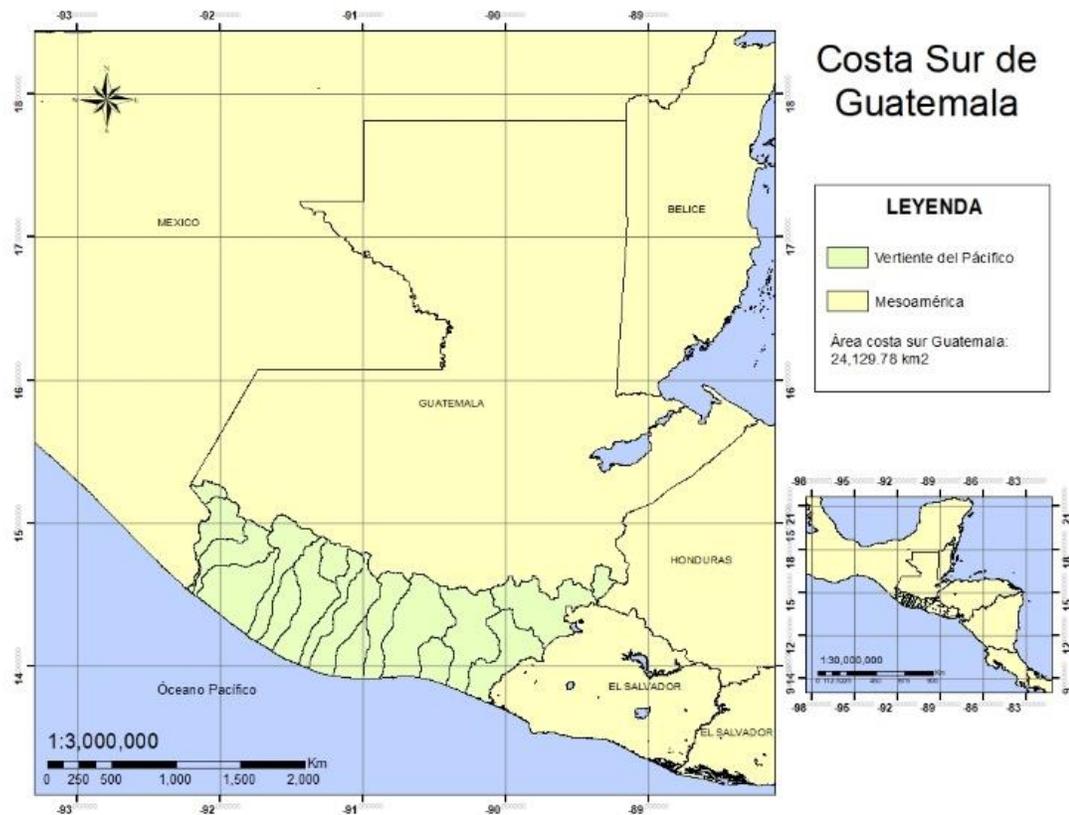
Además, el tránsito de maquinaria, las quemas, la depredación por parte de comunidades, y la reducción de hábitat, retienen las masas forestales en condición de “guamil” la cual corresponde a estadios de regeneración primaria, donde según Hallé, en América Central, es caracterizada por la dominancia de especies del género *Cecropia* adaptadas a las condiciones de exposición solar derivada de un dosel muy poco denso.

Por lo cual, cualquier plan de manejo, estrategia de restauración o esfuerzo de repoblación forestal en la región debe examinar la silvigénesis para asegurar el mayor éxito posible. Además, es importante considerar que existen esfuerzos por la recuperación y gestión sostenible del corredor biológico mesoamericano, el cual propone dirigir esfuerzos a conservar y restaurar la conectividad en bosques estratégicos.

2.2.2. Marco referencial

2.2.2.1. Ubicación geográfica

La franja correspondiente a la vertiente del Pacífico de Guatemala se ubica entre las coordenadas 13° 55” – 15° Latitud Norte y de los 89° 10” – 92° 15” Longitud Oeste (Castillo, 2005). Tiene una extensión de 24,129.78 km². En la parte alta es delimitada por la cordillera volcánica central de Guatemala y las cuencas se configuran en la parte media y baja recorriendo una gran extensión de tierras con muy poca pendiente, la cual es propicia para las actividades agrícolas extensivas (figura 7).



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 7. Área de interés. Vertiente del Pacífico de Guatemala.

2.2.2.2. Características geológicas

El origen geológico de la región en términos generales se subdivide en:

En la parte alta: rocas volcánicas del Cuaternario, incluyen coladas de lava, material lahárico y tobas.

En la parte media: rocas plutónicas sin dividir, donde se incluyen granitos y dioritas de edad prepérmico, cretácico y terciario.

En la parte baja: aluviones Cuaternarios, productos de los procesos de la erosión hídrica (Castillo, 2005).

2.2.2.3. Características climáticas

Las condiciones climatológicas que dominan en el área varían sustancialmente, tanto a lo ancho como a lo largo. Hay lugares en donde se reportan precipitaciones que van desde 500 mm a 1,000 mm anuales y otros, en donde los rangos van de los 3,000 mm a 4,000 mm anuales. En cuanto a biotemperaturas, el rango general va de los 12 °C como mínimo y 27 °C como máximo (Castillo, 2005).

2.2.2.4. Características ecológicas

Holdridge propuso un sistema de clasificación de ecosistemas basado en zonas de vida (cuadro 5), definidas como unidades territoriales naturales en las cuales están interrelacionadas la vegetación, la actividad animal, el clima, la fisiografía, la formación geológica y el suelo, en una combinación reconocida y única, que tiene aspecto o fisionomía típica. Recientemente el Instituto de Agricultura Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar publicó una propuesta de regionalización climática según la metodología de Holdridge donde suscriben haber resuelto algunos errores que han sido ampliamente discutidos en la comunidad científica para Guatemala en la propuesta anterior (IARNA-URL, 2018).

En comparación con el mapa de zonas de vida según Holdridge publicado anteriormente, IARNA identificó en la actualidad una mayor extensión de territorio ocupada por la zona de vida de bosque seco tropical (bs-T) distribuido principalmente en el litoral extendiéndose varios kilómetros. En el modelo anterior se proyectaba una franja delgada y se consideraba bosque seco subtropical. Además, las zonas de vida montanas y premontanas no estaban consideradas y ocupan una extensión considerablemente grande de la región.

Cuadro 5. Zonas de vida según Holdridge para la vertiente del Pacífico de Guatemala.

No.	CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA km ²
1	bh-T	Bosque húmedo tropical (bh-T)	6,896.93
2	bs-T	Bosque seco tropical (bs-T)	4,390.33
3	bh-PMT	Bosque húmedo premontano tropical	4,381.72
4	bh-MBT	Bosque húmedo montano bajo tropical	2,744.82
5	bmh-PMT	Bosque muy húmedo premontano tropical (bmh-PMT)	1,686.46
6	bmh-T	Bosque muy húmedo tropical (bmh-T)	1,639.95
7	bs-PMT	Bosque seco premontano tropical (bs-PMT)	1,059.87
8	bmh-MT	Bosque muy húmedo montano tropical (bmh-MT)	971.44
9	bmh-MBT	Bosque muy húmedo montano bajo tropical (bmh-MBT)	285.23
10	bp-MT	Bosque pluvial montano tropical (bp-MT)	11.05
11	bp-SAT	Bosque pluvial subandino tropical (bp-SAT)	4.85
12	bp-PMT	Bosque pluvial premontano tropical (bp-PMT)	1.26

Fuente: elaborado con mapa IARNA-URL, 2018.

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. Objetivo general

Contribuir a la restauración, conservación y manejo sostenible de los recursos naturales, modelando el nicho ecológico para especies forestales de interés estratégico, generando mapas de distribución potencial y describiendo la influencia de variables sobre la distribución de las especies en la vertiente del Pacífico de Guatemala.

2.3.2. Objetivos específicos

1. Priorizar especies de interés estratégico para la restauración ecológica en la vertiente del Pacífico de Guatemala.
2. Generar una base de datos de presencia de especies seleccionadas.
3. Seleccionar la mejor fuente de datos con variables ambientales, edáficas y fisiográficas para la zona de estudio.
4. Modelar el nicho ecológico de especies seleccionadas proyectando su distribución potencial.
5. Describir la influencia de las variables ambientales sobre la distribución potencial de las especies.

2.4. METODOLOGIA

2.4.1. Selección de especies

El primer paso se constituye como el proceso de selección de especies de interés para el estudio y la modelación de su nicho ecológico. Dicha selección se hizo a partir del establecimiento de criterios de priorización, definidos por los objetivos de la investigación la cual es coadyuvar con la restauración ecológica de la zona de estudio.

Considerando que los objetivos definen como ejes la restauración, conservación y gestión sostenible de los recursos forestales, los criterios de selección de especies fueron dispuestos a favor de las funciones ecológicas que las especies proveen como bienes naturales y servicios hacia el ecosistema incluyendo:

- Que coadyuve a regular el ciclo hidrológico con funciones importantes derivadas de procesos de transpiración, cobertura (reducción de energía cinética en el golpe del agua en el suelo, favoreciendo la infiltración y reduciendo la erosión), entre otras maneras.
- Que coadyuve a regular ciclos biogeoquímicos (ej. nitrógeno).
- Que se encuentre en peligro de extinción o incluido en listados de especies en algún grado de protección.
- Que brinde alimento a especies de fauna cuyas poblaciones han sido reducidas y declaradas en peligro o en algún grado de conservación importante.
- Que brinde hospedaje a especies de fauna o flora cuyas poblaciones han sido reducidas y declaradas en peligro o en algún grado de conservación importante.
- Que tolere perturbación por agentes externos (quemadas, inundaciones, sequías, entre otros).
- Que exista información de presencia suficiente para el análisis de modelado de nicho ecológico.
- Y, que existan registros de individuos de la especie persistentes ante las constantes perturbaciones derivadas de las actividades agrícolas.

2.4.2. Obtención de base datos de presencia

Los registros de presencia de cada una de las especies se obtuvieron de diversas fuentes. La primera de ellas fue la base de datos disponible en el ICC, la cual se ha generado a partir de la diversidad de estudios florísticos en la zona de estudio. De igual manera las bases de datos disponibles en línea como el portal Global Biodiversity Information Facility –GBIF- y la base de datos del herbario “AGUAT” de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, consultando además bases de datos de documentos de investigación de diferentes universidades y entidades como el Instituto Nacional de Bosques –INAB- y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP- que se encuentran disponibles al público.

Posterior a la obtención de los datos en un formato CSV, se procedió a iniciar diferentes fases de depuración, inicialmente se eliminaron aquellos registros cuya ubicación era dudosa por encontrarse fuera del hábitat conocido de la especie (regiones áridas, montañas, ríos, etc.).

Además, basados en literatura se trató de definir cuáles son los parámetros de distribución natural de la especie para evitar incluir registros de ocurrencia en regiones atípicas, se tiene conocimiento que estos puntos pueden ser plantaciones, o colecciones de flora como arboretos o jardines botánicos. Para el modelado del nicho ecológico en cualquier programa cuyo algoritmo relacione puntos de presencia fue necesario hacer una “rarificación” de los registros de ubicación tanto espacial como ambientalmente.

Para esto se utilizó la metodología diseñada por el paquete “SDMToolbox” para ArcGIS (Brown JL, Bennett JR, French CM, 2017), el procedimiento se basa en una rarificación basada en la heterogeneidad climática. Para ello primero debe realizarse un análisis de componentes principales (PCA) el cuál relaciona las variables ambientales unas con otras, con la función de definir la independencia (la varianza) entre ellas. El resultado puede interpretarse en términos porcentuales de independencia, lo cual explicaría la contribución de las variables con mayor varianza. De ello se seleccionaron las primeras 3 variables que generalmente explican más del 90 % de la variación entre los valores.

Con ellas se diseñó un mapa de heterogeneidad climática (figuras 38A y 39A), el cual básicamente busca identificar regiones geográficas con alta similitud (combinaciones muy comunes) y también regiones geográficas con alta heterogeneidad (combinaciones climáticas muy poco comunes), reflejado en una escala de colores que permitió una zonificación.

Rarificación se refiere a un distanciamiento radial de los registros de ocurrencia en función de una gradiente que, en este análisis, es la zonificación climática resultado del mapa de heterogeneidad. Además, durante el proceso se eliminaron los registros de ocurrencia repetidos y redundantes, que por su cercanía entre sí pudieron provocar que el programa asuma que la importancia de las condiciones climáticas de las regiones con mayor densidad de puntos de ocurrencia es mayor que en regiones donde los puntos de ocurrencia se encuentran dispersos.

Esto resuelve el problema del muestreo, en este caso, Guatemala generalmente es el país mesoamericano que cuenta con mucha menos información de registros de ocurrencia para la flora local, por ende, el programa podría asumir que en regiones de países como Costa Rica donde la densidad de información es mucho mayor, las condiciones, además, son más favorables que las que podría encontrar la especie en Guatemala.

Esto podría constituirse como un gran problema ya que el programa les asignaría mayor contribución a las combinaciones de las variables en regiones con alta densidad de puntos de ocurrencia ignorando aquellos donde simplemente no se ha muestreado o no se encuentran disponibles registros de ocurrencia de las especies y esto se vería reflejado en el modelo resultante.

Se definió que el distanciamiento radial mínimo entre los puntos de ocurrencia basado en la zonificación del mapa de heterogeneidad debe de ser entre 5 km y 25 km, como criterios de rarificación. Esto significa que de un cúmulo de puntos ubicados en una región con alta heterogeneidad el programa automáticamente reubicará una cantidad de puntos que respeten un criterio de dispersión entre este parámetro, es decir, no más cercanos a 5 km y no más lejanos a 25 km.

2.4.3. Obtención de datos ambientales

Con “datos ambientales” nos referimos a las variables scenopoéticas en formato ráster desarrolladas como modelos mundiales o como interpolaciones regionales. Al inicio se planteó desarrollar interpolaciones propias del área de estudio con información ambiental disponible en diversas fuentes (sector privado, instituciones públicas, academia, etc.). Sin embargo, la densidad actual de información no permite alcanzar una representatividad estadística superior a la que brindan los modelos mundiales que fueron desarrollados a partir de información satelital de mayor resolución (cuadro 6). El área de estudio se extendió a la región mesoamericana, considerando que las especies que habitan el istmo centroamericano, provienen principalmente de los trópicos de Sudamérica y con alguna incidencia de especies de latitudes templadas de Norteamérica.

Cuadro 6. Clasificación de variables ambientales.

TIPO DE VARIABLE	FUENTE	DESCRIPCIÓN
Climáticas	Modelo climático mundial WorldClim 2.0, a una escala de 1 km ² .	La base de datos se constituye como un esfuerzo por generar capas ambientales derivadas interpolaciones de temperatura y precipitación.
Fisiográficas	Modelo de Elevación Digital del terreno –DEM- del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) de la Misión Topográfica Shuttle Radar (SRTM).	Con una resolución de 15 m x 15 m e información de alturas. De la cual se derivan variables fisiográficas importantes.

Continuación cuadro 6. Clasificación de variables ambientales.

Edáficas	Base de datos de acceso libre SoilGrids (www.soilgrids.org)	Un esfuerzo de la asociación mundial de suelos que busca divulgar capas edáficas de variables físicas, químicas y taxonómicas a una resolución de 1 km ² .
----------	---	---

Fuente: elaboración propia, 2020.

Por lo cual, para obtener un análisis representativo que estadísticamente considere todas las combinaciones posibles en el universo n-dimensional de variables ambientales, es necesario ampliar el rango de información. Además, las interpolaciones regionales siguen constituyéndose como un reto para el país debido a la baja densidad de información disponible, falta de calibración de aparatos, falta de estandarización de las dimensionales, poca corrección de errores en las bases de datos, entre otros problemas.

Por ello los modelos mundiales generalmente utilizan información proveniente de imágenes satelitales para generar, complementar o evaluar los resultados de interpolaciones mundiales, reduciendo así el error.

Worldclim 2.0 presentado en 2017, es un proyecto de libre acceso que desarrolló interpolaciones mundiales de información climática para el periodo 1970-2000 con una densidad entre 9,000 y 60,000 estaciones meteorológicas (dependiendo de la variable).

A través del paquete “dismo” disponible para R Studio, desarrollaron 19 variables bioclimáticas (cuadro 7) las cuales analizan información para el periodo en cuestión en un formato mensual generando las siguientes capas ráster con una extensión global y una resolución de 30 segundos de arco, es decir, 1 km². (Fick, S.E. and Hijmans, R.J., 2017)

Cuadro 7: Worldclim 2.0, variables bioclimáticas.

CODIGO	VARIABLE
Bio 1	Temperatura media anual
Bio 2	Rango de temperaturas diurnas
Bio 3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (*100)
Bio 4	Estacionalidad en la temperatura (desviación estandar * 100)
Bio 5	Temperatura máxima del mes más cálido
Bio 6	Temperatura mínima del mes más frío
Bio 7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
Bio 8	Temperatura media del trimestre más lluvioso
Bio 9	Temperatura media del trimestre más seco
Bio 10	Temperatura media del trimestre más cálido
Bio 11	Temperatura media del trimestre más frío
Bio 12	Precipitación anual
Bio 13	Precipitación del mes más lluvioso
Bio 14	Precipitación del mes más seco
Bio 15	Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)
Bio 16	Precipitación del trimestre más lluvioso
Bio 17	Precipitación del trimestre más seco
Bio 18	Precipitación del trimestre más cálido
Bio 19	Precipitación del trimestre más frío

Fuente: Fick, S.E. and Hijmans, R.J., 2017.

Se identificó que los algoritmos que solo utilizan información de presencia de las especies como Maxent, generalmente mejoran cuando se incluyen variables edáficas (Velazco SJE, Galvão F, Villalobos F, De Marco Junior P, 2017). Actualmente, se encuentra disponible "SoilGrids", un sistema de mapeo digital basado en una compilación global de perfiles de suelos y capas ambientales.

Auxiliándose de métodos de aprendizaje automático (machine learning) para mapear la distribución espacial de las propiedades de los suelos alrededor del globo. Provee información de pH, contenido orgánico, densidad, contenido de arcilla, arena y limos, capacidad de intercambio catiónico (CEC), nitrógeno total y demás variables edáficas, (cuadro 8). (Hengl T, Mendes de Jesus J, Heuvelink GBM, Ruiperez Gonzalez M, Kilibarda M, Blagotić A, et al., 2017)

Cuadro 8. variables edáficas.

CÓDIGO	VARIABLE	DIMENSIONAL
Bdrbcm	Profundidad a la roca madre hasta el máximo de 240 cm	Cm
Bdrlog	Probabilidad de ocurrencia del horizonte R	%
Bldfie	Media de la densidad aparente*	kg/m ³
Crfvol	Volumen medio de fragmentos gruesos*	%
Clyppt	Proporción de arcilla*	%
Sltppt	Proporción de limo*	%
Sndppt	Proporción de arena*	%
Cecsol	Capacidad de intercambio catiónico*	cmolc/kg
Ocstha	Carbono orgánico almacenado*	Tn/ha
Orcdrc	Contenido de carbono orgánico*	‰
Phihox	pH en agua*	pH * 10
*Información para 6 profundidades		

Fuente: Velazco SJE, Galvão F, Villalobos F, De Marco Junior P, 2017

2.4.4. Reducción del conjunto de datos ambientales y extracción de información climática

Una de las características de Maxent es que requiere que las capas ambientales se encuentren en el formato ASCII de ESRI (un formato con base en texto que reduce considerablemente el peso de los archivos), además deben coincidir exactamente en extensión y resolución. Para ello fue necesario aplicar un preprocesamiento de todas las capas de distinto origen, definiendo una extensión que corresponde a Mesoamérica (de México a Panamá), una resolución de 1 km², además de rellenado y corrección de datos atípicos o faltantes. Todo ello con herramientas disponibles en el paquete SDMToolbox (Brown JL, Bennett JR, French CM, 2017).

En total fueron seleccionadas y adaptadas 83 capas ambientales, número reducido posteriormente a solamente 21 capas, resultado de un análisis de autocorrelación lineal donde las capas cuyo coeficiente de correlación fuese mayor a 0.80 debían ser seleccionadas estratégicamente en función de la interpretabilidad.

2.4.5. Modelado de nicho ecológico de especies y proyección de distribución potencial

Posterior a una revisión exhaustiva de los diferentes programas y algoritmos disponibles para realizar modelos de nicho ecológico se encontró que el más afín a los recursos y requerimientos era "MAXENT", programa de acceso libre desarrollado en el en el Centro para la Biodiversidad y Conservación en el Museo Americano de Historia Natural -AMNH por sus siglas en inglés-, a través de la cooperación público-privada entre AMNH y el programa de investigación de la compañía AT&T-Research. Steven phillips y los otros desarrolladores de Maxent siguen comprometidos con su continua mejora y mantenimiento y posee una certificación del MIT -Massachusetts Institute of Technology-. (Steven J. Phillips, Miroslav Dudík, Robert E. Schapire., 2020)

Maxent es un algoritmo que se fundamenta en el principio de máxima entropía auxiliándose de técnicas de machine learning. De un set de información ambiental y puntos georreferenciados de registros de ocurrencias de las especies, el modelo expresa la probabilidad de distribución donde cada celda tiene una habitabilidad predicha para la especie.

Bajo la suposición de los datos de entrada y el muestreo biológico que llevó a los registros de ocurrencia, las salidas pueden ser interpretadas como la predicción de la probabilidad de presencia. (Steven J. Phillips, Miroslav Dudík, Robert E. Schapire., 2020)

En otras palabras, maxent relacionará la información de las capas ambientales con los puntos de ocurrencia, en búsqueda de definir las condiciones de habitabilidad y asignándole una “probabilidad” a cada celda, la cual puede interpretarse como la “idoneidad del hábitat para que la especie sobreviva”. Los datos de presencia finales y las variables climáticas seleccionadas sirvieron de insumo para generar los modelos de distribución potencial para cada especie.

2.4.6. Validación del modelo

El método de validación del modelo se hace a partir del resultado del AUC (area under the curve) del análisis ROC (receiver operating characteristic), para dicho análisis el programa reserva un porcentaje de los registros de ocurrencia. Registros que luego son utilizados para verificar el modelo, identificando si las regiones donde se ubican los registros reservados fueron adecuadamente predichas como regiones habitables.

De dicha verificación se establece si el modelo manifiesta mejores predicciones que el azar, relacionando la proporción de falsos negativos (cuando un registro de presencia se ubica en una región donde el modelo considera inhabitable) con la proporción de verdaderos positivos (cuando el modelo acertó clasificando la región como habitable justo donde se ubica un registro de ocurrencia reservado para la validación).

2.4.7. Análisis multivariado

Las salidas del modelo ayudarán no solo a proyectar la distribución potencial de las especies en un formato interpretable, sino que, además, a través de un análisis multivariado denominado Jackknife se “midió” el aporte de cada variable para el modelo, esto se entenderá como la importancia que tiene cada variable sobre la distribución de la especie. Este análisis permitirá definir los parámetros que más limitan el hábitat de cada especie en particular, abriendo la posibilidad de predecir el comportamiento de las mismas en el tiempo, su adaptabilidad en regiones inhabitadas, etc.

El análisis Jackknife básicamente cuantifica la ganancia acumulada mientras hace iteraciones permutando con cada una de las variables. Cuantifica la ganancia corriendo el modelo solo con una variable y luego con todas las variables menos ella, y así sucesivamente con todas. Las pruebas Jackknife para cada especie se encuentran en anexos.

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1. Selección de especies

Surge de la intervención de los criterios de selección definidos en la metodología y de la disponibilidad de información para cada especie considerada candidato (cuadro 9). Para la identificación de los nombres científicos actualizados, se utilizó la base de datos en línea “www.theplantlist.org” siendo una página de acceso libre donde puede consultarse la sinonimia y el estado de aceptación de la especie.

Cuadro 9. Listado de especies seleccionadas para el modelado de la distribución.

No.	ESPECIE	FAMILIA	NOMBRE COMUN	CRITERIO DE SELECCIÓN
1	<i>Aspidosperma megalocarpon</i> Müll.Arg.	Apocynaceae	Chichique	UICN redlist 1998
2	<i>Andira inermis</i> (Wright) DC.	Fabaceae	Almendro cimarrón	Nitrogenación de suelos
3	<i>Brosimum costaricanum</i> Liebm.	Moraceae	Ramón/Ujushte	Importancia ecológica y cultural
4	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Burseraceae	Palo de jiote/Indio desnudo	Importancia para la restauración
5	<i>Calophyllum brasiliense</i> var. <i>rekoi</i> (Standl.) Standl.	Sapotaceae	Palo mario	LEA 3

Continuación cuadro 9.

6	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	Cedro	Madera preciosa
7	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	Boraginaceae	Laurel	Relevancia en estudios de la región
8	<i>Diphysa americana</i> (Mill.) M.Sousa	Fabaceae	Guachipilín	Nitrogenación de suelos
9	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	Mimosaceae	Conacaste	LEA 3
10	<i>Ficus aurea</i> Nutt.	Moraceae	Amate	Importancia ecológica
11	<i>Ficus costaricana</i> (Liebm.) Miq.	Moraceae	Amate	Importancia ecológica
12	<i>Ficus insipida</i> Willd.	Moraceae	Amate	Importancia ecológica
13	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	Fabaceae	Madrecacao	Nitrogenación de suelos
14	<i>Handroanthus guayacan</i> (Seem.) S.O.Grose	Bignoniaceae	Guayacan	Importante fuente para polinizadores
15	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Caesalpinaceae	Guapinol	Importante fuente para polinizadores
16	<i>Inga edulis</i> Mart.	Mimosaceae	Cuje	Aporte Nitrógeno al suelo

Continuación cuadro 9.

17	<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.	Mimosaceae	Caspirol	Aporte Nitrógeno al suelo
18	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	Moraceae	Mora	LEA 3
19	<i>Nectandra membranacea</i> (Sw.) Griseb.	Lauraceae	Canoj	Importante fuente para polinizadores
20	<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb.	Malvaceae	Corcho	interacción con <i>Artibeus jamaicensis</i>
21	<i>Platymiscium dimorphandrum</i> Donn.Sm.	Fabaceae	Hormigo	LEA 3
22	<i>Poeppigia procera</i> C.Presl	Caesalpiaceae	Tepemisque	Indicador biológico.
23	<i>Quararibea funebris</i> (La Llave) Vischer	Bombacaceae	Molinillo	Indicador biológico.
24	<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	Salicaceae	Sauce	Importante en bosques riparios
25	<i>Simira salvadorensis</i> (Standl.) Steyerm.	Rubiaceae	Puntero	LEA 3
26	<i>Spondias mombin</i> L.	Anacardiaceae	Jocote jobo	Importante fuente para polinizadores
27	<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) H.Karst.	Sterculiaceae	Castaño	LEA 2

Continuación cuadro 9.

28	<i>Swietenia humilis</i> Zucc.	Meliaceae	Caoba	Madera preciosa
29	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	Bignoniaceae	Matilisguate	Importante fuente para polinizadores
30	<i>Terminalia oblonga</i> (Ruiz & Pav.) Steud.	Combretaceae	Volador	Madera valiosa

Es importante tomar en cuenta que no se consideró ningún tipo de interacción interespecífica. El estudio se rige por las características de un enfoque autoecológico, también conocido como “ecología de poblaciones”, estudiando la distribución potencial de las especies de manera individual a partir de su relación con el ambiente, lo cual se busca interpretar con la distribución geográfica registrada, la información climática, edáfica y fisiográfica de una extensión definida.

Esto derivado de muy poca información histórica, la mayoría de bosques naturales de la región fueron removidos desde hace varios siglos y desafortunadamente no se registró información concluyente ni existen grandes colecciones en herbarios que permitan resolver dudas en torno a sinonimias con otras especies reportadas con nombre no oficiales o desactualizados. Con este fin la fuente histórica más importante y de mayor objetividad científica es la “Flora de Guatemala” que contiene diagramas, sinonimias y descripciones profundas.

Sin embargo, al utilizar registros de la distribución “natural” de la especie, se incluye indirectamente la influencia de las asociaciones vegetales o faunísticas que la especie puede tener en su medio, pero estudiarlas requieren alcances sinecológicos complejos y estudios de comunidades vegetales y faunísticos.

2.5.2. Resultado análisis de autocorrelación

Fueron seleccionadas 21 de las 83 variables propuestas inicialmente posterior a un análisis de autocorrelación lineal. De todas aquellas variables con un coeficiente de Pearson mayor a 0.8 se seleccionó la variable cuya interpretación es considerada más sencilla en una discusión de resultados. En el cuadro 10 se presenta el listado de variables seleccionadas.

Cuadro 10. Descripción de variables seleccionadas.

NO.	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONAL
1	cecsol_sl1	Capacidad de intercambio catiónico (estrato 0 cm - 5 cm de profundidad, a un pH de 7)	cmolc/kg
2	bldfie_sl1	Media de la densidad aparente (estrato de 0 cm - 5 cm de profundidad)	kg/m ³
3	Bdrlog	Probabilidad de ocurrencia del horizonte R	%
4	Bdrbcm	Profundidad roca madre hasta 240 cm	cm
5	wc2.0_bio_18	Precipitación del trimestre más cálido	mm
6	orcdrc_sl1	Contenido de carbono orgánico (estrato de 0 cm - 5 cm de profundidad)	‰
7	clyppt_sl3	Proporción de arcilla (estrato de 15 cm - 30 cm de profundidad)	%
8	ocstha_sd1	Carbono orgánico almacenado (estrato de 0 cm - 5 cm de profundidad)	Tn/ha
9	crfvol_sl6	Volumen medio de fragmentos gruesos (estrato de 100 cm - 200 cm de profundidad)	%
10	phihox_sl1	pH en agua (0 cm - 5 cm de profundidad)	pH * 10

Continuación cuadro 10.

11	orcdrc_sl2	Contenido de carbono orgánico (estrato de 5 cm - 15 cm de profundidad)	‰
12	wc2.0_bio_19	Precipitación del trimestre más frío	mm
13	sltppt_sl7	Proporción de limo (estrato de 100 cm - 200 cm de profundidad)	%
14	sndppt_sl2	Proporción de arena (estrato de 5 cm - 15 cm de profundidad)	%
15	wc2.0_bio_3	Isotermalidad. Índice de variabilidad de la temperatura (Razón del rango diario promedio con respecto al rango anual)	Adimensional
16	wc2.0_bio_16	Precipitación del trimestre más lluvioso	Mm
17	wc2.0_bio_15	Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)	Adimensional
18	wc2.0_bio_14	Precipitación del mes más seco	Mm
19	wc2.0_bio_7	Rango anual de temperatura (Temperatura máxima del mes más cálido menos la temperatura mínima del mes más frío)	°C
20	wc2.0_bio_6	Temperatura mínima del mes más frío	°C
21	wc2.0_bio_5	Temperatura máxima del mes más cálido	°C

Es importante observar que en las variables edáficas (las cuales eran más abundantes por dividirse en 6 estratos por variable), la información es más independiente en los estratos superiores del suelo, probablemente porque las capas superiores son las que mantienen una interacción más directa y frecuente con las actividades naturales y humanas.

2.5.3. Modelos de distribución potencial

2.5.3.1. *Aspidosperma megalocarpon* Müll.Arg.

Familia: Apocynaceae; Nombre común: Chichique; Número de registros: 70

Interpretación de los modelos: Los modelos muestran la idoneidad en función a la probabilidad de 0 a 1, siendo 1 las áreas con mejores condiciones y 0 las áreas con peores condiciones. Los colores más cálidos (rojos) muestran áreas con “idoneidad de nicho”, las áreas verdes muestran los típicos lugares donde la especie actualmente habita (según los registros de presencia) y los lugares azules muestran áreas con las peores condiciones de habitabilidad para la especie. Los puntos blancos muestran los registros de presencia usados para el entrenamiento del modelo, los puntos violetas muestran los registros utilizados en las pruebas (figura 8).

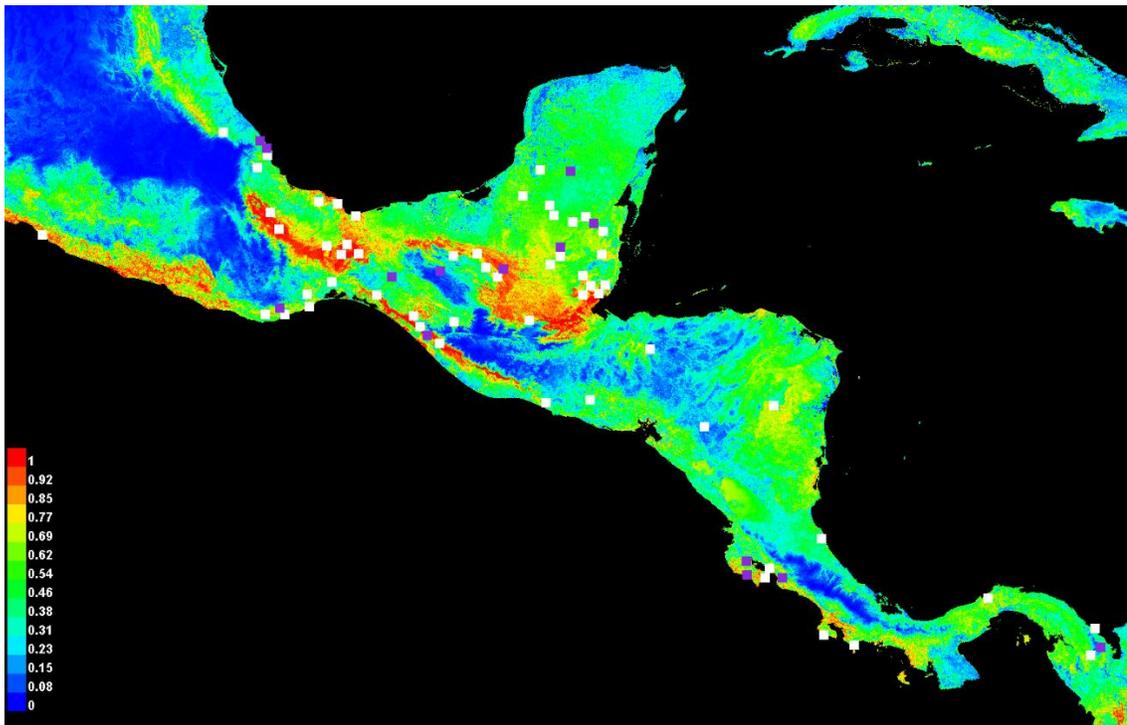
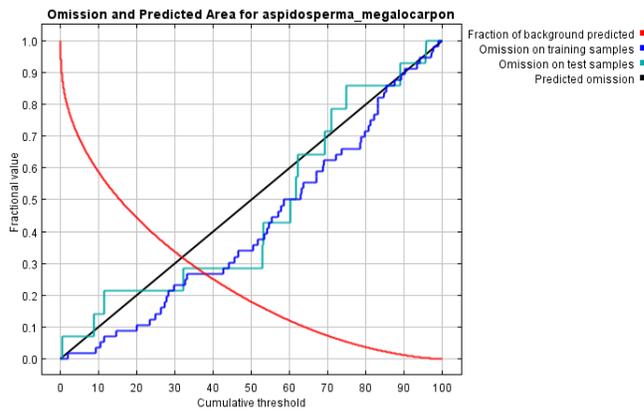


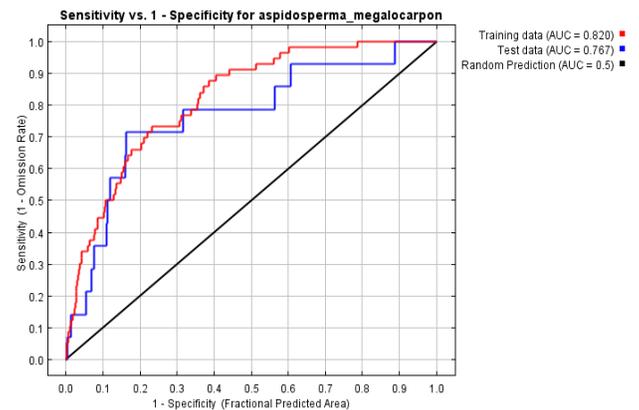
Figura 8. Modelo de distribución potencial de *Aspidosperma megalocarpon*.

Para interpretar adecuadamente el modelo debe evaluarse con el área bajo la curva o area under de curve (AUC) para la prueba ROC y la gráfica de la tasa de omisión y el área predicha (cuadros 11 y 12). Mientras las líneas de tasa de omisión para las muestras de entrenamiento y prueba del modelo se encuentren más cercanas a la línea de omisión predicha, el modelo puede considerarse más adecuado.

Cuadro 11. Tasa de omisión y área predicha para *Aspidosperma megalocarpon*



Cuadro 12. Evaluación de la curva ROC para *Aspidosperma megalocarpon*



Por otro lado, con la gráfica de la curva ROC se espera que tanto la curva para los datos de entrenamiento como la de los datos de prueba se acerquen más al valor 1 del eje vertical (sensitivity). Ya que mientras más se acerquen a la esquina superior izquierda podría interpretarse que el modelo predice mucho mejor que lo esperado por el azar. Ambas gráficas son elaboradas en MAXENT.

En la figura 9, se muestra un acercamiento del modelo a la Vertiente de Pacífico de Guatemala. Según el modelo, el nicho adecuado de la especie se encuentra en la conocida “boca costa” del país, sobreponiendo el mapa de zonas de vida de Holdridge para Guatemala (IARNA-URL, 2018) encontramos que la región “habitable” coincide con las zonas coloreadas de rojo a verde en las figuras 9 y 10.

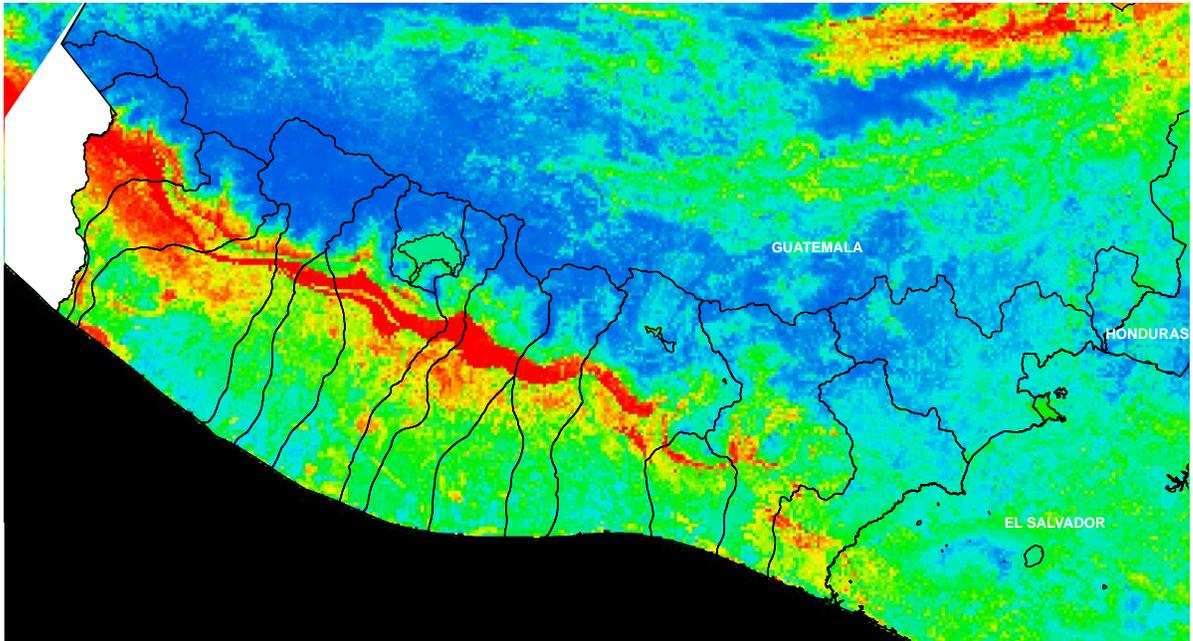


Figura 9. Distribución potencial de *Aspidosperma megalocarpon* en la vertiente del Pacífico de Guatemala.

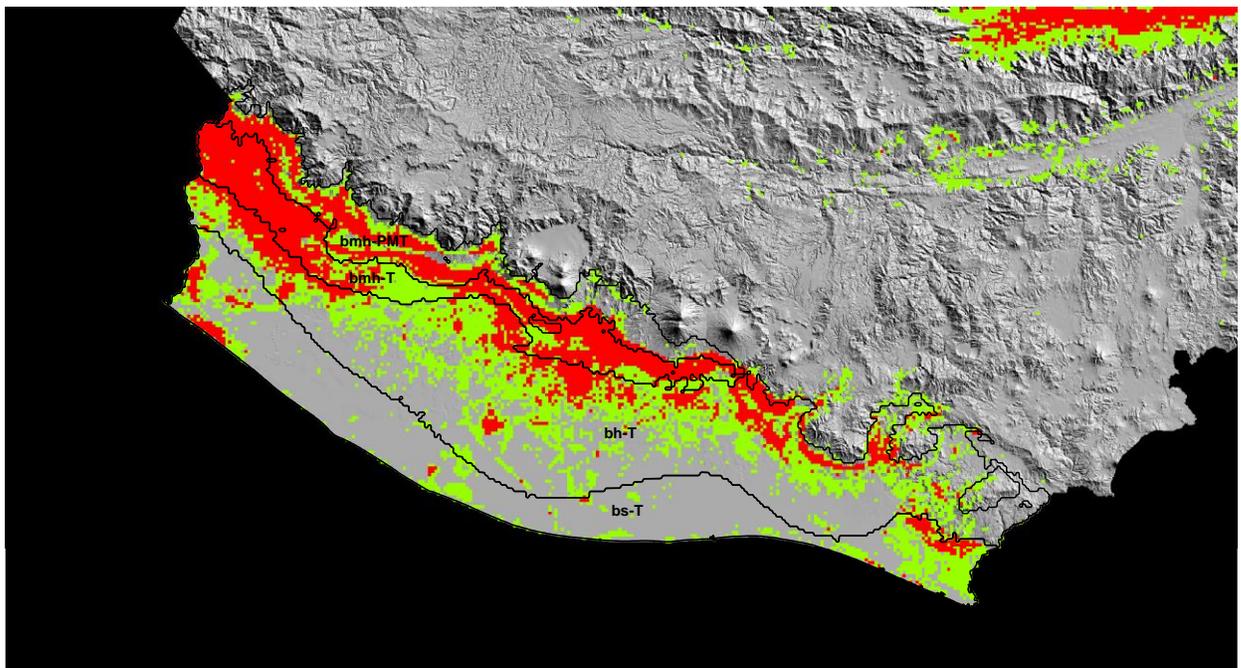
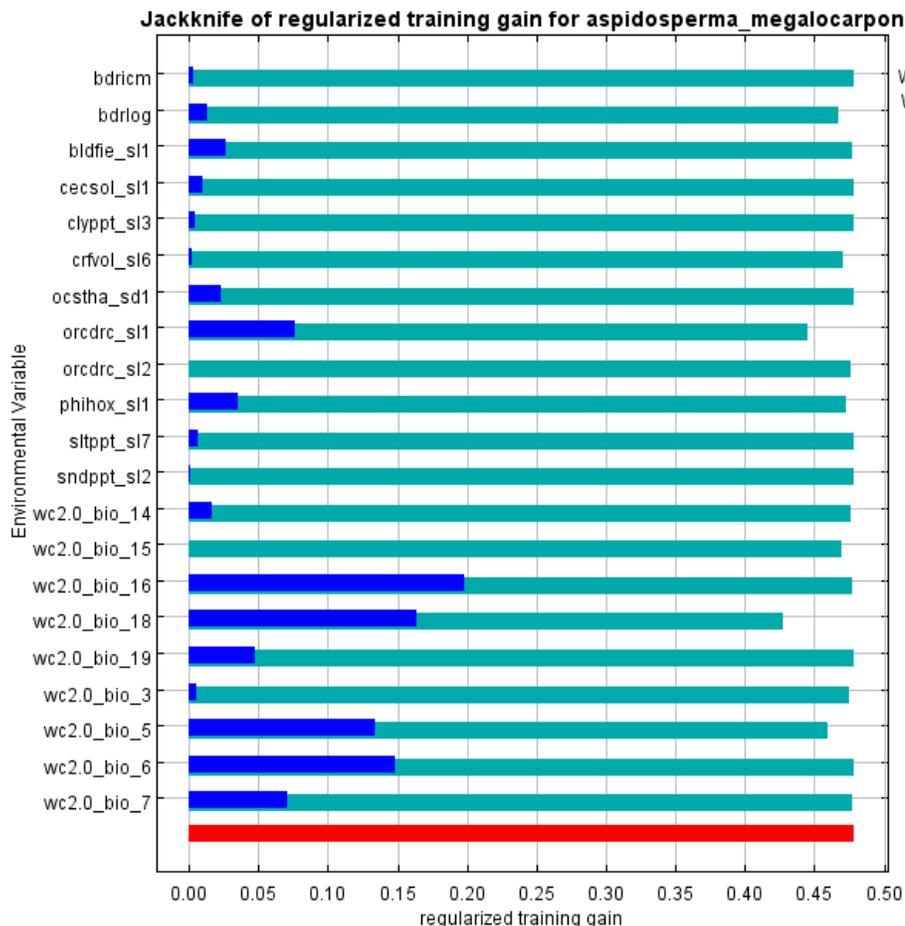


Figura 10. Modelo de distribución potencial de *Aspidosperma megalocarpon* y las Zonas de Vida de Holdridge.

Dada la afinidad de la distribución potencial de la especie con las zonas de vida, podríamos interpretar que la especie puede fácilmente adaptarse a las condiciones que brinda el bosque muy húmedo premontano y el bosque muy húmedo tropical. Además, con unas condiciones relativamente favorables (las cuales deben ser estudiadas) podría adaptarse al bosque húmedo tropical y con menor probabilidad, al bosque seco tropical. Como un complemento a la distribución potencial probabilística generada por Maxent, se incluye un análisis multivariado Jackknife (cuadro 13), el cual describe la importancia de cada variable para el modelo y para la especie.

Cuadro 13. Prueba Jackknife para *Aspidosperma megalocarpon*.



Asumiendo que las variables no cuentan con una autocorrelación significativa (que afecte el análisis), podemos interpretar lo siguiente: Esta gráfica muestra los resultados de la prueba de Jackknife para medir la importancia de las variables en el modelo de distribución potencial para *Aspidosperma megalocarpon*. Básicamente podemos observar que la línea roja en la parte inferior establece la ganancia total del modelo final, y para cada variable incluida se extiende una barra que expresa la ganancia acumulada cuando se modeló con ella de manera aislada y cuando se excluyó del modelo.

La variable ambiental que generó mayor ganancia cuando fue utilizada de manera aislada es “wc2.0_bio_16” (precipitación del trimestre más lluvioso), que, por lo tanto, parece tener la información más útil por sí sola. La variable ambiental que redujo más la ganancia cuando fue omitida es “wc2.0_bio_18” (precipitación del trimestre más cálido), lo cual indica que tiene la mayor cantidad de información que no está presente en otras variables.

Esto indica que la especie debe ser dependiente de un régimen de lluvia específico, probablemente a las precipitaciones de las zonas de vida de bosque muy húmedo premontano y el bosque muy húmedo tropical. Además, se generó una ganancia significativa cuando se modeló con las variables bio_5 y bio_6, las cuales contienen los valores máximos y mínimos de temperatura, lo cual indica que la especie es sensible a rangos de temperatura específicos y probablemente relacionados con las zonas de vida previamente citados.

2.5.3.2. *Andira inermis* (Wright) DC.

Familia, nombre común, número de registros: Fabaceae, Almendro cimarrón, 195.

Utilizado principalmente en construcciones por su madera cuyas propiedades de dureza son deseables en las regiones tropicales donde la especie se distribuye (figura 11). Además, es una importante fuente de alimento y hospedaje para murciélagos y sus flores son visitadas por una gran diversidad de pájaros y abejas. (CATIE-IFO, 2003).

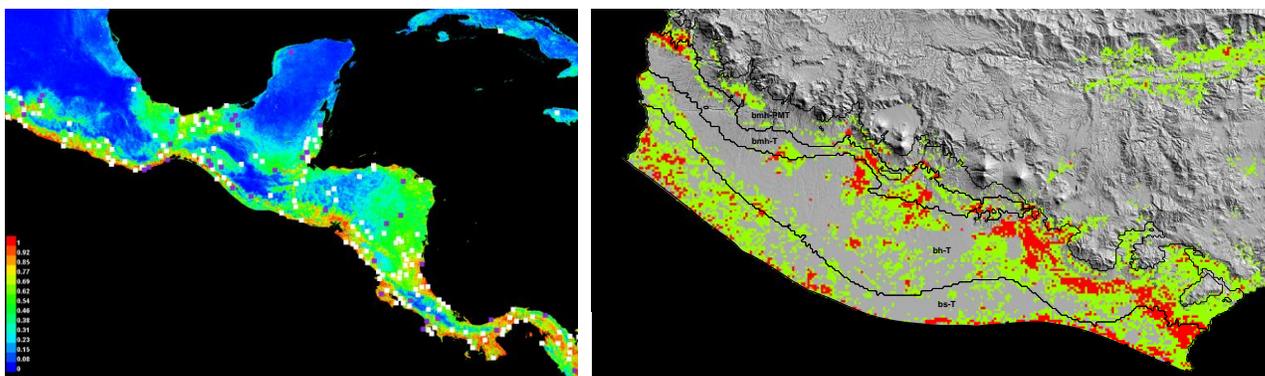


Figura 11. Modelo de distribución potencial de *Andira Inermis*.

Las líneas de omisión de las muestras de entrenamiento y de prueba del modelo se encuentran adecuadamente alineadas a la omisión predicha. Además, en la evaluación de la curva ROC el área bajo la curva es de 0.84, lo cual manifiesta que la capacidad de predicción del modelo es mucho mejor a la esperada por azar. La figura 9 muestra el modelo seleccionado, el cuál manifiesta una idoneidad de nicho con mayor probabilidad de habitabilidad en las regiones suroriente y suroccidente del país, más específicamente en la frontera sur con El Salvador y en la frontera sur con México. Dichas regiones se caracterizan por condiciones más secas, ya que se incluyen en la zona de vida de bosque seco tropical.

Las regiones habitables por la especie son compatibles con las condiciones de las zonas de vida: bosque muy húmedo premontano, el bosque muy húmedo tropical, bosque húmedo tropical y bosque seco tropical. Pero con mejores condiciones en sur oriente del país. La distribución ideal no muestra un patrón de correlación evidente con alguna de las zonas de vida descritas. Y parece que la especie puede distribuirse de una manera bastante heterogénea en las regiones cálidas tropicales del país.

La prueba Jackknife indica que “bio_6” (temperatura mínima en el mes más frío) es la variable que contiene más información útil por sí sola, seguida por “bio_7” (rango de temperatura), esto indica que la temperatura mínima juega un papel importante para explicar la distribución de la especie.

Además, la ganancia se redujo más cuando del modelo se excluyeron las variables “cecsol_sl1” (capacidad de intercambio catiónico para el estrato de 0 cm - 5 cm de profundidad) y “bio_19” (precipitación en el mes más frío), indicando que la presencia de arcillas y la intensidad de lluvia durante el mes más frío aportan la mayor cantidad de información que no está contenida en otras variables.

En conclusión, la especie debe de ser susceptible a las bajas en la temperatura. Es decir, no se adapta adecuadamente a regiones con un rango amplio de temperaturas durante el año. Por ello la tendencia en la distribución está a favor del suroriente donde la temperatura es cálida y además, más homogénea durante el año.

2.5.3.3. *Brosimum costaricanum* Liebm.

Familia, nombre común: Moraceae, Ujushte, Ramón.

Número de registros: 21 (17 registros utilizados para el entrenamiento del modelo y 4 para la prueba)

Existe muy poca información sobre las propiedades nutricionales potencialmente benéficas de esta especie, en la Costa Sur de Guatemala se encontraron ejemplares de dimensiones importantes, además, la gran cantidad de frutos producidos son alimento para una gran cantidad de fauna.

El modelo podría considerarse adecuado (figura 12), pero es recomendado aumentar la cantidad de datos de registros empleados. En Guatemala encontramos dos especies del género *Brosimum*, el primero y más estudiado es *Brosimum alicastrum* Sw., el cual se encuentra distribuido ampliamente en la región norte del país. En Petén, la especie es conocida comúnmente como Ramón y ha sido objeto de estudio con una diversidad de fines nutricionales y medicinales. Mientras, su homónimo en la costa sur, *Brosimum costaricanum* Liebm., conocido comúnmente como Ujushte, no ha sido objeto de interés científico ni comunitario. Son aislados los casos donde alguna comunidad haya desarrollado alguna tradición alimenticia empleando los frutos del Ujushte.

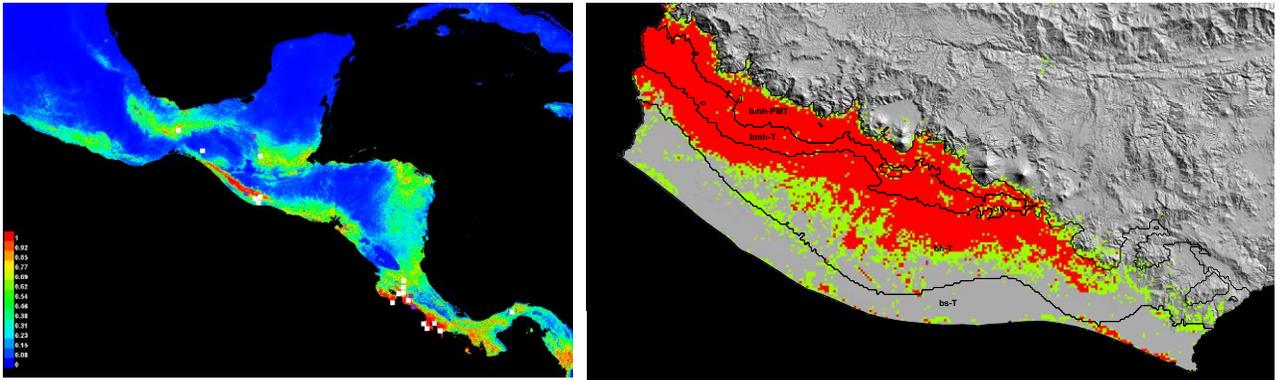


Figura 12. Modelo de distribución potencial de *Brosimum costaricanum* Liebm.

Sin embargo, sus propiedades demuestran un potencial interesante que amerita su estudio y restauración en la costa sur del país. Para lo cual se recomienda ampliar la cantidad de registros. El modelo con una cantidad de registros bastante baja, estima un hábitat óptimo para la especie en dos regiones de Centroamérica, la primera en la boca costa que se extiende en una región transversal desde la región sur-central de Guatemala hasta el occidente en el sur de México. Y la segunda en la vertiente del Pacífico de Costa Rica y parte de Panamá. Las zonas de vida afines a la distribución potencial de *Brosimum costaricanum* Liebm. son: Bosque muy húmedo premontano, bosque muy húmedo tropical, y bosque húmedo tropical.

En la prueba de Jackknife la variable que generó mayor ganancia por sí sola fue “bio_16” (precipitación del trimestre más lluvioso), así que dicha variable es la que explica mejor (de manera aislada) la distribución de la especie *Brosimum costaricanum*. De igual forma, la ganancia se redujo más cuando se excluyó la variable “bio_16” del modelo, eso ayuda a confirmar que la información contenida en la variable “precipitación del trimestre más lluvioso” no se encuentra en otra variable. Con esto podemos interpretar que la especie es dependiente de un régimen de precipitaciones altas, precipitaciones características de bosques tropicales muy húmedos.

2.5.3.4. *Bursera simaruba* (L.) Sarg.

Familia: Burseraceae; Nombre común: Palo de jiote / indio desnudo; número de registros: 444 (400 registros utilizados para el entrenamiento del modelo y 44 para la prueba)

La especie *Bursera simaruba* se constituye como una especie que se encuentra en casi todos los ecosistemas forestales de Guatemala, tanto por su amplio rango de distribución natural como por su empleo tradicional para límites y cercos, aprovechando su capacidad de rebrote y reproducción asexual. El modelo presentado a continuación (figura 13) fue estimado a partir de una gran cantidad de registros de ocurrencia y un 10 % de dichos datos fueron utilizados para verificar el modelo a través de la curva de ROC. Por lo cual podría considerarse dicho modelo como adecuado, dado que la capacidad de predicción del modelo demostró ser mejor que la esperada por azar.

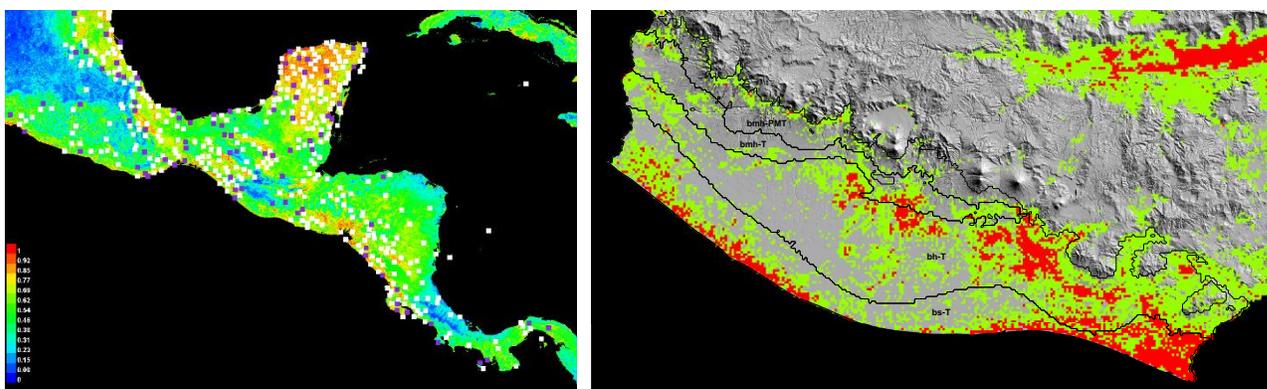


Figura 13. Modelo de distribución potencial de *Bursera simaruba*.

Se distribuye por las zonas de vida cálidas, sin embargo, su hábitat óptimo se concentra en algunas regiones áridas y semiáridas como el norte de Yucatán, al igual que en el nororiente de Guatemala en el conocido Monte Espinozo y en la región árida del Polochic, así como en el sur oriente de Guatemala en límite con El Salvador.

Así mismo la especie habita casi en su totalidad las regiones cálidas de la vertiente del Pacífico de Guatemala, y al contrario del resto de especies analizadas hasta el momento, *Bursera simaruba* muestra un incremento en la idoneidad de nicho a favor de las regiones más áridas. Encontramos una mayor idoneidad de hábitat en la zona de vida bosque seco tropical y también en el bosque húmedo tropical con mayor probabilidad en la región oriental.

La prueba Jackknife nos permite interpretar que las variables que mejor explican la distribución de la especie (aportando mayor ganancia cuando se modeló con ellas de manera aislada) fueron “bio_5”, “bio_6” y “bio_7”, la primera variable describe la temperatura máxima en el mes más cálido, la segunda, la temperatura mínima en el mes más frío y la última es la diferencia entre las dos anteriores y se conoce como rango anual de temperaturas. Con ello podemos asumir que las regiones con temperaturas cálidas y con oscilaciones anuales características de las regiones áridas y semiáridas favorecen su distribución.

Además, cuando del modelo se excluyeron algunas variables edáficas como pH en agua, la densidad aparente del suelo y el porcentaje de arcilla en el suelo, la ganancia disminuyó significativamente. Por ello, podemos inferir que las características edáficas de las regiones áridas y semiáridas (donde el modelo muestra mayor idoneidad), son un factor determinante de las mejores condiciones para la especie.

2.5.3.5. *Calophyllum brasiliense* var. *rekoi* (Standl.) Standl.

Familia: Sapotaceae; Nombre común: Palo Mario; número de registros: 135 (102 registros utilizados para el entrenamiento del modelo y 33 para la prueba)

Calophyllum muestra una distribución de amplio rango (figura 14), coincidiendo con los registros incluidos en el modelo. Desde las regiones cálidas de las costas sur del Pacífico y del Atlántico de México, hasta Panamá. Sin embargo, la mayor idoneidad de nicho se encuentra en las regiones cuyas zonas de vida se constituyen como muy húmedas.

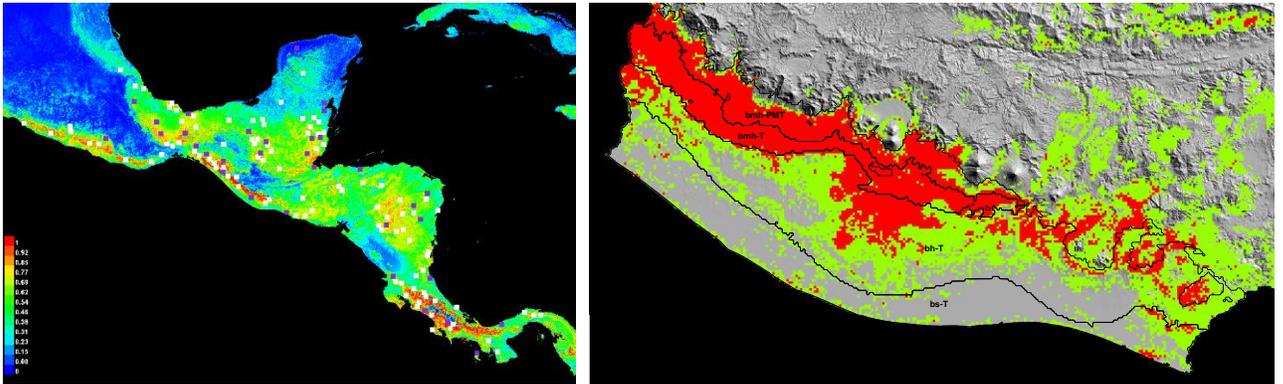


Figura 14. Modelo de distribución potencial para *Calophyllum brasiliense*.

En la costa sur del país la distribución potencial se extiende casi en su totalidad. Sin embargo, en las regiones de la zona de vida bosque seco tropical existe probabilidad menor de habitabilidad según el modelo. Aunque la especie tiene una distribución de rango amplio, responde de manera más adecuada a las condiciones brindadas por las zonas de vida bosque muy húmedo premontano, bosque muy húmedo tropical y aunque en menor extensión en el bosque húmedo tropical. Es probable que la especie manifieste problemas para crecer con normalidad en las regiones próximas o características de un bosque seco tropical.

La prueba Jackknife permite identificar que utilizando solamente la información contenida en las variables “bio_16” (precipitación del trimestre más lluvioso) y “phihox_sl1” (pH en agua en el estrato de 0 cm - 5 cm de profundidad), el modelo genero ganancia significativa. Así mismo, cuando del modelo se excluyeron las variables “bio_6” y “phihox_sl1”, la ganancia se redujo de manera significativa.

Con ello podemos interpretar que, aunque la especie tenga un amplio rango de distribución, encuentra una mayor idoneidad de nicho en regiones cuya precipitación y las condiciones edáficas de pH sean similares a las que se encuentran en las zonas de vida de bosque muy húmedo premontano y bosque muy húmedo tropical.

2.5.3.7. *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken

La distribución potencial de *Cordia alliodora* es amplia (figura 16), la especie habita la mayoría de regiones cálidas de Mesoamérica. Apparently, the species tolerates conditions of low precipitation since its distribution is limited in a large proportion to bs-T and bh-T. Its ideal distribution coincides only partially with the life zones. The Jackknife test allows identifying that the variables that, in isolation, explain better the distribution of the species are "bio_16" (precipitation of the wettest quarter), "bio_6" (minimum temperature in the coldest month) and "cecsol_sl1" (cation exchange capacity in the 0 cm - 5 cm depth stratum).

Familia, nombre común, número de registros: Boraginaceae, Laurel, 234 registros.

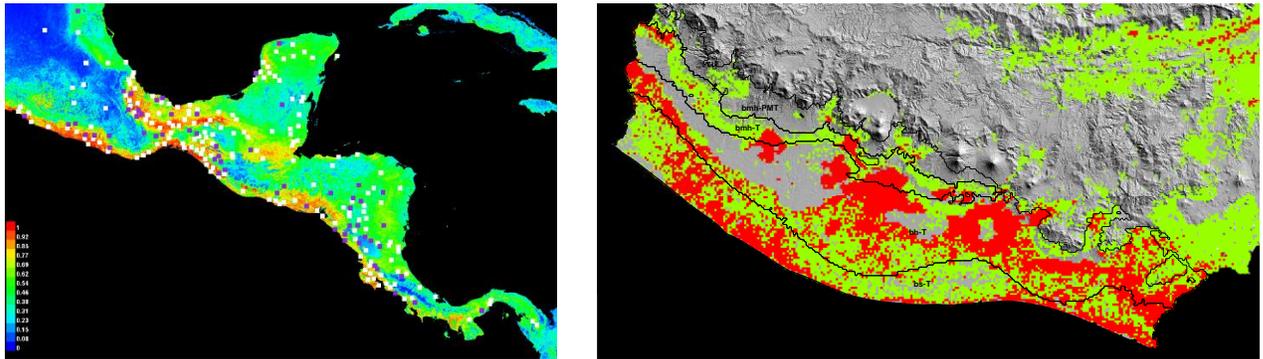


Figura 16. Modelo de distribución potencial de *Cordia Alliodora*.

Podríamos interpretar que la especie requiere condiciones muy específicas de precipitación donde la temperatura mínima no sea muy extrema. Además, la capacidad de intercambio catiónico también fue la variable que redujo más la ganancia del modelo cuando fue excluida del análisis, por ello hay que resaltar que además de las condiciones específicas de precipitación y temperatura, la capacidad de intercambio catiónico juega un papel importante en la identificación de un ambiente ideal para la especie.

2.5.3.8. *Diphyssa americana* (Mill.) M.Sousa

Familia, nombre común, número de registros: Fabaceae, Guachipilín, 135 registros.

El Guachipilín es una especie de la familia de las fabáceas importante para el ecosistema debido a su capacidad de fijación de nitrógeno en el suelo. Su principal producto es la madera, que generalmente se usa en lugares donde se necesita alta resistencia a las condiciones climáticas adversas. En Guatemala, el Guachipilín puede encontrarse como ornamento a elevaciones superiores a los 1,500 m s.n.m, sin embargo, las condiciones ideales de la especie se encuentran en regiones semiáridas con precipitaciones bajas a moderadas (figura 17).

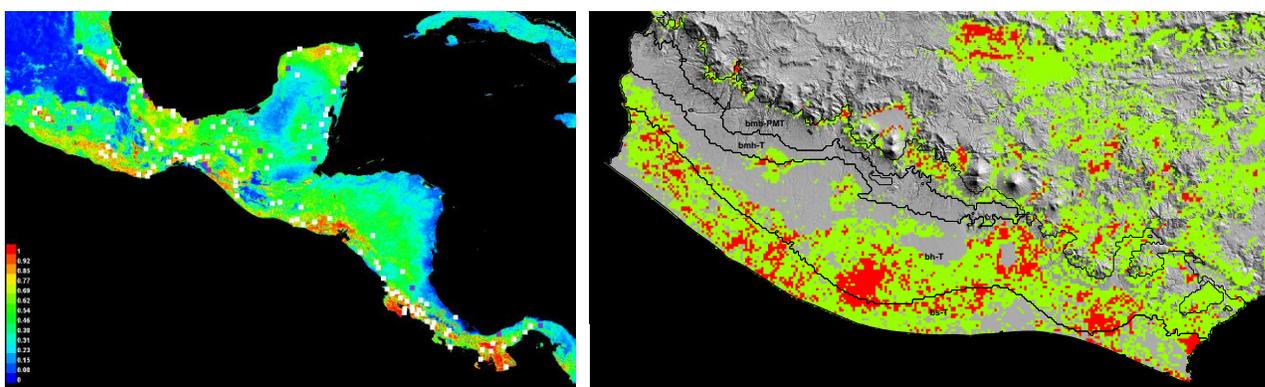


Figura 17. Modelo de distribución potencial de *Diphyssa americana*.

Ninguna de las variables redujo ni aumentó considerablemente la ganancia cuando fue aislada o excluida. Sin embargo, las variables más influyentes según la prueba Jackknife son la temperatura mínima en el mes más frío y la precipitación del trimestre más frío. Lo cual indica que la especie es sensible a las temperaturas bajas, por lo cual, podemos inferir que no se adapta a los bosques muy húmedos premontanos y bosques muy húmedos ya que las temperaturas tienden a descender por temporadas. Para la costa sur, la especie puede ser fácilmente introducida en regiones cuyas temperaturas no oscilen radicalmente a lo largo del año y donde la precipitación sea de moderada a baja.

Estas condiciones se encuentran habitualmente en las partes bajas de la vertiente, donde la zona de vida predominante es la de bosque seco tropical y en las secciones bajas y medias del bosque húmedo tropical, principalmente en el sur-oriental. Los suelos no parecen constituirse como limitantes para la distribución de la especie ya que ninguna variable edáfica influye significativamente en la ganancia del modelo. Técnicamente puede interpretarse que media vez las condiciones de precipitación y temperatura se cumplan, la especie tolerará una gran diversidad de suelos.

2.5.3.9. *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb.

Familia, nombre común, número de registros: Mimosaceae, Conacaste, 185 registros.

En Mesoamérica, *Enterolobium c.* se distribuye desde las regiones semiáridas de bosques secos tropicales hasta los bosques húmedos de boca costa (figura 18). Sin embargo, para la costa sur de Guatemala, su hábitat ideal lo encuentra al sur-oriental en la zona de vida bosque húmedo tropical. Según la prueba Jackknife, podemos interpretar que las condiciones ideales de distribución de la especie están arraigadas a regiones donde la temperatura no desciende drásticamente durante el año.

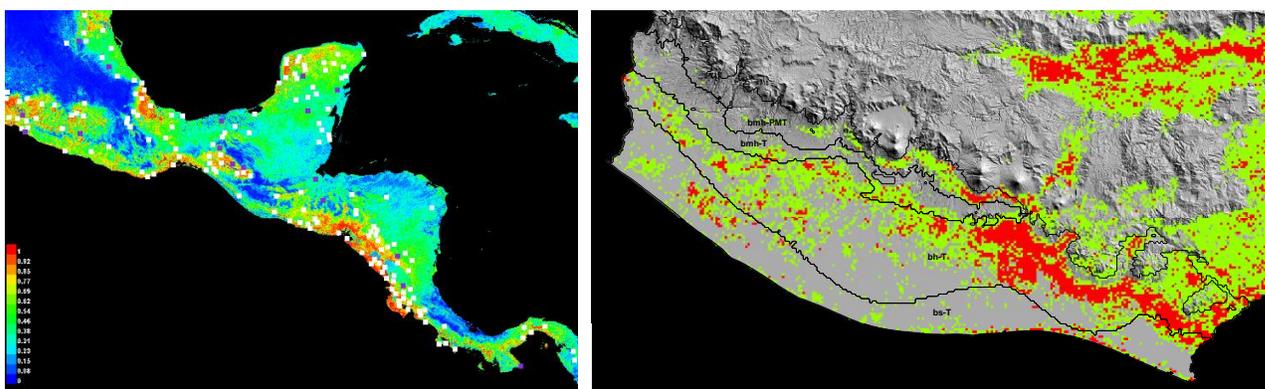


Figura 18. Modelo de distribución potencial de *Enterolobium cyclocarpum*.

Según CONABIO se constituye como una especie secundaria. Es componente frecuente de la vegetación perturbada de las zonas tropicales húmedas y subhúmedas de baja altitud en México y Centroamérica. Es difícil relacionar esta especie con algún tipo de vegetación primaria. Aparentemente se encuentra en asociaciones primarias de selvas medianas subcaducifolias y caducifolias. Crece en zonas perturbadas de selvas altas y medianas.

2.5.3.10. *Ficus aurea* Nutt.

Familia, nombre común, número de registros: Moraceae, Amate, 161 registros.

Ficus es un género perteneciente a la familia Moraceae, grupo que brinda una gran cantidad de servicios ecosistémicos. Desde alimento a fauna silvestre (a través de sus frutos comestibles), hasta hospedaje por la forma intrincada de su fuste y ramas. Su importancia para la biodiversidad de los bosques tropicales es muy alta, por ello, aunque generalmente no existe interés productivo, cualquier plan de restauración ecosistémico debe considerar incluir individuos de este grupo de plantas. *Ficus aurea* Nutt. presenta una distribución arraigada a las regiones más húmedas de Mesoamérica (figura 19).

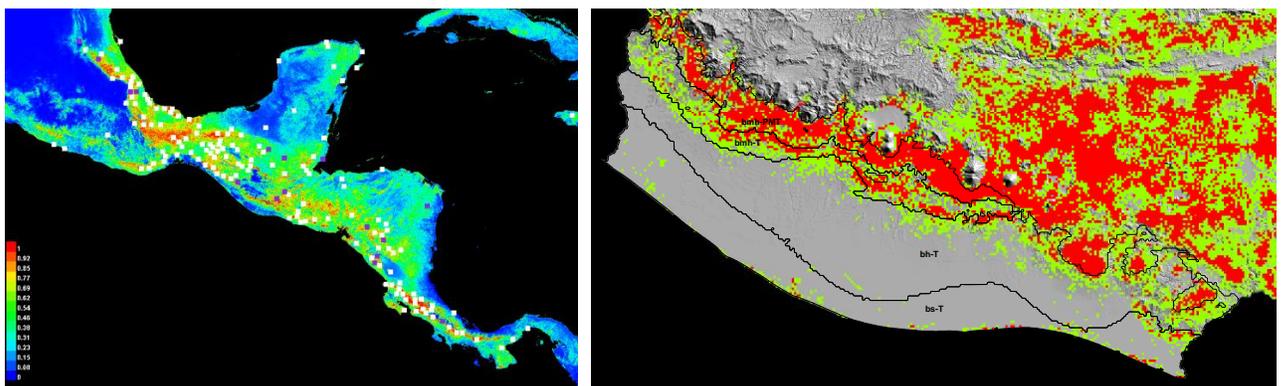


Figura 19. Modelo de distribución potencial de *Ficus aurea* Nutt.

La distribución de *Ficus aurea* está fuertemente asociada con las zonas de vida: Bosque muy húmedo premontano, bosque muy húmedo tropical y bosque húmedo premontano en las cuencas al sur-oriente del país. Además, con menor probabilidad existe la posibilidad de que la especie se adapte en el bosque húmedo tropical. Las variables más son “bio_6” y “bio_7” que contienen información sobre la temperatura mínima en el mes más frío y el rango de temperaturas extremas durante el año. Relacionado con la distribución potencial observada en el modelo, la especie se adapta a regiones con alta precipitación y oscilaciones de rango amplio de temperatura durante el año. Esto significa que tolera ambientes de templados a cálidos, pero no significa que tolere ambientes fríos.

2.5.3.11. *Ficus costaricana* (Liebm.) Miq.

Familia, nombre común, número de registros: Moraceae, Amate, 60 registros.

En Mesoamérica, la especie tiene una amplia distribución potencial, pero las mejores condiciones las encuentra en zonas de vida como: bosque muy húmedo premontano, bosque muy húmedo tropical y bosque húmedo tropical. Dichas condiciones climáticas y fisiográficas son características de la boca costa de Guatemala y de Costa Rica y es por ello que su territorio se constituye casi en su totalidad como “ideal” para *Ficus costaricana*. Para la costa sur de Guatemala, aunque la especie presenta un rango amplio de distribución, las mejores condiciones de habitabilidad se encuentran en las zonas de vida resaltadas en la figura 20.

Las variables que generaron más ganancia cuando fueron analizadas de manera aislada son la precipitación en el trimestre más lluvioso (bio_6), la isotermalidad (bio_3), el pH del suelo (disuelto en agua) y el rango anual de temperatura. Esto nos permite interpretar que la especie se encuentra íntimamente relacionada con el pH del suelo, los regímenes de precipitación, el rango anual de temperatura y el índice de variabilidad de la temperatura en las regiones que el modelo identifica como “ideales” para la especie.

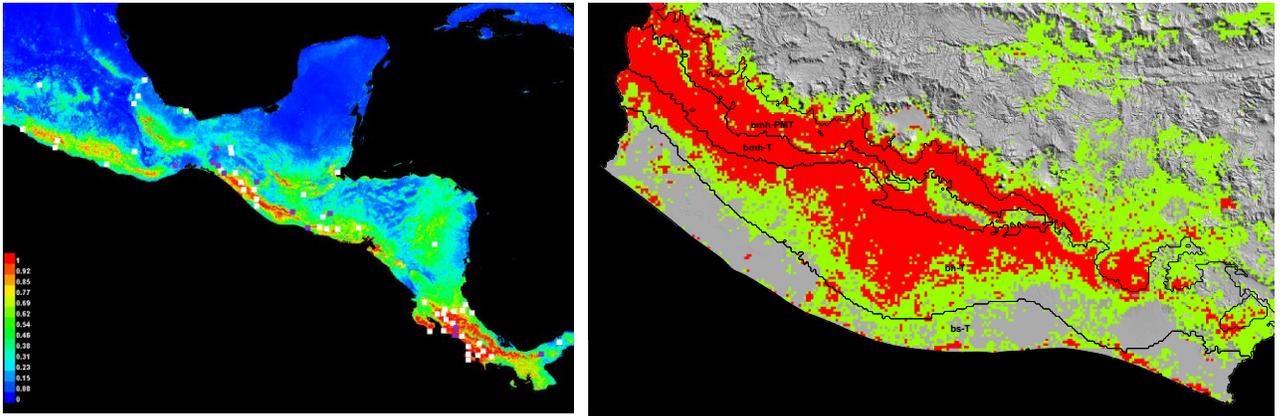


Figura 20. Modelo de distribución potencial de *Ficus costaricana*.

2.5.3.12. *Ficus insipida* Willd.

Familia, nombre común, número de registros: Moraceae, Amate, 244 (220 registros de ocurrencia empleados para el entrenamiento del modelo y 24 registros reservados para la prueba ROC)

A diferencia de las otras especies del género *Ficus* analizadas, *Ficus insipida* Willd. muestra una distribución más restringida, aparentemente, con mejores condiciones en las regiones semiáridas de Mesoamérica (figura 21).

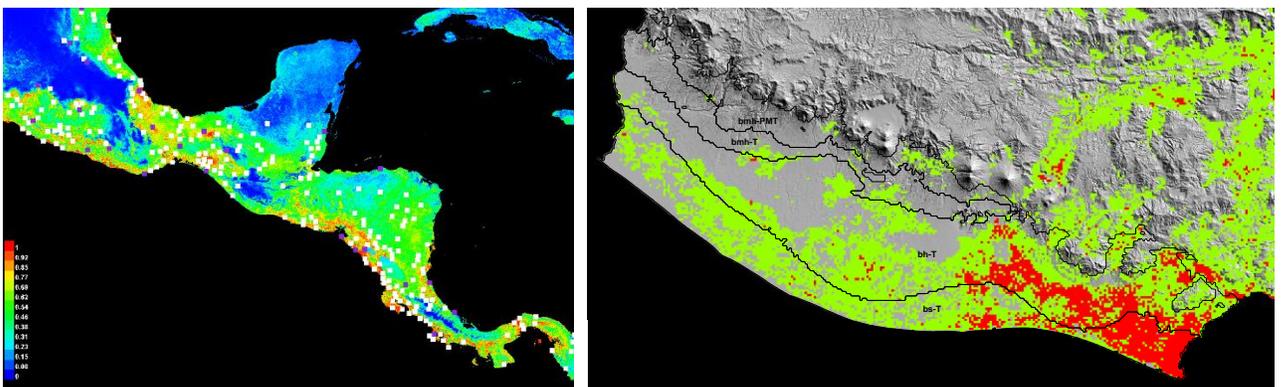


Figura 21. Modelo de distribución potencial de *Ficus insipida* Willd.

Siempre ha existido una intrincada discusión en las sinonimias del género *Ficus*, por ello es muy difícil encontrar una fuente de información que describa las características propias de *Ficus insípida*. Sin embargo, a nivel funcional, este grupo tiende a la complementariedad ecológica.

Las mejores condiciones de habitabilidad se encuentran en regiones semiáridas con una estacionalidad de la precipitación definida. Las temperaturas bajas también inciden de manera significativa en la distribución potencial de la especie ya que su distribución indica preferencia por oscilaciones menos amplias durante el año.

En la costa sur de Guatemala, las mejores condiciones las encuentra en la región sur-oriental, colindante con El Salvador. Sin embargo, la especie también se adapta (con menor idoneidad) al ecotono que divide las zonas de vida bosque seco tropical y bosque húmedo tropical, región que además se caracteriza por pendientes muy bajas. Es importante considerar una especie del género *Ficus* adaptada a las condiciones de aridez como un potencial de restauración importante.

2.5.3.13. *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.

Familia, nombre común, número de registros: Fabaceae, Madrecacao, 279 registros.

Según la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad -CONABIO- de México, Madrecacao es una especie secundaria. Muestra ser muy competitiva y tiene gran capacidad para establecerse como pionera en la regeneración secundaria. Es un árbol abundante en las regiones tropicales. Especie con potencial para reforestación productiva en zonas secas y áridas. Es una de las especies multipropósito más populares en el área centroamericana con amplio potencial para la reforestación. Madrecacao tiene una distribución potencial bastante amplia y sus condiciones ideales las encuentra en algunas regiones como en la península de Yucatán y en el Pacífico mexicano al pie de la Cordillera Centroamericana y de la Sierra Madre del Sur (figura 22).

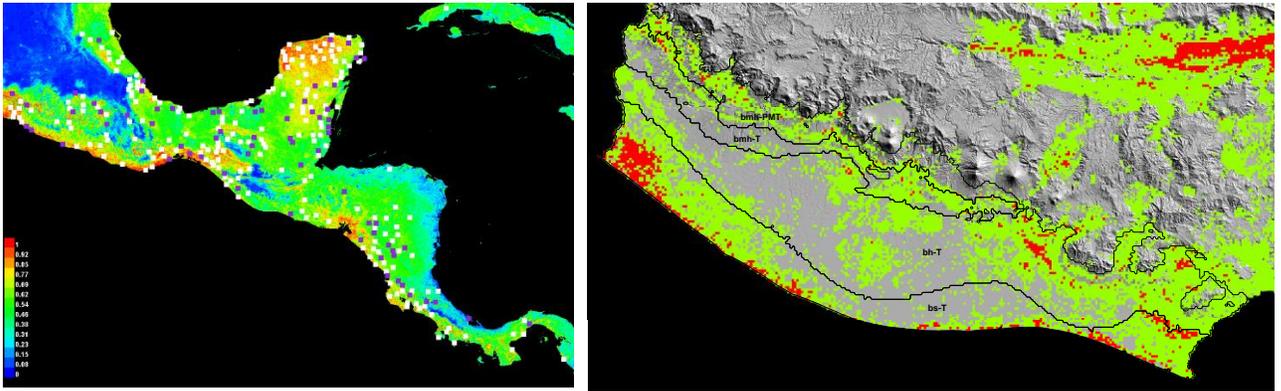


Figura 22. Modelo de distribución potencial de *Gliricidia sepium*.

En Guatemala, bajo las condiciones del monte espinoso, al pie de la Sierra de las Minas en el oriente del país y en algunas regiones del bosque seco tropical. Aunque la especie tolera una gran amplitud de temperaturas y se adapta a ambientes desde el nivel del mar hasta bosques muy húmedos premontanos, prefiere condiciones de aridez como las que se encuentran en el bosque espinoso en el oriente del país.

La variable que más ganancia aportó al modelo para describir la distribución potencial de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. es la temperatura mínima en el mes más frío (bio_6), tanto cuando se modeló solamente con ella como cuando se excluyó del análisis.

2.5.3.14. *Handroanthus guayacan* (Seem.) S.O.Grose

Familia: Bignoniaceae

Nombre común: Guayacan

Numero de registros: 56 (42 registros de ocurrencia empleados para el entrenamiento del modelo y 14 registros reservados para la prueba ROC)

Handroanthus guayacan encuentra las mejores condiciones de habitabilidad en las llanuras costeras del Golfo sur de México, en las tierras bajas de Petén, e la región nororiental de Honduras y Nicaragua y en las tierras bajas de Costa Rica y Panamá (figura 23).

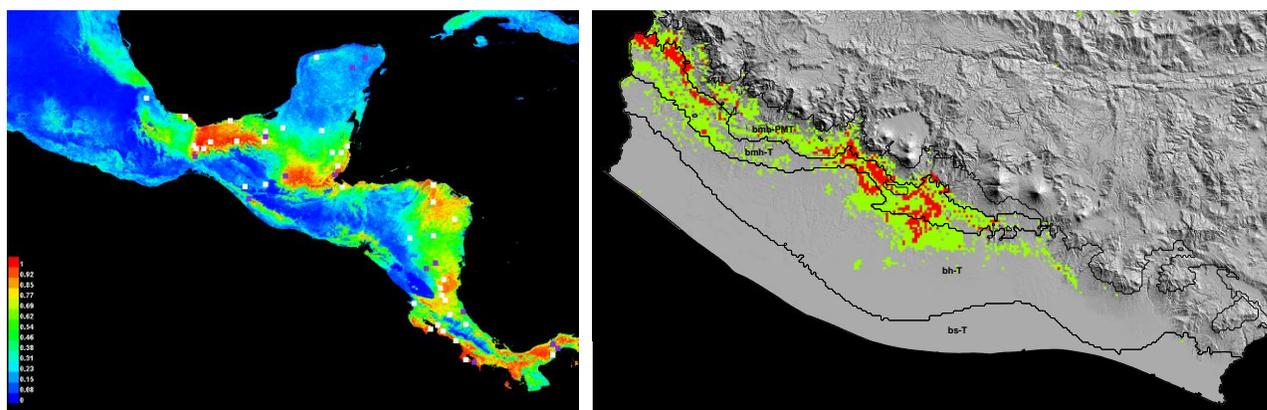


Figura 23. Modelo de distribución potencial para *Handroanthus guayacan* (Seem.) S.O.Grose.

Las variables que más información aportaron para el modelo de distribución potencial de *Handroanthus guayacan* fueron aquellas relacionadas con la precipitación, principalmente la “precipitación del trimestre más frío”. Probablemente las condiciones ideales de la especie son más intensas (en términos de lluvia) y específicas que las disponibles en las zonas de vida de bosque muy húmedo premontano y bosque muy húmedo tropical. Sin embargo, es muy probable que la especie se adapte sin problemas a dichas zonas de vida mencionadas e incluso al bosque húmedo tropical que se extiende por gran parte de las planicies costeras del pacífico.

En Guatemala, las condiciones ideales para *Handroanthus guayacan* se encuentran en el bosque húmedo tropical al sur de Petén, norte de Quiché, norte de Alta Verapaz y noroccidente de Izabal.

2.5.3.15. *Hymenaea courbaril* L.

Familia: Caesalpinaceae; Nombre común: Guapinol

Número de registros: 121 (97 registros de ocurrencia empleados para el entrenamiento del modelo y 24 registros reservados para la prueba ROC)

Hymenaea courbaril L. demuestra preferencia en las regiones costeras del Pacífico de Mesoamérica, principalmente bajo la Sierra Madre del Sur en México, en los bosques muy húmedos premontanos de Guatemala, y en las regiones bajo la cordillera centroamericana (figura 24).

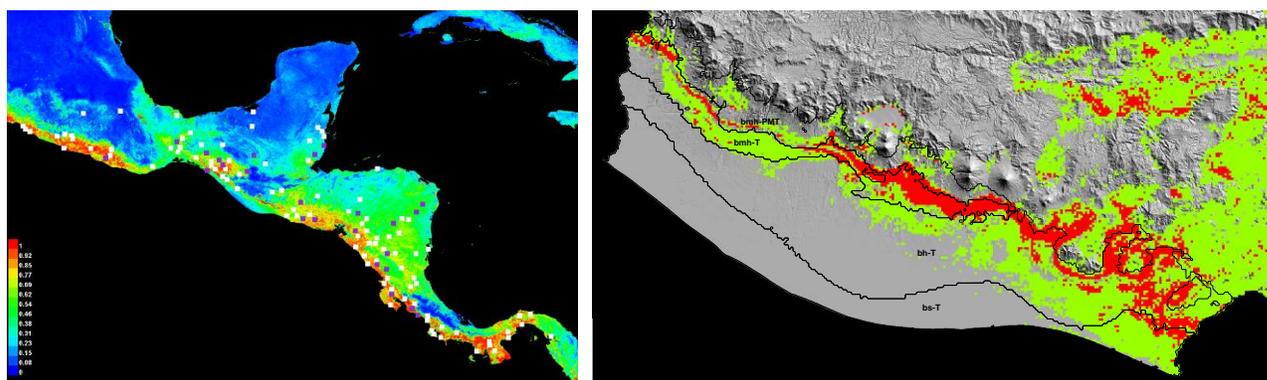


Figura 24. Modelo de distribución potencial de *Hymenaea courbaril* L.

En la distribución potencial de esta especie tienen influencia significativa tanto algunas las variables climáticas (el rango anual de temperatura, la isothermalidad y algunas variables que contienen información estacional de la precipitación), como algunas variables edáficas (la capacidad de intercambio catiónico y el pH del suelo). Estas interacciones entre las variables nos sirven para entender por qué las mejores condiciones no responden totalmente a las zonas de vida según Holdridge para la costa sur del país. Este tipo de especies son consideradas especies de distribución restringida, ya que cuando más de un tipo de variable de distinta naturaleza (edáficas, climáticas, fisiográficas y/o biológicas) interactúan, las regiones con mejores condiciones tienden a rarificarse.

2.5.3.16. *Inga edulis* Mart.

Familia, nombre común: Mimosaceae, Cuje.; Número de registros: 48.

Son varios los usos que se dan a los productos obtenidos de esta especie, representativa del género en América Central. Se usa para postes, leña, carbón y la pulpa blanca y carnososa que rodea las semillas es comestible y dulce, por lo que los frutos aún se comercian en los mercados de algunas ciudades y pueblos. (CATIE-OFI, 2003).

Las mejores condiciones de distribución las encuentran en Costa Rica y Panamá, sin embargo, en Guatemala puede adaptarse idealmente en los bosques muy húmedos premontanos al pie de la cordillera central (figura 25). *Inga edulis* Mart. es una especie que se adapta a una gran amplitud de condiciones ambientales, desde las regiones áridas del bosque seco tropical en la franja costera, hasta el bosque muy húmedo premontano, donde incluso manifiesta mayor preferencia. De hecho, en Guatemala la especie se adapta a casi la totalidad de ecosistemas existentes, desde ecosistemas cálidos hasta templados, exceptuando los bosques montanos donde las condiciones climáticas son más frías.

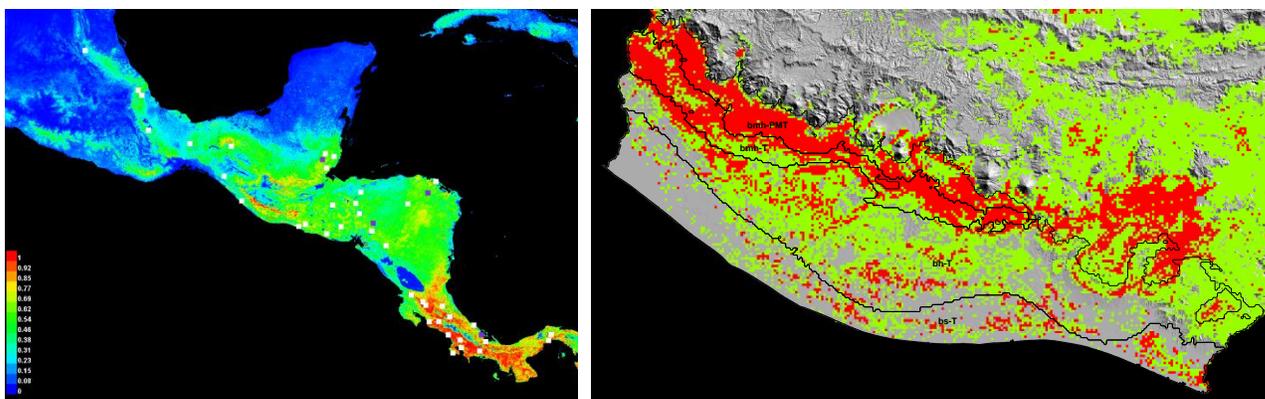


Figura 25. Modelo de distribución potencial de *Inga edulis* Mart.

2.5.3.17. *Inga laurina* (Sw.) Willd.

Familia: Mimosaceae; Nombre común: Caspirol; Número de registros: 56.

Esta especie se adapta perfectamente a las regiones con condiciones de humedad características de los bosques húmedos y muy húmedos desde la Sierra Madre del Sur y por toda la cordillera central de Guatemala y Centroamérica (figura 26). De igual forma demuestra condiciones favorables (aunque con menor probabilidad) en el bosque seco tropical en la costa sur.

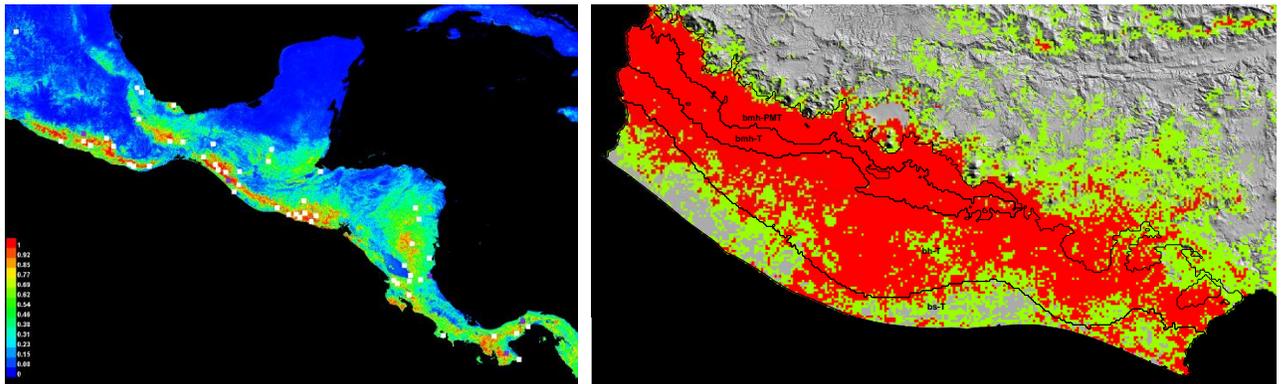


Figura 26. Modelo de distribución potencial de *Inga laurina* (Sw.) Willd.

Para esta especie, la información contenida en las variables climáticas “precipitación en el trimestre más lluvioso” e “isotermalidad” y en las edáficas “pH del suelo” y “capacidad de intercambio catiónico”, influenciaron en mayor medida el modelo en comparación al resto de variables consideradas.

Con ello podemos determinar que la estacionalidad de precipitación y temperatura para las zonas de vida de bosque muy húmedo y bosque húmedo no aseguran por sí solas la habitabilidad de la especie, ya que es necesario considerar los rangos de pH y CEC que encontramos en las regiones indicadas por el modelo.

Al parecer la especie prefiere las regiones con un pH más ácido derivado de los suelos de origen volcánico (que además contienen mayor cantidad de arcillas y por ende mayor CEC) que se encuentran generalmente al pie de las cordilleras volcánicas de Mesoamérica. Es por ello que, aunque las condiciones de estacionalidad climáticas en las regiones del Atlántico sean similares, el origen del suelo kárstico con niveles de pH más alcalinos, inhiben el desarrollo de la especie.

2.5.3.18. *Maclura tinctoria* (L.) D.Don ex Steud.

Familia, nombre común, número de registros: Moraceae, Mora, 164 registros.

Según Árboles de Centroamérica (CATIE-OFI, 2003), Es una especie heliófita ligera y crece razonablemente rápido a plena luz, pero también tolera algo de sombra cuando está joven. Al plantarla es muy importante escoger una fuente de semillas apropiada. Si la semilla proviene de una zona seca posiblemente no crecerá bien en una zona húmeda y viceversa.

Las mejores condiciones de habitabilidad para *Maclura tinctoria* se encuentran en las regiones más áridas de Mesoamérica (figura 27). Específicamente en la llanura costera del Golfo norte de México y en la Península de Yucatán. Y en el bosque seco tropical alrededor del Golfo de Fonseca donde limitan El Salvador, Honduras y Nicaragua, extendiéndose hasta los ecosistemas alrededor de los lagos de Managua.

Las variables que más ganancia aportaron al modelo cuando se analizaron de manera aislada fueron las relacionadas con el rango anual de temperatura. Esto define que la especie encuentra las mejores condiciones de habitabilidad en regiones cálidas y regímenes semiáridos. Es por ello que, en la costa sur de Guatemala, la especie se adapta con mayor probabilidad al bosque seco tropical y al bosque húmedo tropical, pero en la región sur-oriental.

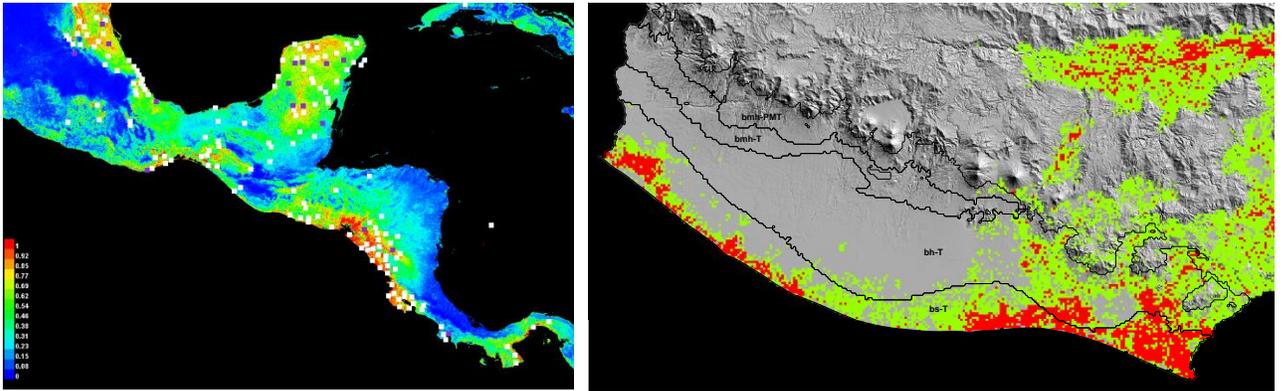


Figura 27. Modelo de distribución potencial de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud.

2.5.3.19. *Nectandra membranacea* (Sw.) Griseb.

Familia: Lauraceae.

Nombre común: Canoj.

Número de registros: 56 (42 registros de ocurrencia utilizados en el entrenamiento del modelo y 14 registros reservados para la prueba ROC).

Canoj es una especie de la familia Lauraceae que ha sido reportada muy pocas veces en Guatemala, sin embargo, su importancia ecológica es relevante por sus características favorables para polinizadores, sus frutos comestibles y los aceites esenciales que producen. Su distribución en Mesoamérica se extiende en regiones aisladas desde las llanuras costeras del Golfo sur de México y los bosques muy húmedos premontanos de Centroamérica (figura 28).

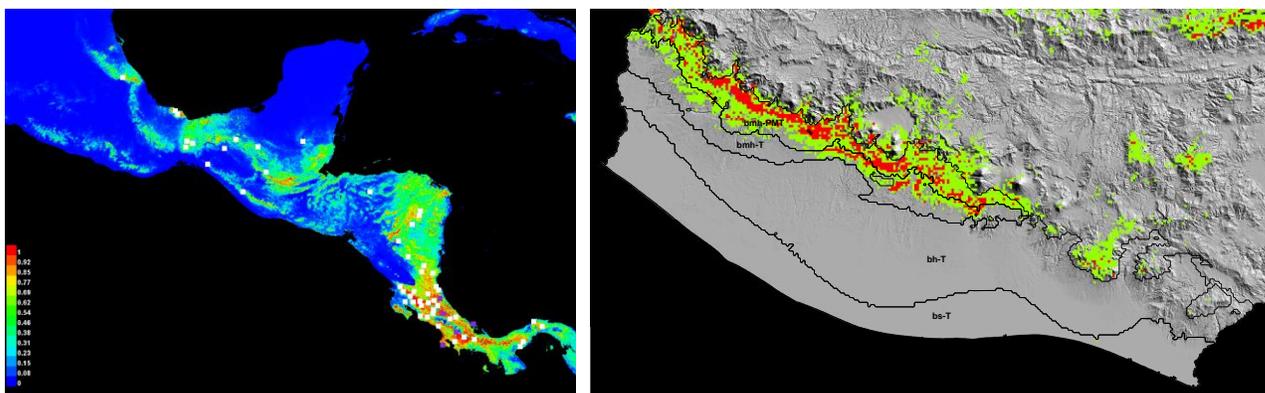


Figura 28. Modelo de distribución potencial de *Nectandra membranacea* (Sw.) Griseb.

La distribución del Canoj es una distribución restringida definida por parámetros específicos de distintas variables climáticas y edáficas. Entre ellas la precipitación en el trimestre más lluvioso y también durante el trimestre más frío, los rangos de temperatura característicos de los bosques muy húmedos premontanos (probablemente rangos muy amplios), el pH del suelo en estas regiones y algunas otras variables edáficas que aportaron de manera menos significativa, pero siguen siendo relevantes y ayudan a entender la distribución restringida de *Nectandra membranacea*.

2.5.3.20. *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb.

Familia, nombre común, número de registros: Malvaceae, Corcho, 92 registros.

CONABIO la clasifica como una especie secundaria. Muy apropiada para introducir su cultivo en acahuals y terrenos abandonados (producto del sistema roza-tumba-quema). Forma generalmente rodales puros. Se considera como una especie con potencial para reforestación productiva en zonas degradadas de selva. Se ha introducido con éxito en Ceilán, Java e India. *Ochroma pyramidale* comparte una distribución potencial muy similar a la de la especie Canoj, aunque con condiciones menos restringidas. Desde la llanura costera del Golfo sur de México, distribuyéndose por los bosques muy húmedos de Centroamérica (figura 29).

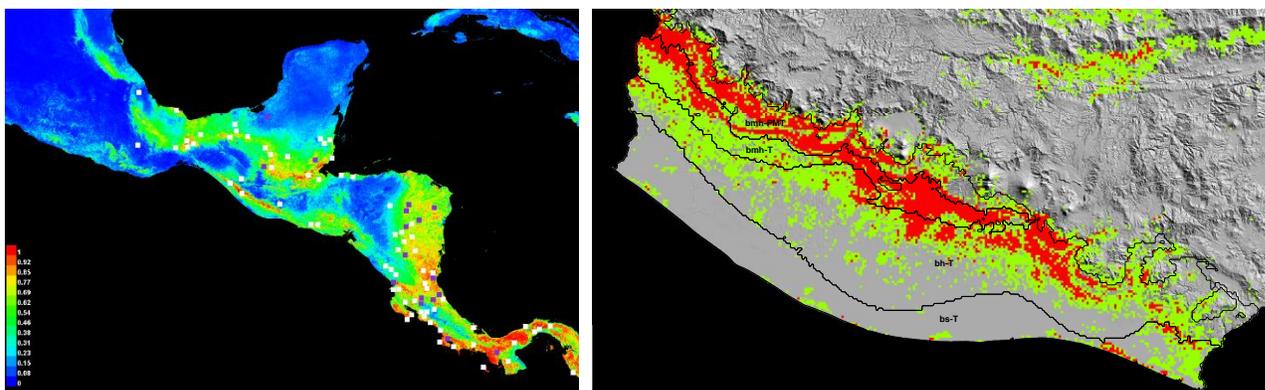


Figura 29. Modelo de distribución potencial de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.)

Coincidiendo con *Nectandra membranacea*, era esperado que la prueba Jackknife se comportara similar. La precipitación del trimestre más lluvioso y la del trimestre más frío, el rango anual de temperatura y variables edáficas como el pH en el suelo y la proporción de limos; fueron quienes determinaron estas distribuciones relativamente restringidas. Sin embargo, existe una mayor amplitud de nicho para *Ochroma pyramidale*, tolerando las condiciones ofrecidas por bosques muy húmedos premontanos y las de bosques muy húmedos tropicales e incluso, aunque con menor probabilidad, demuestra tolerar las condiciones de un bosque húmedo tropical.

2.5.3.21. *Platymiscium dimorphandrum* Donn.Sm.

Familia, nombre común, número de registros: Fabaceae, Hormigo, 48 registros.

Según CATIE-IFO, la especie ha sido sobreexplotada del bosque natural. Por su hermosa floración, podría utilizarse como ornamental, lo cual además ayudaría a su conservación. En Honduras está siendo evaluada en plantaciones puras, con buenos resultados. Sin embargo, se recomienda mayormente para el enriquecimiento de bosques naturales, cuando escasean especies de alto valor comercial. De esta manera se pretende aumentar la biodiversidad existente y el valor económico del bosque.

El hormigo es una especie de alto interés cultural para Guatemala. Su distribución potencial se centra en bosques muy húmedos tropicales, ubicándose en condiciones menos húmedas que las brindadas por altitudes premontanas y montanas (figura 30). Podemos interpretar que la distribución de la especie es limitada principalmente por el rango anual de temperatura y en menor proporción por las condiciones estacionales de lluvia. Lo más probable es que la especie requiera de precipitaciones altas, características de bosques muy húmedos tropicales, pero, así mismo, es sensible a rangos anuales de temperatura muy extremos, los cuales comienzan a manifestarse en altitudes montanas y premontanas de Centroamérica. Además, el pH del suelo y el volumen medio de los fragmentos gruesos del suelo también influyen en la distribución de la especie.

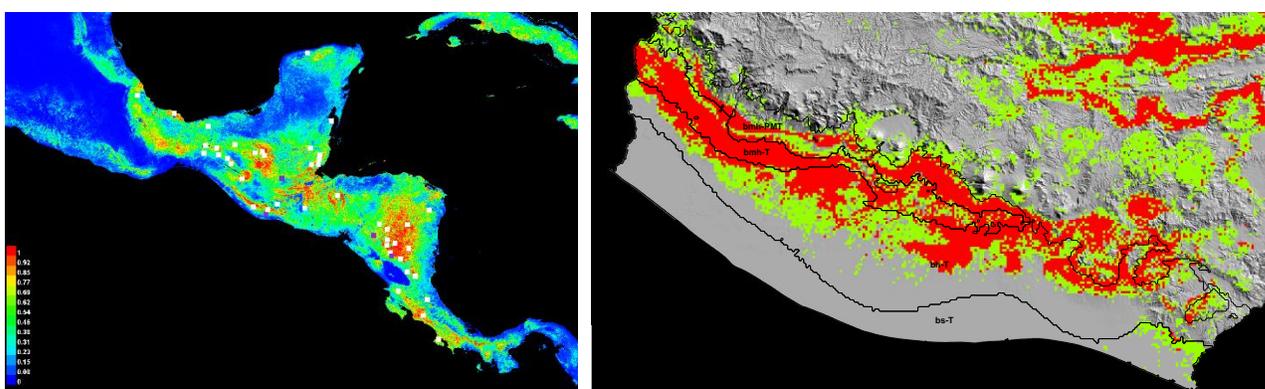


Figura 30. Modelo de distribución potencial de *Platymiscium dimorphandrum* Donn.Sm.

2.5.3.22. *Poepigia procera* C.Presl

Familia, nombre común, número de registros: Caesalpinaceae, Tepemisque, 56 registros.

Según CATIE-IFO, normalmente solo ha sido explotada del bosque natural no ha sido objeto de propagación o mejoramiento para la producción. Sin embargo, la madera es dura y pesada, fuerte y tenaz, de textura fina y grano recto. La albura es blanca y el duramen café claro a café oscuro, a veces rojizo. Es fácil de trabajar y toma buen lijado.

La distribución potencial del Tepemisque es sustancialmente limitada por las propiedades de los suelos derivados de actividades volcánicas (figura 31). Ello puede deducirse ya que las regiones con mejores condiciones se encuentran bajo la Sierra Madre del sur de México extendiéndose bajo la Cordillera Centroamericana desde Guatemala hasta Nicaragua. En términos climáticos, la especie parece preferir una estacionalidad de lluvia bastante definida (probablemente de latitudes menos tropicales), ya que la variable “precipitación en el mes más seco” influyó casi tanto como el coeficiente de variación en la precipitación a lo largo del año. A ello, hay que agregarle una influencia significativa de la capacidad de intercambio catiónico del suelo y de la densidad aparente del mismo.

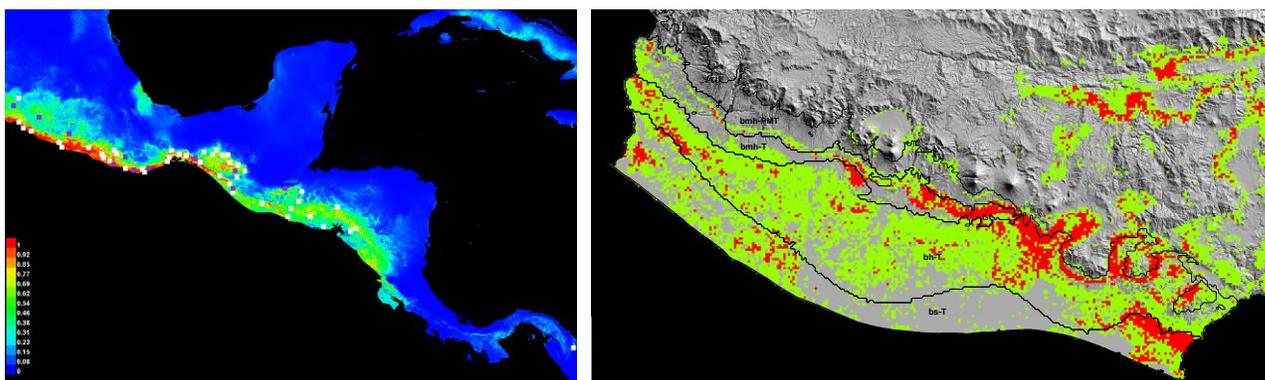


Figura 31. Modelo de distribución potencial de *Poepigia procera* C.Presl

2.5.3.23. *Quararibea funebris* (La Llave) Vischer

Familia, nombre común, número de registros: Bombacaceae, Molinillo, 95 registros.

Con importancia histórica, fue utilizado como planta medicinal y también como uno de los ingredientes esenciales de la tradicional bebida de chocolate y maíz conocida como tejate. Ha sido representado también, en las vasijas que los mayas usaban para el cacao.

El Molinillo es una especie tropical que fue incluida en el estudio debido a que se considera puede utilizarse como un indicador biológico de las condiciones de un bosque tropical. Su distribución según el modelo resulta ser bastante amplia (figura 32), sin embargo, en Guatemala los reportes de dicha especie han sido muy escasos.

El objetivo de incluir al Molinillo en el análisis de nicho ecológico, era demostrar que su distribución potencial no es restringida y que el verdadero motivo de su ausencia en la costa sur del país (donde los nativos aseguran antes prevalecía), seguramente se debe a la depredación de la especie para usos domésticos o a la degradación de los ecosistemas donde la especie habita.

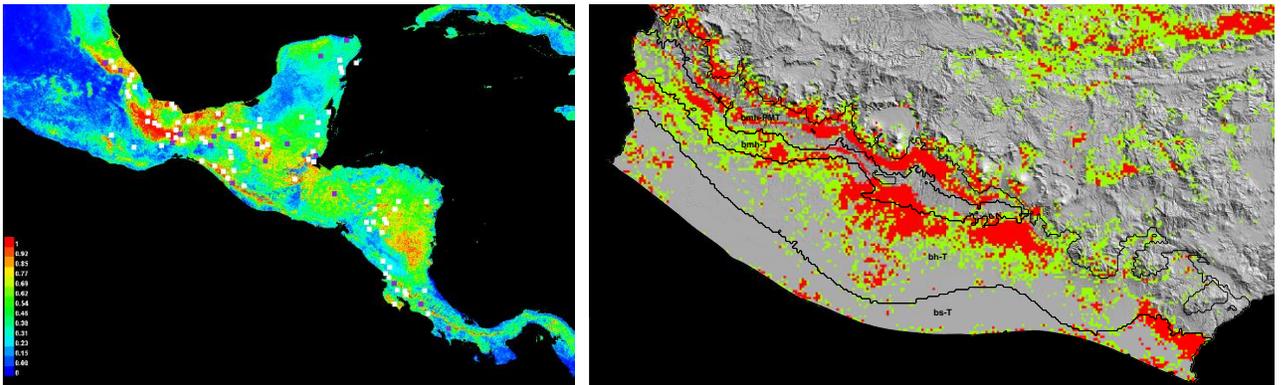


Figura 32. Modelo de distribución potencial de *Quararibea funebris* (La Llave) Vischer

La distribución del molinillo se limita primordialmente por variables de carácter climático y no edáfico. En la prueba Jackknife las variables que generaron mayor ganancia cuando se analizaron de manera aislada y al mismo tiempo redujeron más la ganancia del modelo cuando fueron excluidas del análisis, son variables derivadas de la estacionalidad de la precipitación.

2.5.3.24. *Salix humboldtiana* Willd.

Familia, nombre común, número de registros: Salicaceae, Sauce, 181 registros.

Según CONABIO, es una especie primaria / secundaria. Se comporta como especie pionera, semiheliófila, ruderal. Coloniza los aterramientos provocados por las crecidas de los ríos o inundaciones. En Guatemala, se encuentra muy frecuente a lo largo de ríos y riachuelos y a orilla de lagos en tierras calientes o templadas. Gran preferencia por las zonas temporalmente inundadas. Es una especie con potencial para la restauración de zonas ribereñas erosionadas. En Europa, Estados Unidos, Canadá y Argentina se han establecido plantaciones con fines de reforestación utilizando diversas especies del género *Salix*. Puede utilizarse en cortinas rompevientos y plantación en linderos.

La distribución del Sauce tiende a climas de latitudes más templadas al norte de México y sur de Estados Unidos (figura 33). Sin embargo, se extiende por las regiones con los climas más áridos de Guatemala, El Salvador, Honduras y nor-occidente de Nicaragua. En Guatemala la especie encuentra sus condiciones ideales en el bosque seco tropical de la costa sur y al oriente del país en frontera con El Salvador y Honduras. Y además de las condiciones climáticas de las regiones semiáridas, el contenido de carbono orgánico y la densidad aparente del suelo también juegan un papel importante en la distribución de *Salix humboldtiana* Willd.

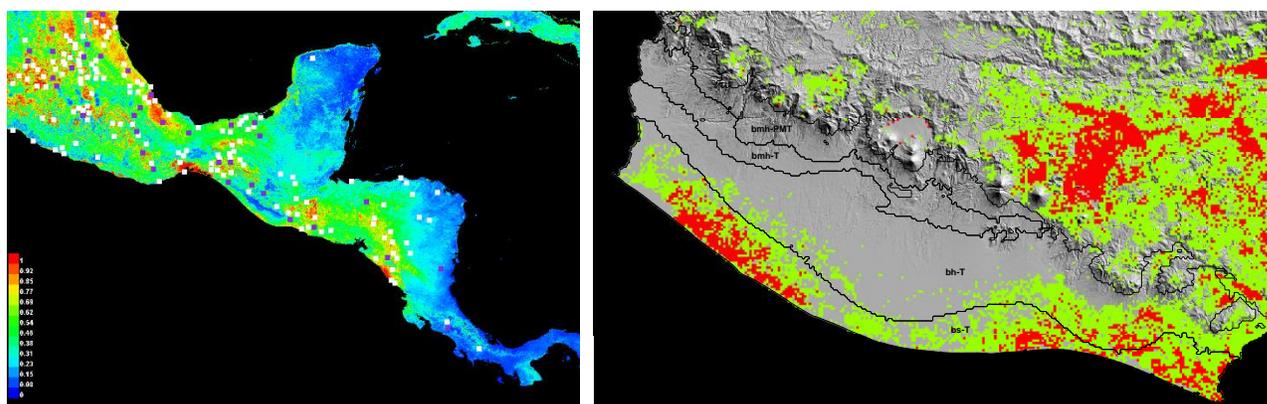


Figura 33. Modelo de distribución potencial de *Salix humboldtiana* Willd.

2.5.3.25. *Simira salvadorensis* (Standl.) Steyerm.

Familia, nombre común, número de registros: Rubiaceae, Puntero, 54 registros.

Puntero comúnmente llamado en Guatemala, Chacahuanté en México. Según el CONABIO, crece en las selvas alta y medianas subperennifolias, aparentemente sin preferencia por algún tipo de suelo, aunque no se encuentra en suelos inundables. Argumentan que los disturbios humanos en los bosques han hecho aumentar sus densidades poblacionales; su temperamento es, en apariencia el de una especie colonizadora, dado por su abundancia en áreas perturbadas, aunque los datos de crecimiento muestran que también sobrevive suprimida. Su madera es de interés comercial ya que es fácil de trabajar y puede utilizarse para interiores o para otra gran cantidad de usos aprovechando las propiedades de su duramen.

La distribución potencial de *Simira salvadorensis* se extiende principalmente sobre la península de Yucatán, con mejores condiciones en la región perteneciente a la zona de vida de “bosque subhúmedo”. Sin embargo, en la costa sur de Guatemala también se extiende una mancha roja indicando condiciones favorables (figura 34).

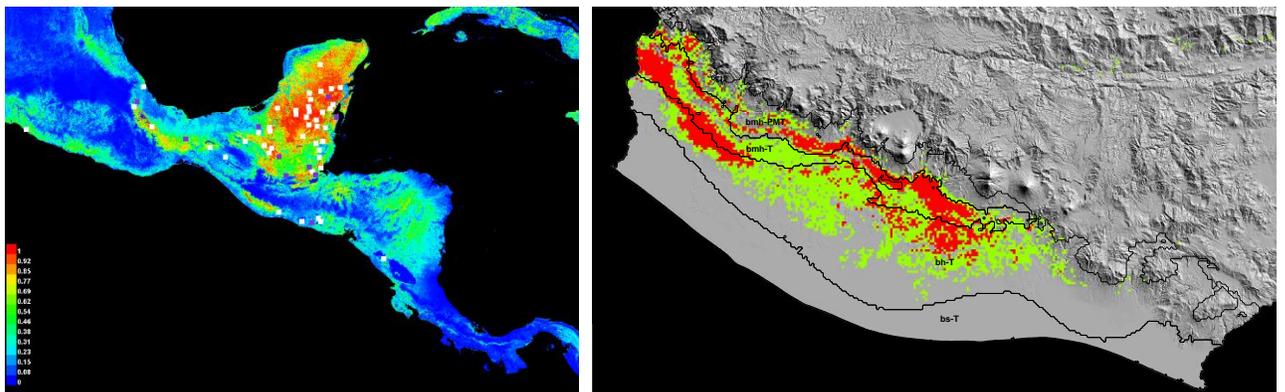


Figura 34. Modelo de distribución potencial de *Simira salvadorensis* (Standl.) Steyerm.

La prueba Jackknife además indica una distribución bastante restringida con influencia de casi todas las variables incluidas en el análisis. Sin embargo, la variable “bio_19” que define la precipitación en el trimestre más frío es la que brinda más información útil para el modelo.

2.5.3.26. *Spondias mombin* L.

Familia, nombre común, número de registros: Anacardiaceae, Jocote jobo, 163 registros.

Según CATIE-IFO, *Spondias mombin* proporciona múltiples productos y servicios, pero es la fruta la que es comida por humanos y animales y es su producto más valioso. Puede utilizarse en sistemas agroforestales para brindar sombra y hay registros de que la especie puede regenerarse naturalmente sin problemas cuando las condiciones ambientales son las adecuadas.

Las condiciones ideales para *Spondias mombin* L. se encuentran en las regiones húmedas del trópico Centroamericano. Sin una mayor preferencia aparente por suelos volcánicos o kársticos. Y con alguna tolerancia a regiones áridas (figura 35).

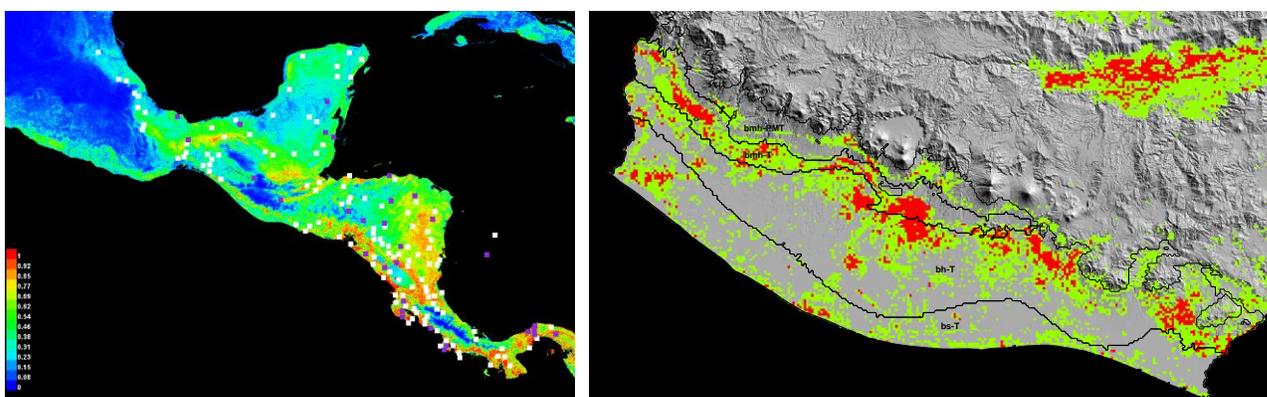


Figura 35. Modelo de distribución potencial de *Spondias mombin* L.

La especie encuentra condiciones favorables de manera bastante homogénea en la costa sur de Guatemala, desde el bosque seco tropical hasta el bosque muy húmedo premontano. Eso indica que la precipitación no es el factor que más limita la distribución del Jocote jobo. Según la prueba Jackknife la variable “bio_6” fue la que generó una mayor ganancia cuando fue analizada de manera aislada y también fue la que redujo mayormente la ganancia cuando fue excluida. “bio_6” está relacionada con la temperatura mínima en el mes más frío, esto indica que el Jocote Jobo es sensible a las temperaturas bajas características de zonas montanas.

2.5.3.27. *Sterculia apetala* (Jacq.) H.Karst.

Familia, nombre común, número de registros: Sterculiaceae, Castaño, 76 registros.

El modelo indica condiciones adecuadas en regiones de clima cálido tropical de Centroamérica y de la llanura del Costera del Golfo de México. Tolerando desde bosques secos hasta bosques húmedos y muy húmedos tropicales (figura 36).

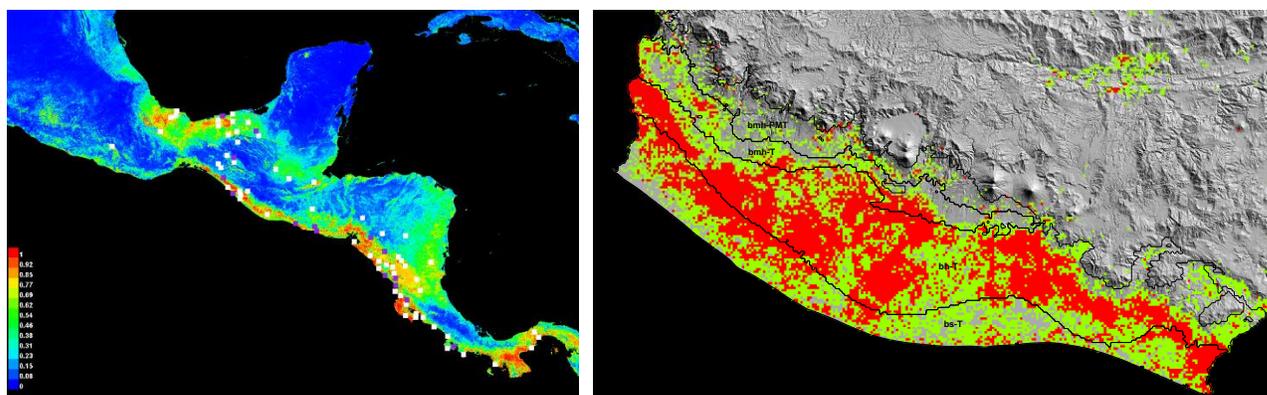


Figura 36. Modelo de distribución potencial de *Sterculia apetala* (Jacq.) H.Karst.

Cuando una especie tolera casi en su totalidad las zonas de vida presentes en la costa sur de Guatemala y aun así no se distribuye en climas similares del norte; lo más probable, es que alguna variable edáfica dependiente del origen del suelo, explica dicho comportamiento.

La especie parece adaptarse a climas con precipitaciones de bosque seco tropical hasta precipitaciones de bosque muy húmedo tropical. Al igual que la temperatura, solamente es limitante en regiones con climas montanos. Sin embargo, variables edáficas como la proporción de arcilla, la proporción de limos y la profundidad del suelo y el pH del suelo juegan un papel importante.

Es muy probable que *Sterculia apetala* esté adaptada a suelos profundos como los que se encuentran bajo cordilleras volcánicas en cuencas alargadas y pendientes reducidas. Así mismo, el origen volcánico explica bastante bien la granulometría del suelo y su relación con el pH en comparación con los suelos del norte cuyo origen es kárstico.

2.5.3.28. *Swietenia humilis* Zucc.

Familia, nombre común, número de registros: Meliaceae, Caoba, 106 registros.

CATIE-IFO describen que esta Caoba del Pacífico, produce madera de alta calidad y durabilidad. Se trabaja fácilmente y se sierra, cepilla y pule muy bien. La madera se usa para construcción a cara vista, pisos, paneles decorativos, exterior de plywood, esculturas y artesanías y muebles finos.

Sin embargo, es difícil encontrarla en el bosque natural ya que en estos casos no ha sido respetada sino aprovechada en la mayoría de las ocasiones. En general, no se recomiendan las plantaciones puras debido al barrenador. Es mejor mezclarla con otras especies.

Es conocida como la Caoba del sur, existe mucho interés comercial para la especie. Su distribución se extiende desde mayores latitudes en la Sierra Madre del sur de México hasta algunas regiones tropicales secas de Nicaragua (figura 37). Las mejores condiciones para la especie se encuentran en las regiones más áridas de la costa sur de Guatemala. Principalmente en el bosque seco tropical. Según la prueba Jackknife la precipitación en el mes más seco y la estacionalidad de la precipitación juegan un papel importante en la distribución de la Caoba del sur. Además, la especie no tolera climas cuyas temperaturas descenden radicalmente. La especie encuentra condiciones adecuadas en lugares donde las lluvias se concentran en pocos meses al año.

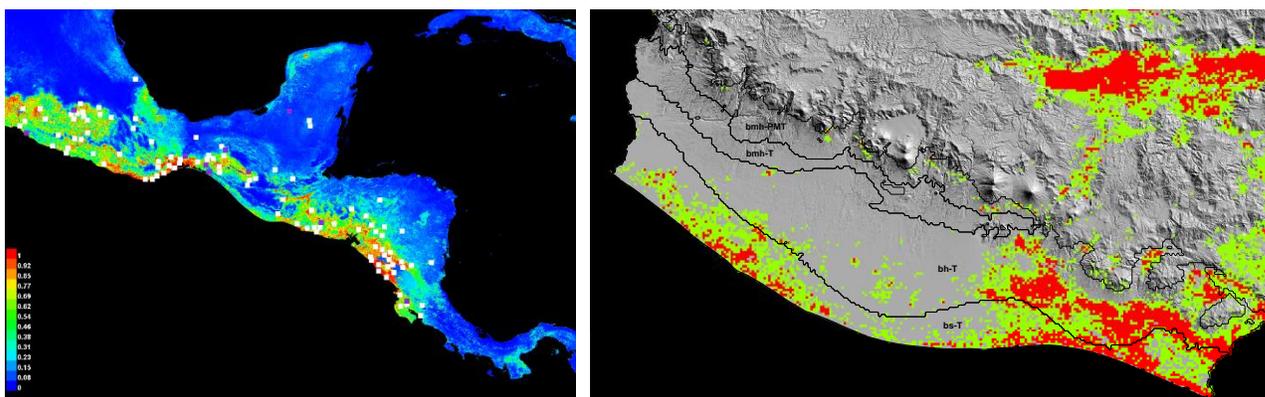


Figura 37. Modelo de distribución potencial de *Swietenia humilis* Zucc.

2.5.3.29. *Tabebuia rosea* (Bertol.) Bertero ex A.DC.

Familia, nombre común: Bignoniaceae, Matilisqueate.

Número de registros de ocurrencia: 211.

El Matilisqueate es una especie de amplia distribución, encuentra condiciones favorables en la mayoría de las regiones de clima tropical desde México hasta Panamá (figura 38). Aunque las zonas verdes indican que la especie tiene una distribución casi completa de la costa sur (exceptuando las regiones montañosas).

Las condiciones ideales se proyectan en una combinación bastante intrincada entre las variables incluidas en el estudio. Para entender este modelo es importante observar los resultados de la prueba Jackknife, los cuales demuestran que variables tanto de tipo climático como edáfico influyen fuertemente en la predicción de las mejores condiciones de habitabilidad para el Matiliguat. Es importante resaltar que la influencia conjunta de variables de distinta naturaleza (climática, edáfica o fisiográfica) es bastante atípica en especies tropicales y radica en una distribución compleja que no permite generalizar un favoritismo relacionado a una sola gradiente. Es por ello que la distribución se percibe de manera “inusual” en comparación con los modelos presentados de otras especies, los cuales, en su mayoría, responden a las zonas de vida de Holdridge.

Tanto los rangos anuales de temperatura como la estacionalidad de la precipitación aportan información útil para el modelo y ayudan a describir las condiciones ideales. Además, la densidad aparente, la capacidad de intercambio catiónico, y la granulometría, contienen información de la cual el análisis no puede prescindir. Técnicamente podría considerarse que el nicho ecológico de Matiliguat es de los más complejos entre las especies analizadas en este estudio. Esto no significa que la distribución sea restringida, sino que explica, que son muchas las variables que interactuaron con el algoritmo y aportaron información necesaria para proyectar una distribución potencial estadísticamente probable.

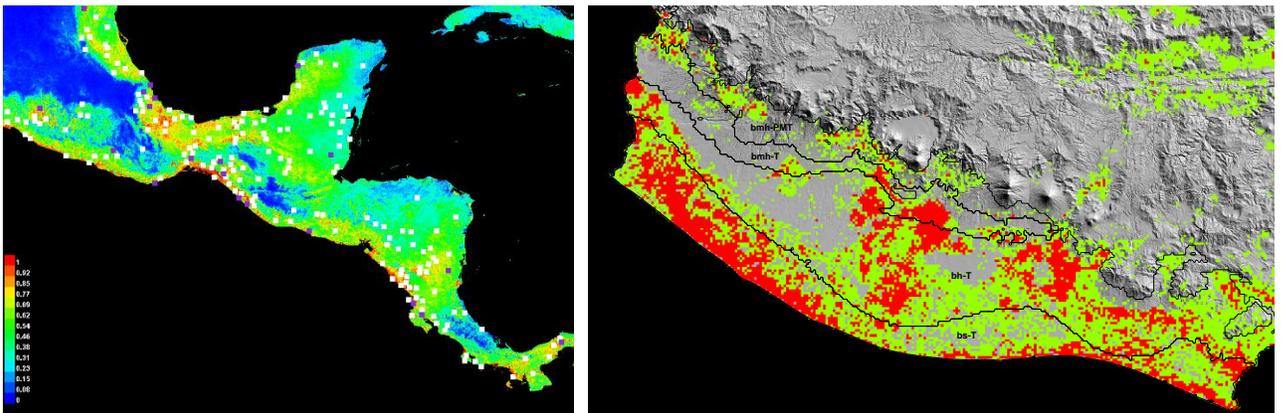


Figura 38. Modelo de distribución potencial de *Tabebuia rosea* (Bertol.) Bertero ex

2.5.3.30. *Terminalia oblonga* (Ruiz & Pav.) Steud.

Familia, nombre común, número de registros: Combretaceae, Volador, 77.

En Árboles de Centroamérica de CATIE-ITO, se habla del Volador como un árbol de tamaño mediano a grande, con importancia como maderable y en programas de reforestación. La madera posee características excelentes de dureza, color, jaspe y resistencia. Se utiliza mayormente en construcción general. Se encuentra en llanuras, tanto inundadas como tierra firme, en pendientes y filas. Es una especie emergente del dosel en los bosques de América Central.

La distribución potencial del volador se extiende en regiones específicas de altitud y temperatura sin mayor influencia de los regímenes de precipitación. Con condiciones ideales bajo la cordillera centroamericana (figura 39). Aunque, con cierta influencia de algunas variables edáficas como la proporción de limo y arcilla del suelo y el pH, las variables que más influyen sobre la distribución del Volador son aquellas que están directa e indirectamente relacionadas con los rangos de temperatura anual. Por ello vemos una franja que se extiende a la misma altitud, desde el suroccidente hasta el sureste de Guatemala, sin verse afectada por los diferentes regímenes de precipitación.

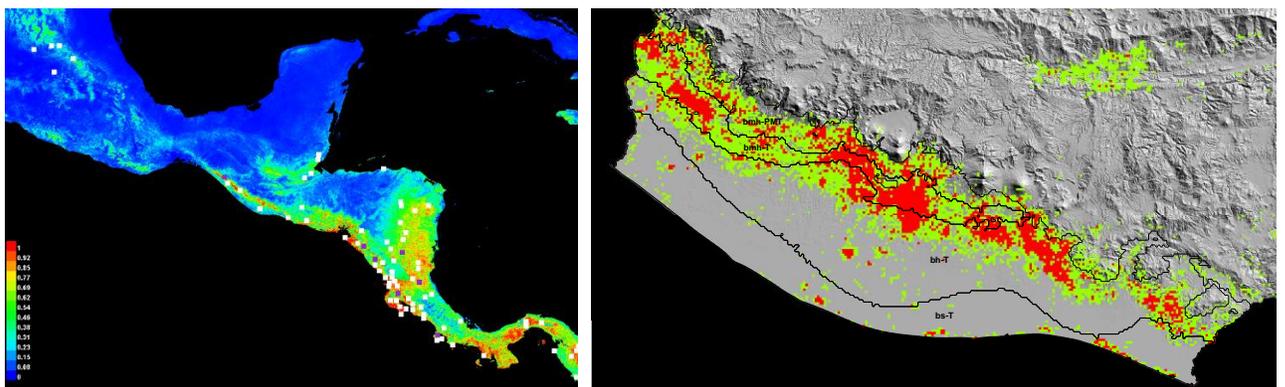


Figura 39. Modelo de distribución potencial de *Terminalia oblonga* (Ruiz & Pav.) Steud.

2.6. CONCLUSIONES

1. Los criterios de priorización de las especies forestales incluidas en el estudio se basaron en cuatro grandes aspectos: la importancia ecológica de la especie (relativo a sus interacciones con otras especies y con el ambiente), la importancia cultural o productiva, su estado de conservación y la disponibilidad de registros de ocurrencia. Además, fueron consideradas las opiniones de profesionales con experiencia en la flora de la costa sur de Guatemala. Aunque probablemente exista una mayor diversidad de especies con potencial ecológico para la restauración o rehabilitación de ecosistemas, la disponibilidad de registros de ocurrencia es la limitante.
2. Cuando se tiene como objetivo la proyección del área de distribución potencial de una especie, debe considerarse la biogeografía. Esto significa que el origen histórico y geográfico de la especie debe esclarecerse e incluirse en el modelo. Para Guatemala las regiones biogeográficas tienden a dos posibilidades, hay especies provenientes de latitudes tropicales de América del Sur, y especies provenientes de latitudes templadas de Norte América. La mayoría de las especies adaptadas a las regiones cálidas de la costa sur provienen de los trópicos y en ocasiones su distribución se extiende hasta México. Es por ello que la información ambiental incluida en los modelos se extiende desde el sur de Estados Unidos hasta Panamá.
3. Inicialmente es posible adaptar información ambiental de diferentes categorías, para el estudio se incluyeron capas de información climática, edáfica y fisiográfica. Generalmente solo se consideraba información climática, sin embargo, este estudio evidencia que las variables edáficas aportan información útil para el modelo y para su interpretación. Existen patrones de distribución que no se limitan a las gradientes climáticas de temperatura y precipitación, sino que son explicadas por gradientes edáficas como el pH del suelo, la densidad aparente, entre otras.

4. Es importante comprender que la prueba “Jackknife” es una herramienta multivariada que solamente puede interpretarse apropiadamente, cuando las variables ambientales incluidas en el análisis, no se encuentran autocorrelacionadas. De ser empleada correctamente, en conjunto con un modelo adecuado, los parámetros limitantes de la distribución de la especie, podrían ser extraídos, en especial los parámetros de las variables que más información aportaron para explicar la distribución potencial de la especie.

5. Los distintos actores interesados en utilizar los mapas de distribución potencial desarrollados en este trabajo, deben considerar que los procesos de restauración son complejos y no basta con la siembra inmediata de las especies en campo. Es importante estudiar previamente el hábito sucesional de la especie de interés y diseñar un plan que asegure su inmersión en un espacio cuyo estado sea el adecuado. Muy pocas de las especies incluidas en el documento poseen características de especies pioneras, la mayoría se constituyen como especies de etapas serales avanzadas y ello debe de ser considerado por el planificador.

2.7. RECOMENDACIONES

1. Todas las especies incluidas en la investigación han sido de interés para la restauración o recuperación de tierras degradadas en los trópicos americanos. Sin embargo, no todas las especies han sido objeto de experimentación en campo para evidenciar su utilidad en estos mecanismos. Se considera que los siguientes pasos deben ser los de la inclusión de estas especies en proyectos que permitan reconocer si existe una mejoría de las condiciones ecológicas descritas para estas especies forestales con su entorno.
2. Los resultados que este tipo de estudio generan, abren las puertas a una gestión más eficiente e integral de los recursos naturales del país, por ello, deberían ejecutarse mayores inversiones en torno a la generación de información climática (principalmente las estaciones meteorológicas), edáfica, fisiográfica y biológica.
3. Ya es posible la proyección de la distribución potencial de las especies de flora y fauna según los diferentes escenarios de cambio climático global. Estos escenarios se encuentran disponibles en modelos de una resolución adecuada y accesible. Explorar estos distintos escenarios y sus implicaciones en la vegetación es una herramienta de planificación excepcional que aumentaría el éxito de programas de restauración.

2.8. BIBLIOGRAFIA

1. Arizpe, D; Mendes, A; Rabaça, JE. 2009. Sustainable riparian zones a management guide. Valencia, España, Generalitat Valenciana. 288 p.
2. Brown, JL; Bennett, JR; French, CM. 2017. SDMtoolbox 2.0: The next generation Python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. PeerJ, December 5. <https://peerj.com/articles/4095/>
3. Budowski, G. 1965. Distribution of tropical american rain forest species in the light of successional processes. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura –IICA- / Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza –CATIE-. 42 p.
4. Carpenter, G; Gillison, AN; Winter, J. 1993. DOMAIN: A flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. Biodiversity Conservation, 2, 667–680. <https://doi.org/10.1007/BF00051966>
5. Castellanos, E; Guerra, A. 2008. El cambio climático y sus efectos sobre el desarrollo humano en Guatemala. Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala, Centro de Estudios Ambientales / PNUD. 51 p.
6. Colwell, RK; Rangel, TF. 2009. Hutchinson's duality: The once and future niche. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 106, 19644–19650. https://www.pnas.org/content/106/Supplement_2/19651
7. CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Guatemala). 2009. Listado de especies amenazadas de Guatemala -LEA- y listado de especies de flora y fauna silvestres CITES de Guatemala. Guatemala. https://www.academia.edu/8493061/Lista_de_Especies_Amenazadas_de_Guatemala
8. Delgado, D; Finegan, B; Zamora, N; Meir, P. 1997. Efectos del aprovechamiento forestal y el tratamiento silvicultural en un bosque húmedo del noreste de

Costa Rica: Cambios en la riqueza y composición de la vegetación. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – CATIE-. 55 p. (Serie Técnica. Informe Técnico no. 298).

<http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/7032?show=full>

9. Elton, C. 1927. Animal ecology. London, Sedgwick and Jackson. 207 p.
10. Fick, SE; Hijmans, RJ. 2017, WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal Climatology, 37:4302-4315. doi:10.1002/joc.5086
11. Finegan, B. 1992. El potencial del manejo de los bosques húmedos secundarios neotropicales de las tierras bajas. Trad. R. Lujan. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza –CATIE- / Cooperación Suiza al Desarrollo –COSUDE-. 29 p. (Serie Técnica N° 5). <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/1589>
12. Gauch, HG. 1995. Multivariate analysis in community ecology. Cambridge, Cambridge University Press. 298 p.
13. Grinnell, J. 1917. The niche-relationships of the California Thrasher. The Auk, 34:427–433. <https://www.jstor.org/stable/4072271>
14. Guariguata, MR; Chazdon, RL; Denslow, JS; Dupuy, JM; Anderson, L. 1997. Structure and floristic of secondary and old-growth forest stands in lowland Costa Rica. Plant Ecology 132:107–120. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009726421352>
15. Gutiérrez, Y. 2017. Si más agricultura igual menos bosques ¿se puede alcanzar la seguridad alimentaria sin deforestación?”. Los Bosques en las Noticias, Febrero
22. <https://forestsnews.cifor.org/48375/si-mas-agricultura-menos-bosques-se-puede-alcanzar-la-seguridad-alimentaria-sin-deforestacion?fnl=es>
16. Hair, J. 2000. Análisis multivariante. 5 ed. Madrid, España, Artes Gráficas. 799 p.

17. Halffter, G. 1992. La diversidad biológica de Iberoamérica. *Acta Zoológica Mexicana* no. 79. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372000000100014
18. Hartshorn, GS. 2002. Biogeografía de los bosques neotropicales. *In* Guariguata, M; Kattan, G (eds.). *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Cartago, Costa Rica, LUR. p. 59-81.
https://www.researchgate.net/publication/305724745_Biogeografia_de_los_Bosques_Neotropicales
19. Hengl, T; Mendes, J; Heuvelink, GBM; Ruiperez, M; Kilibarda, M; Blagotić, A, et al. 2017. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS ONE* 12(2):e0169748.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748>
20. Hijmans, RJ; Elith, J. 2013. Species distribution modeling with R. R Package Version, 08-11.
21. Holdridge, L. 2000. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura –IICA-. 216 p.
22. IARNA (Universidad Rafael Landívar, Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad, Guatemala). 2018. *Ecosistemas de Guatemala basado en el sistema de clasificación de zonas de vida*. Guatemala.
23. IUCN (International Union for Conservation of Nature, Suecia). 2020. The IUCN red list of threatened species, Version 2020-2. <https://www.iucnredlist.org>. Downloaded on 2020.
24. Kattan, G. 2002. *Ecología y conservación de bosques tropicales*. Cartago, Costa Rica, Libro Universitario Regional. 691 p.
25. Lamprecht, H. 1990. *Silvicultura en los trópicos: Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*. Eschborn, Alemania, Deutsche Gesellschaft

für Technische Zusammenarbeit. 335 p.

26. Louman, B; Mejía, A; Núñez, L. 2002. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central; Inventarios especiales: Inventarios en bosques secundarios. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza –CATIE-. p. 173- 179. (Serie Técnica. Manual Técnico no. 50).
27. Matteucci, S; Colma, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Washington D.C., USA, OEA, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. 168 p. (Serie Biología, Monografía no. 22).
28. McCune, B; Grace, JB. 2002. Analysis of ecological communities. Gleneden Beach, Oregon, USA, MjM Software Design. 289 p.
29. Melo, O; Vargas, R. 2003. Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos. Ibagué, Colombia, Universidad del Tolima. 222 p. <https://www.yumpu.com/es/document/read/14197807/evaluacion-ecologica-y-silvicultural-de-ecosistemas-boscosos>
30. Mijail, PA; Poveda, C; Siria, I; Aburto, L; Arets, E; Sotelo, M. 2009. Modelos de nichos potenciales de especies de interés para tomadores de decisión, y su relación con el cambio climático en Nicaragua y América Central. Encuentro 61(84):62-80. <https://revistasnicaragua.net.ni/index.php/encuentro/article/view/3089/3009>
31. Miranda, I. 2004. La estadística del agropecuario; 10 preguntas, 10 respuestas. Monografías. Consultado 11 set. 2005. <https://www.monografias.com/trabajos19/estadistica-agropecuario/estadistica-agropecuario.shtml>
32. Nix, HA; Busby, J. 1986. BIOCLIM, a bioclimatic analysis and prediction system. Canberra, Australia, Division of Water and Land Resources. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=AU9103158>
33. Phillips, SJ; Dudík, M; Schapire, RE. 2020. Maxent software for modeling species

niches and distributions (Version3.4.1).
http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Accessed on
 2020-4-24

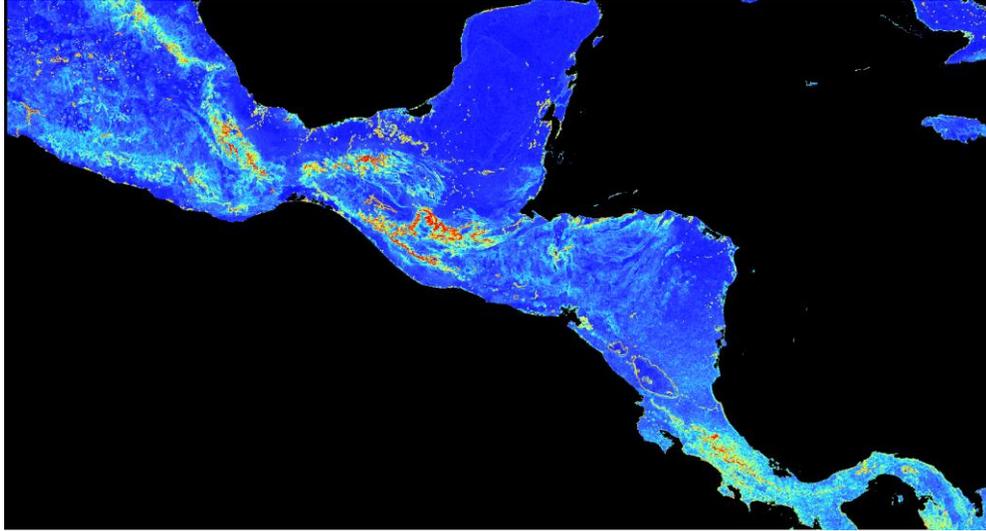
34. SGCCC (Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático, Guatemala). 2019. Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala. Castellanos, E.; Paiz-Estévez, A.; Escribá, J.; Rosales-Alconero, M. y Santizo, A. (eds). Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala, Editorial Universitaria.
35. Soberón, J; Osorio-Olvera, L; Peterson, T. 2017. Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. Revista Mexicana de Biodiversidad 88(2). <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.011>
36. Soberón, J; Peterson, AT. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas. Biodiversity Informatics 2:1-10. <https://journals.ku.edu/jbi/article/view/4>
37. The Plant List. 2013. The plant list; search, Version 1.1. <http://www.theplantlist.org/>
38. USGS (US Geological Survey). 2002. USGS EROS archive - digital elevation - shuttle radar topography mission (SRTM) 1 Arc-Second Global. USA, USGS. DOI:/10.5066/F7PR7TFT
39. Valerio, J; Salas, C. 2001. Sección de prácticas silviculturales para bosques tropicales. Cobija, Bolivia, El País. 77 p.
40. Velazco, SJE; Galvão, F; Villalobos, F; De Marco, P Jr. 2017. Using worldwide edaphic data to model plant species niches: An assessment at a continental extent. PLoS ONE 12(10):e0186025. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186025>
41. Whittaker, RH. 1972. Evolution and measurement of species diversity. Taxon 21(2-3):213-251. [https://www.jstor.org/stable/1248190?seq=](https://www.jstor.org/stable/1248190?seq=1)



Rolando Barrios

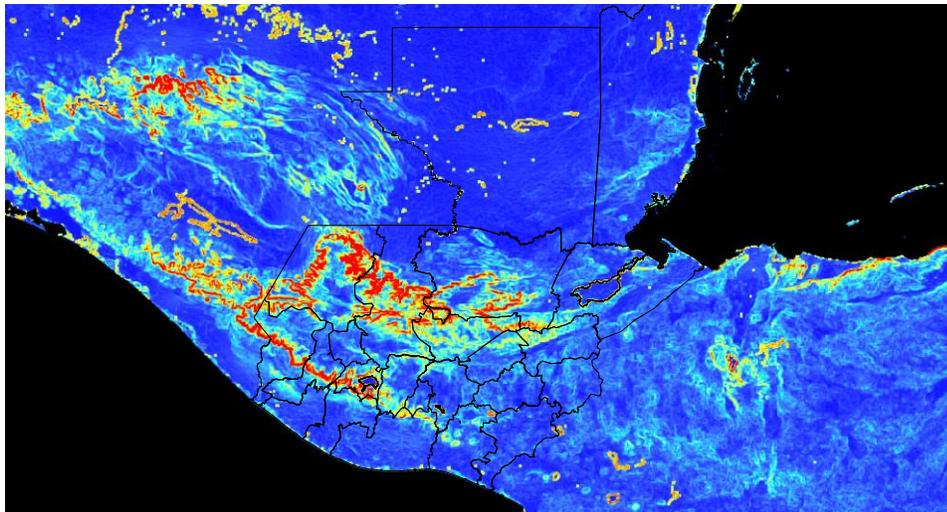
2.9. ANEXOS

2.9.1. Mapa de heterogeneidad climática



Fuente: elaboración propia en MAXENT, 2020.

Figura 40A. Mapa de heterogeneidad climática para Mesoamérica.



Fuente: elaboración propia en MAXENT, 2020.

Figura 41A. Mapa de heterogeneidad climática para Guatemala.

3.1. PRESENTACIÓN

El Programa de Ejercicio Profesional Supervisado de la Facultad de Agronomía –EPSA- establece que el EPS se constituye como la etapa final del estudiante, la cual consiste en un conjunto de actividades académicas en el campo de la docencia, la investigación, la extensión y el servicio. Desde la modificación del Plan de Estudios anterior a 1998, han sido varias instituciones que coadyuvan con el desarrollo de dicha etapa final de los estudiantes en una diversidad de materias, considerando que la necesidad principal del estudiante es la de desarrollar las aptitudes de un profesional en un ámbito laboral.

El Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático –ICC-, se constituye como un ente con gran cantidad de antecedentes en el apoyo de practicantes, no solo de la Universidad de San Carlos de Guatemala –USAC- sino de un gran número de estudiantes de diferentes unidades académicas (de Guatemala y del extranjero) que hoy en día se encuentran prestando servicios profesionales en diferentes ámbitos. De igual manera, el instituto cada año desde sus programas selecciona estudiantes afines a los objetivos del mismo, con la intención de incluirlos en actividades que ellos puedan desarrollar como “servicios”, y a mediación entre las partes (siempre afín a los objetivos del programa) se desarrolla una investigación aplicada, la cual, generalmente ayudará a solventar alguna necesidad de la institución.

Los servicios presentados a continuación son el resultado de la selección y priorización de actividades estratégicas en la búsqueda de solventar algunas necesidades expuestas por el programa de Sostenibilidad de Sistemas Productivos -SSP-, a ejecutarse con el apoyo técnico de algunos investigadores del programa, profesores de la Facultad de Agronomía -FAUSAC- y los recursos disponibles.

El Programa de Sostenibilidad de Sistemas Productivos –SSP- en la actualidad desarrolla actividades en torno a la cuantificación de huella hídrica y huella de carbono en los diferentes procesos productivos para los gremios asociados y con algunas experiencias a nivel comunitario, elaboración de propuestas de mitigación en la emisión de gases de

efecto invernadero, conservación de suelo en zonas con alto riesgo a erosión tanto en zonas agrícolas de socios como en partes altas de las cuencas con agricultores y comunidades, estandarización de metodologías para la medición de Parcelas Permanentes de Medición Forestal Manglar “PPMFM”, análisis de bases de datos nacionales de PPMFM, establecimiento de nuevas parcelas, análisis de la biodiversidad presente en ecosistemas asociados a zonas agrícolas, principalmente de cultivos extensivos; con un interés sobre la diversidad de aves, especies arbóreas e indicadores de fauna terrestre, entre otras actividades.

3.2. ÁREA DE INFLUENCIA

Los servicios se desarrollaron específicamente en El Jardín Botánico “Los Tarros” del Ingenio la Unión ubicado al norte de Santa Lucía Cotzumalguapa en Escuintla y en las parcelas permanentes de medición forestal manglar distribuidas por el país.

3.3. OBJETIVO GENERAL

Ejecutar satisfactoriamente los servicios requeridos durante el ejercicio profesional supervisado por el programa de Sostenibilidad de Sistemas Productivos del Instituto de Investigación sobre Cambio Climático en Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala.

3.4. SERVICIOS PRESTADOS

3.4.1. Análisis de la red de Parcelas Permanentes de Medición Forestal Manglar – PPMFM- de Guatemala

3.4.1.1. Objetivos

Objetivo general

Realizar un análisis de la dinámica forestal del ecosistema manglar desde la base de datos del Sistema de Parcelas Permanentes de Medición Forestal Manglar –PPMFM- de Guatemala, en conjunto con el Instituto Nacional de Bosques.

Objetivos específicos

- A. Realizar la medición y mantenimiento anual de las PPMFM administradas por el ICC.
- B. Organizar y depurar la base de datos del sistema nacional de PPMFM de Guatemala en conjunto con INAB.
- C. Analizar la dinámica forestal de las parcelas asignadas.
- D. Identificar la problemática en la gestión de las PPMFM.

3.4.1.2. Metodología

A. Medición y mantenimiento anual de las PPMFM administradas por ICC

Se realizó la medición y el mantenimiento anual según lo establece la “Metodología para el Establecimiento y Mantenimiento de Parcelas Permanentes de Medición Forestal - PPMF- en Bosque Natural del Ecosistema Manglar” con la principal intención de estandarizar los procedimientos técnicos con los cuales se establecieron y dieran seguimiento a las diferentes unidades de medición a responsabilidad de cada miembro.

Con equipos de campo de al menos 4 integrantes se realizaron las jornadas de medición de parcelas, llegando a dar mantenimiento y medición a 2 o 3 parcelas por día. Los materiales empleados para la medición consisten en:

- 2 hipsómetros análogos SUNTO
- 2 cintas diamétricas/métricas
- GPS o celular
- Lápiz
- Varias boletas de medición en blanco y,
- Fotocopias de boletas de años anteriores

Al momento de dirigirse hacia las parcelas, el equipo además se prepara con algunos materiales para el mantenimiento de vértices, para remarcar individuos, y demás:

- Tubos PVC de distintos diámetros
- Pintura en aerosol rojo
- Bolsas plásticas, entre otros

Con el apoyo de personal local se decide la cantidad de materiales a llevar a las parcelas, ya que generalmente aquellas donde hay mayor proximidad con comunidades o una mayor dinámica de inundación, es donde se requiere mantenimiento más intensivo.

B. Organización y depuración de la base de datos

Aunque sencillo en términos de descripción, este paso se constituyó como aquel que requirió mayor cantidad de tiempo para finalizarse, ya que existe una base de datos de más 50 parcelas permanentes donde el seguimiento a las distintas unidades es prestado por diversas instituciones cooperantes (como INAB, CONAP, ICC, CECON, ESTEFOR, FUNDAECO, entre otros) y la manera de registrar la información no había sido estandarizada hasta el año 2016 cuando se publicó la metodología para medición y mantenimiento de PPMFM para Guatemala. Por ello, la información se organizó según lo establecido, se digitalizaron algunos formularios que aún se encontraban en forma manuscrita, se corrigieron datos anómalos, se rellenaron datos faltantes que podían ser interpolados y se depuraron algunos registros que podían entorpecer el análisis.

C. Análisis de la dinámica forestal en las parcelas

En conjunto con una practicante del Instituto Nacional de Bosques se me asignó el análisis de 22 parcelas permanentes de medición forestal manglar, ubicadas en distintas masas forestales, principalmente en Suchitepéquez, Escuintla, Santa Rosa, Jutiapa e Izabal.

Inicialmente se clasifican las parcelas según la región o masa forestal donde se encuentra, agrupando aquellas más próximas geográficamente. Luego para cada individuo se realizan análisis de variables como diámetro a la altura del pecho -DAP-, área basal -AB-, altura total -h-, y finalmente cálculo de volumen para cada individuo por año, generando además las gráficas respectivas para su interpretación.

Cuando ya se realizaron los análisis para cada individuo por cada año de medición disponible, se procede a hacer cálculos de volumen total por parcela y por año, con la finalidad de proyectar el crecimiento volumétrico actual por parcela y proyectar por hectárea. Se calcula el incremento medio anual -IMA- y el incremento periódico anual -IPA- (de ser posible). Además, provisionalmente se realizan análisis del reclutamiento total de individuos y la proyección de crecimiento de individuos jóvenes dentro de las parcelas.

Finalmente se comparan los modelos de crecimiento de las distintas unidades de muestreo, tanto las parcelas dentro de la misma masa forestal, como aquellas constituidas proporcionalmente por las mismas especies de mangle en las distintas regiones o masas forestales. Esto con la finalidad de identificar si existen diferencias significativas en la dinámica de crecimiento en las masas forestales evaluadas y proponer un crecimiento medio de mangle para considerarse en los planes de gestión del recurso forestal manglar.

D. Identificación de la problemática en la gestión de PPMFM

Como una actividad paralela se propuso identificar aquellos conflictos existentes que amenazan una gestión ineficiente de las parcelas permanentes, tanto desde el punto de vista del registro de información por parte de las distintas instituciones cooperantes, como de la gestión en campo de las parcelas, su mantenimiento, su interacción con el ambiente y con comunidades aledañas. Todo con la finalidad de proponer soluciones y mejorar el proceso de la recopilación de información valiosa para la gestión del recurso forestal manglar en Guatemala.

3.4.1.3. Resultados

A continuación, se enlista la red de PPMFM de Guatemala, identificando coordenadas de ubicación y la persona encargada de su organización y análisis:

Cuadro 14: Red de PPMFM de Guatemala.

NO.	CODIGO	UBICACIÓN	ENCARGADO	X	Y
1	0-2014-INAB/ESTEFFOR	La Blanca, San Marcos	Catherin H.	320792.30	1603392.00
2	10-2016-INAB/CUNTOTO	Retalhuleu, Retalhuleu	Catherin H.	333149.72	1597409.68
3	11-2016-INAB/CUNTOTO	Retalhuleu, Retalhuleu	Catherin H.	332279.00	1596075.00
4	1-2011-ICC/INAB	Sipacate, Escuintla	Pablo dIR.	442301.30	1541864.60
5	1-2012-INAB/ESTEFFOR	La Blanca, San Marcos	Catherin H.	319943.56	1603820.97
6	1-2014-ICC/INAB	Suchitepequez	Pablo dIR.	374664.00	1563146.00
7	1-2014-INAB/ESTEFFOR	La Blanca, San Marcos	Catherin H.	321291.50	1603400.60
8	1-2015-INAB	Retalhuleu, Retalhuleu	Catherin H.	332924.60	1599721.45
9	1-2015-INAB/AGROACEITE	Retalhuleu, Retalhuleu	Catherin H.	338075.00	1598332.00
10	1-2015-INAB/CONAP	Sipacate, Escuintla	Pablo dIR.		
11	1-2016-FUNDAECO/INAB	Livingston, Izabal	Pablo dIR.	663133.30	1757334.40
12	1-2016-INAB/CONAP	Sipacate, Escuintla	Pablo dIR.	437475.50	1539322.01
13	1-2016-INAB/CUNTOTO	Retalhuleu, Retalhuleu	Catherin H.	334368.00	1600441.00
14	1-2016-INAB/R4	Chiquimulilla	Pablo dIR.	513363.84	1532237.09
15	1-2017-FUNDAECO/INAB	Puerto Barrios/Izabal	Pablo dIR.	700365.12	1741973.12
16	1-2017-INAB/CONAP/CECON	El Jiote, Moyuta, Jutiapa	Pablo dIR.	530269.01	1525024.77
17	2-2011-ICC/INAB	Sipacate, Escuintla	Pablo dIR.	441871.30	1542502.30
18	2-2012-INAB/ESTEFFOR	La Blanca, San Marcos	Catherin H.	321166.00	1603800.00
19	2-2014-ICC/INAB	Suchitepequez	Pablo dIR.	377767.30	1559921.90
20	2-2014-INAB/ESTEFFOR	La Blanca, San Marcos	Catherin H.	320792.00	1603891.00
21	2-2015-INAB/AGROACEITE	Retalhuleu, Retalhuleu	Catherin H.	336010.40	1598927.85
22	2-2015-INAB/IX2	Iztapa, Escuintla	Pablo dIR.	474342.10	1540087.80
23	2-2016-FUNDAECO/INAB	Livingston, Izabal	Pablo dIR.	673003.10	1754754.20
24	2-2016-INAB/CONAP	Sipacate, Escuintla	Pablo dIR.	437623.20	1539081.50
25	2-2016-INAB/CUNTOTO	Retalhuleu, Retalhuleu	Catherin H.	333361.23	1599009.13
26	2-2017-INAB/CONAP/CECON	El Jiote, Moyuta, Jutiapa	Pablo dIR.	530575.84	1524402.37
27	3-2012-INAB/ESTEFFOR	La Blanca, San Marcos	Catherin H.	322289.16	1603821.72

Continuación cuadro 14.

28	3-2014-ICC/INAB	Suchitepequez	Pablo dIR.	377294.00	1562127.00
29	3-2014-INAB/ESTEFFOR	La Blanca, San Marcos	Catherin H.	321297.70	1603895.80
30	3-2016 FUNDAECO/INAB	Livingston, Izabal	Pablo dIR.		
31	3-2016-INAB/CUNTOTO	Retalhuleu, Retalhuleu	Catherin H.	333099.00	1599017.00
32	3-2017- INAB/CONAP/CECON	El Jiote, Moyuta, Jutiapa	Pablo dIR.	530313.80	1524552.54
33	4-2012-INAB/ESTEFFOR	La Blanca, San Marcos	Catherin H.	319952.40	1604517.50
34	4-2014-ICC/INAB	Suchitepequez	Pablo dIR.	386010.95	1555127.60
35	4-2014-INAB/ESTEFFOR	La Blanca, San Marcos	Catherin H.	319291.00	1604387.00
36	4-2016-INAB/CUNTOTO	Retalhuleu, Retalhuleu	Catherin H.	333509.00	1599521.00
37	4-2017- INAB/CONAP/CECON	El Jiote, Moyuta, Jutiapa	Pablo dIR.	530306.07	1524847.92
38	5-2012-INAB/ESTEFFOR	La Blanca, San Marcos	Catherin H.	321249.10	1603918.30
39	5-2014-INAB/ESTEFFOR	La Blanca, San Marcos	Catherin H.	319793.10	1604383.20
40	5-2016-INAB/CUNTOTO	Retalhuleu, Retalhuleu	Catherin H.		
41	5-2017- INAB/CONAP/CECON	El Jiote, Moyuta, Jutiapa	Pablo dIR.	528833.36	1526081.75
42	6-2012-INAB/ESTEFFOR	La Blanca, San Marcos	Catherin H.	322331.50	1604420.00
43	6-2014-INAB/ESTEFFOR	La Blanca, San Marcos	Catherin H.		
44	6-2016-INAB/CUNTOTO	Retalhuleu, Retalhuleu	Catherin H.	333081.50	1598643.50
45	6-2017- INAB/CONAP/CECON	El Jiote, Moyuta, Jutiapa	Pablo dIR.	528829.72	1526114.93
46	7-2012-INAB/ESTEFFOR	La Blanca, San Marcos	Catherin H.	321118.00	1604965.28
47	7-2016-INAB/CUNTOTO	Retalhuleu, Retalhuleu	Catherin H.	331806.00	1597278.00
48	7-2017- INAB/CONAP/CECON	El Jiote, Moyuta, Jutiapa	Pablo dIR.	528967.74	1525141.65
49	8-2012-INAB/ESTEFFOR	La Blanca, San Marcos	Catherin H.	322329.80	1604925.30
50	8-2014-INAB/ESTEFFOR	La Blanca, San Marcos	Catherin H.	321291.55	1604909.26
51	8-2016-INAB/CUNTOTO	Retalhuleu, Retalhuleu	Catherin H.	332197.00	1596933.00
52	9-2016-INAB/CUNTOTO	Retalhuleu, Retalhuleu	Catherin H.	332796.00	1596364.00

Las parcelas analizadas por Catherin H., son aquellas ubicadas en la masa forestal del Manchón Guamuchal en Retalhuleu y en La Blanca en San Marcos, siendo un conjunto de parcelas bastante próximas que han recopilado información por un amplio periodo de tiempo lo cual permite realizar análisis de dinámica, captación de carbono, etc. Mientras que el resto de parcelas se encuentran más dispersas en masas forestales distantes, por lo cual los análisis son de otra naturaleza.

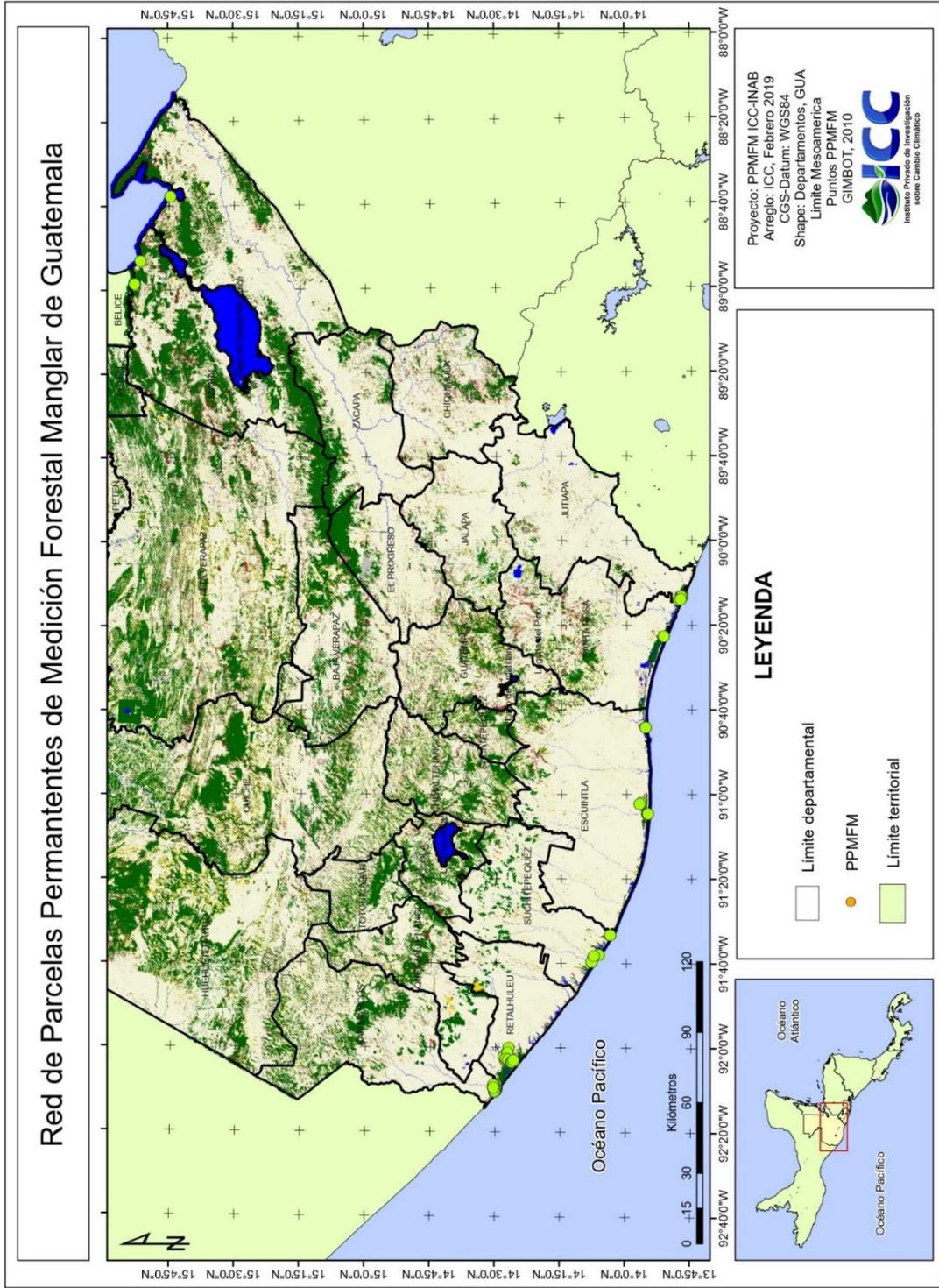


Figura 42. Red de PPMFM de Guatemala.

Cuadro 15. Resumen de resultados por parcela.

No.	CODIGO	PERIODO	CRECIMIENTO VOLUMÉTRICO (m ³)		ESPECIES	COMENTARIO
			PARCELA	HECTÁREA		
1	1-2016-INAB/R4	Solo 2016				No hubo continuación
2	1-2017-INAB/CONAP/CECON	2017-2018	8.71	174.20	Rojo	En el año 2018 se incluyeron en las mediciones 17 individuos más respecto al año anterior. Tiene muchas incongruencias en tomas de datos entre años.
3	2-2017-INAB/CONAP/CECON	2017-2018	1.30	26.04	Rojo	Solo hay 2017 y 2018
4	3-2017-INAB/CONAP/CECON	2017-2018	1.63	32.52	Rojo	Solo hay 2017 y 2018
5	4-2017-INAB/CONAP/CECON	2017-2018	0.06	1.14	Rojo	Solo hay 2017 y 2018
6	5-2017-INAB/CONAP/CECON	2017-2018	0.94	18.83	Negro y muy poco botoncillo	Solo hay 2017 y 2018, en el año 2018 se incluyeron en las mediciones 20 individuos más respecto al año anterior.
7	6-2017-INAB/CONAP/CECON	Solo 2017			Negro	Solo hay info 2017
8	7-2017-INAB/CONAP/CECON	2017-2018	1.27	25.33	Rojo	Solo hay 2017 y 2018
9	2-2015-INAB/IX2	2015-2018	0.40	7.94	Principalmente blanco, negro y muy poco rojo.	Muchos errores en la base de datos, principalmente en las alturas.

Continuación cuadro 15.

10	1-2016- FUNDAECO/INAB	2016-2018	0.40	7.99	Mixto con dominancia de mangle rojo	Muchos errores en la base de datos, principalmente en las alturas.
11	2-2016- FUNDAECO/INAB	2016-2018	0.50	10.01	Mixto rojo, negro y blanco	Muchos errores en la base de datos, principalmente en las alturas.
12	3-2016 FUNDAECO/INAB	2016-2018			Mangle rojo	Parcela en reforestación de mangle no se puede proyectar crecimiento aún.
13	1-2017- FUNDAECO/INAB	2017-2018	0.33	6.64	Mangle rojo	Solo dos años de medición
14	1-2011-ICC/INAB	2011-2019	0.44	14.74	Mangle rojo	Son parcelas de 300m ²
15	1-2015-INAB/CONAP	Solo 2018				no hay información
16	1-2016-INAB/CONAP	2016-2017	1.04	20.82	Mangle negro	
17	2-2011-ICC/INAB	2011-2018	0.22	7.31	Mangle rojo	Son parcelas de 300m ²
18	2-2016-INAB/CONAP	2016-2018	2.08	41.61	Mangle rojo	
19	1-2014-ICC/INAB	2014-2019	0.77	15.47	Mixto mangle rojo y blanco	
20	2-2014-ICC/INAB	2015-2019	0.26	5.22	Botoncillo	Tala de individuos en los últimos años.
21	3-2014-ICC/INAB	2014-2019	0.14	2.83	Mangle negro	Parcela deforestada (posiblemente por cambios en las condiciones del hidropereodo)
22	4-2014-ICC/INAB	2014-2019	0.84	16.72	Mixto mangle rojo y blanco	El último año hubo extracción de varios individuos

A continuación, se presentan una serie de gráficas comparativas entre tasas de crecimiento diamétrico y volumétrico de las diferentes parcelas analizadas en el documento:

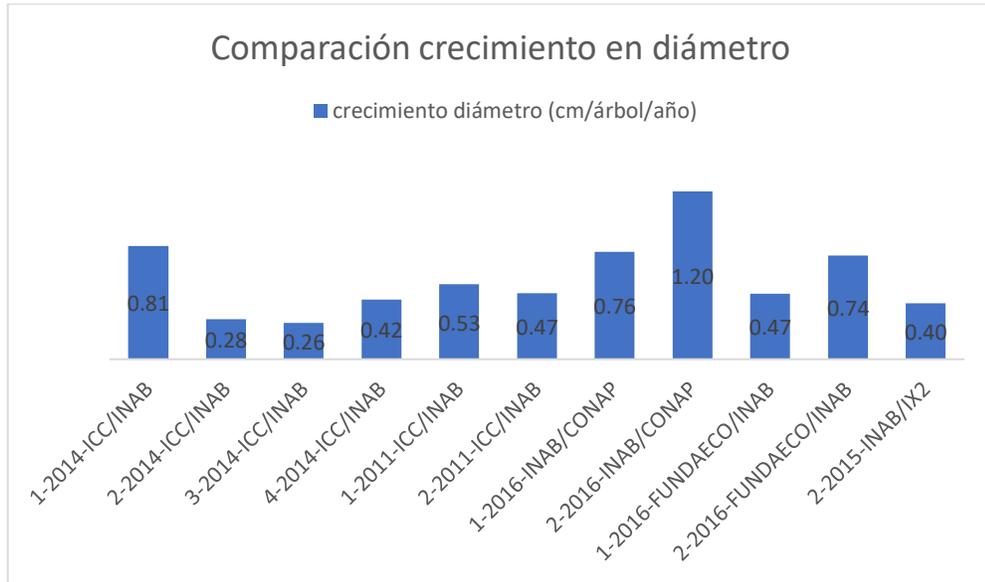


Figura 43. Comparación del crecimiento diamétrico de parcelas analizadas.

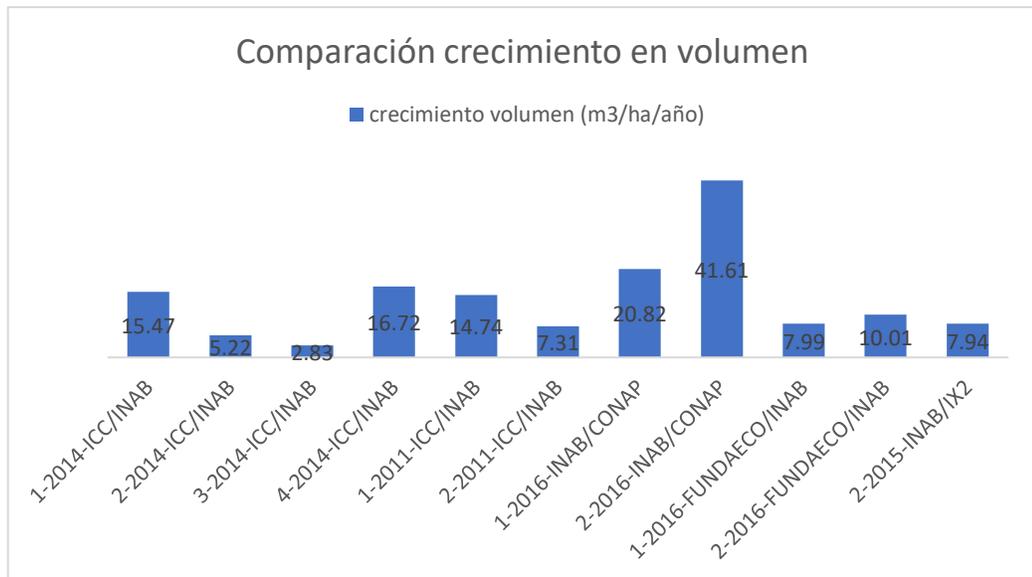


Figura 44. Comparación en el crecimiento volumétrico de las parcelas analizadas.

Dichas gráficas acogen las parcelas cuyo coeficiente de correlación (R^2) supera el 0.70 lo cual permite inferir una representatividad de la información con una menor incertidumbre. De igual forma se compararon los crecimientos en las variables mencionadas entre parcelas con el mismo tipo de mangle, las gráficas se presentan a continuación:

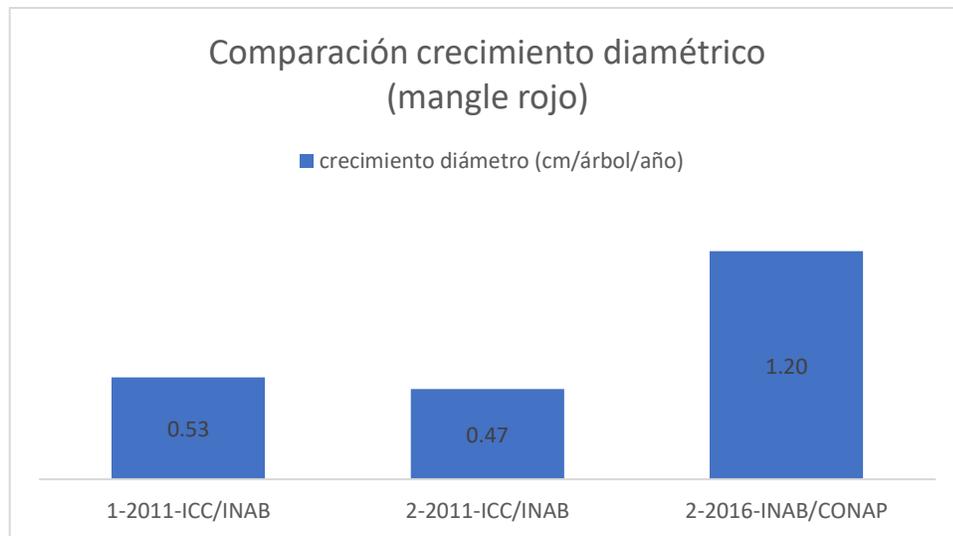


Figura 45. Comparación del crecimiento diamétrico de las parcelas con mangle rojo.

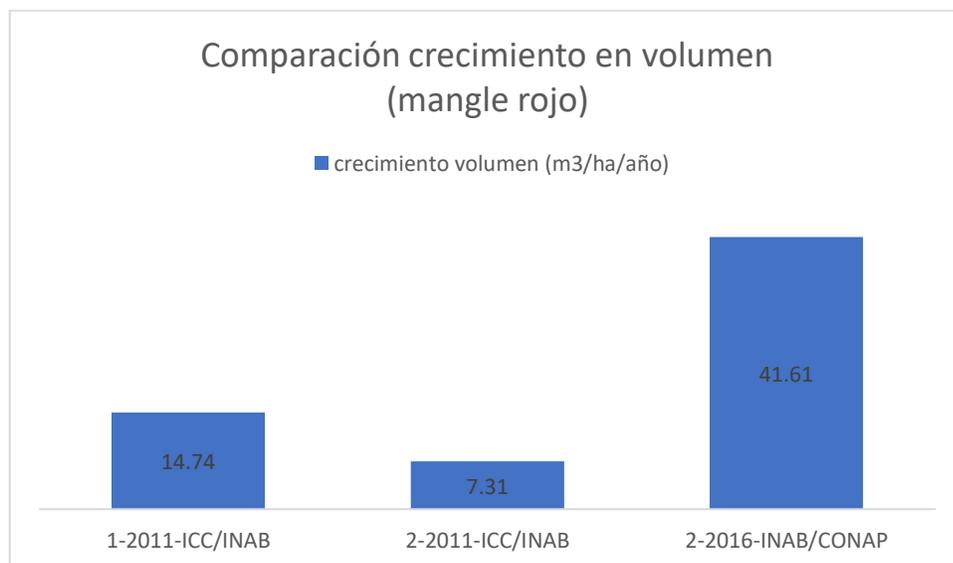


Figura 46. Comparación del crecimiento volumétrico de las parcelas con mangle rojo.

Las parcelas 1-2011-ICC/INAB y 2-2011-ICC/INAB son parcelas que se ubican a 700 m de distancia una de otra ambas con dominancia de mangle rojo y la diferencia del crecimiento volumétrico es casi el doble, mientras que la diferencia del crecimiento diamétrico es similar (0.5 cm/árbol/año en promedio) por lo cual se generó la diferencia en crecimiento en altura y se encontró lo siguiente:

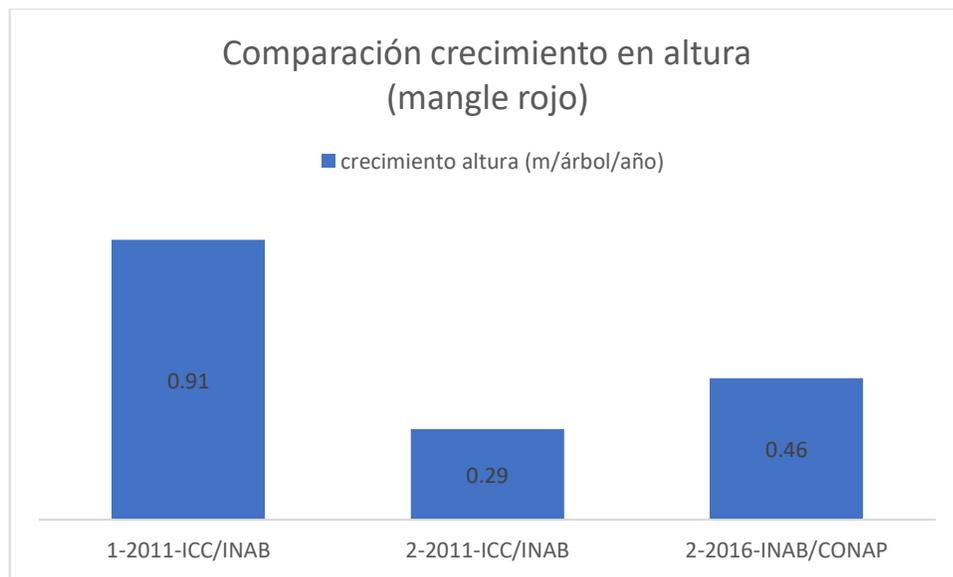


Figura 47. Comparación del crecimiento en altura para las parcelas con mangle rojo.

Gráfica donde se evidencia que mientras que en la parcela 1-2011-ICC/INAB los individuos crecen 0.91 m/árbol/año en la parcela 2-2011-ICC/INAB los individuos crecen solamente 0.29 m/árbol/año (esto siendo promedio de 9 años de medición). Para ello hay que considerar además que el mecanismo actualmente utilizado para la medición de alturas genera un sesgo significativo, si asumiéramos que el sesgo es bajo y la diferencia expresa el comportamiento real y natural de los individuos entonces el crecimiento en altura es sumamente importante en la predicción del crecimiento en mangle.

Para mangle negro solamente se cuenta con información de dos parcelas que se incluyen dentro del análisis comparativo. La parcela 3-2014-ICC/INAB (ubicada en la costa de Suchitepéquez) y 1-2016-INAB/CONAP (ubicada en Sipacate) presentan un comportamiento de crecimiento diamétrico (cm/árbol/año) sumamente distinto; mientras en Suchitepéquez el mangle negro creció a razón de 0.26 cm/árbol/año en Sipacate los individuos crecen en promedio anualmente 0.76 cm, ello sumado tasas de crecimiento en altura igual de distantes.

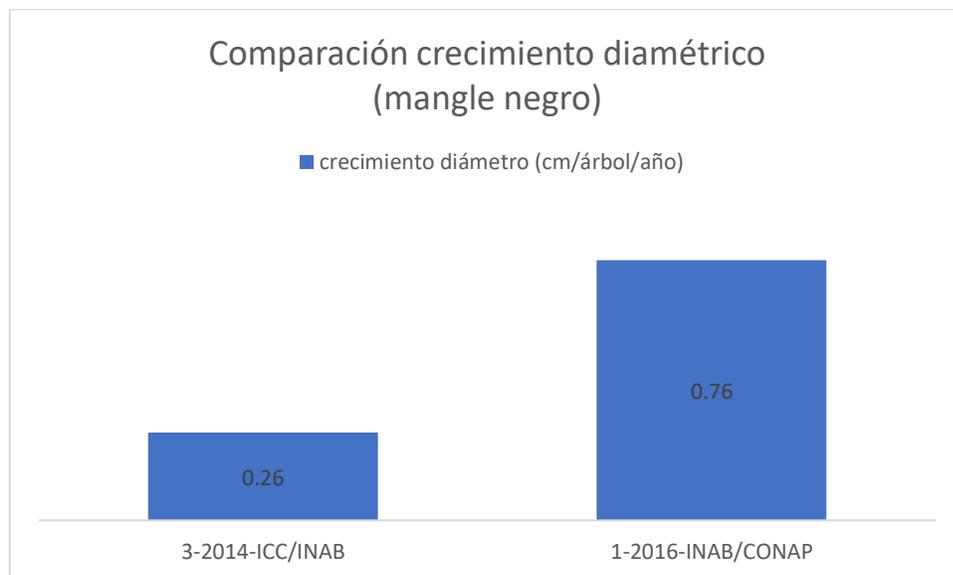


Figura 48. Comparación del crecimiento diamétrico en parcelas con mangle negro.

La población de mangle negro en Suchitepéquez pertenece a la parcela donde el fenómeno de mortandad en el periodo 2018-2019 fue del 90% de individuos donde la hipótesis es la alteración fisiológica por cambios en el hidroperiodo al interactuar la población con la apertura y cierre de la boca barra. Por ello la diferencia en tasas de crecimiento para ambas variables. Es necesario ampliar y dar seguimiento a las parcelas ubicadas en mangle negro para obtener información más representativa y permitir evaluar y comparar.

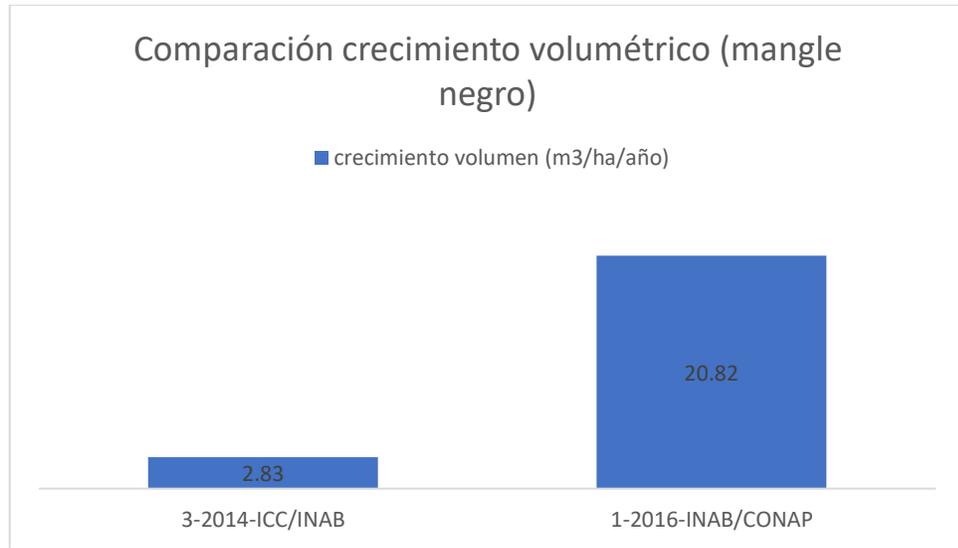


Figura 49. Comparación del crecimiento volumétrico de parcelas con mangle negro.

Como bosque mixto fueron consideradas aquellas parcelas donde se encuentran dos o más especies de mangle sin dominancia de una de ellas. Para esta comparativa se utilizaron tres una parcela ubicada en los núcleos manglares de Suchitepéquez, otra en Puerto Iztapa y la última por FUNDAECO en Livingston.

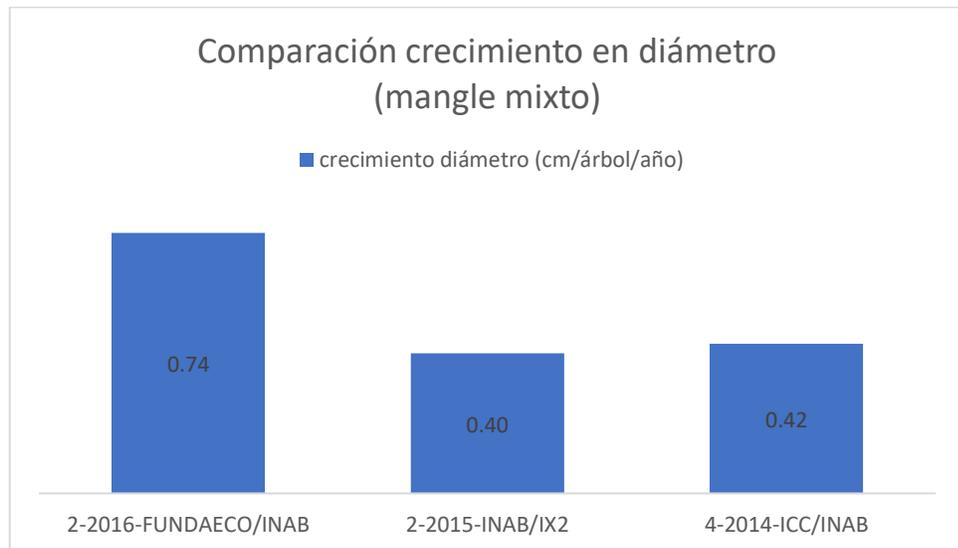


Figura 50. Comparación en el crecimiento diamétrico en parcelas con mangle mixto.

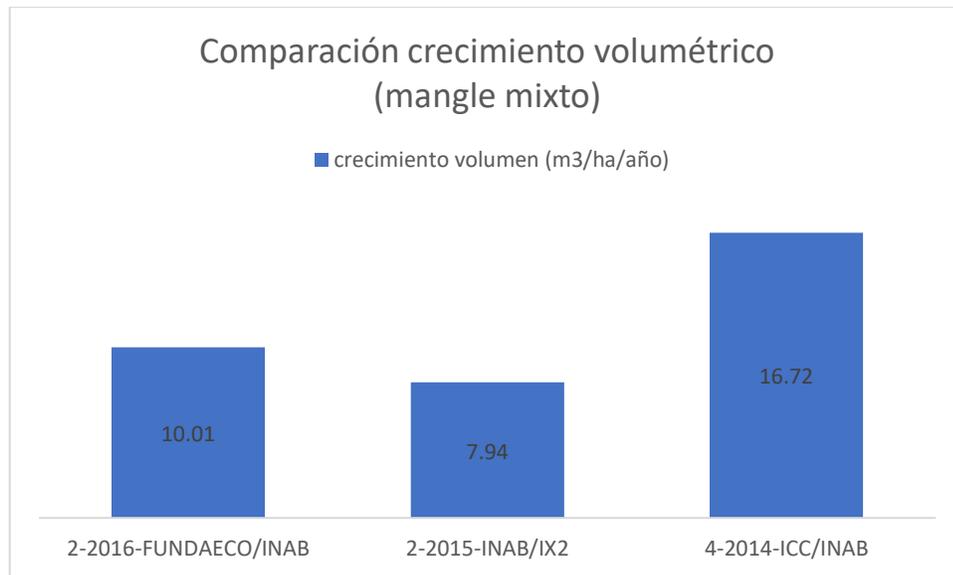


Figura 51. comparación del crecimiento volumétrico en parcelas con mangle mixto.

El mangle mixto de la parcela ubicada en puerto Iztapa presenta un crecimiento bastante similar a la parcela que se ubica en Suchitepéquez, lo cual podría ser un indicador de una dinámica similar en este tipo de bosque manglar, sin embargo en crecimiento volumétrico la diferencia se hace bastante significativa y ello podría ser tanto resultado del sesgo en la toma de datos de altura o que los individuos en Suchitepéquez crecen más en altura que las ubicadas en suroriente y surcentral del país.

3.4.1.4. Conclusiones

- A. La medición y mantenimiento de las PPMFM del ICC se ejecutó exitosamente durante varias jornadas, sin embargo, los datos recabados actualmente en la mayoría de parcelas analizadas generalmente se reducen a las variables: diámetro a la altura del pecho -DAP-, altura de fuste, altura de raíces, estado fitosanitario y claro, el reclutamiento de individuos que recién superan el diámetro mínimo.

Sin embargo, la metodología estipula la importancia en la medición de variables como la altura del agua (la cual debe ser tomada cada año en época seca), salinidad intersticial, altura de neumatóforos, fuente de inundación, hidroperiodo (frecuencia de inundación, altura de lámina de agua, duración de inundación), entre otras.

Todas ellas con la finalidad de permitir hacer investigación que ayude a explicar fenómenos naturales complejos como las diferencias en productividad y captación de carbono, identificación de las variables que expliquen mejor la distribución natural de las especies de mangle, fauna y flora asociada, incidencia de fenómenos climáticos, entre otros estudios relevantes y complementarios.

- B. Es evidente que es muy complejo el manejo de la información generada por la cantidad de variables que se toman en campo, la periodicidad y la digitalización. En la mayoría de casos los errores en la base de datos son el reflejo de errores desde la toma de datos en campo, por ello es necesario que todas aquellas personas que participen en la medición de PPMF se encuentren correctamente capacitadas para reducir los errores e incongruencias que generan incerteza y sesgo en los posteriores análisis, atrasando los procesos de investigación.

- C. El crecimiento promedio de todas las parcelas analizadas en este documento sería de 15 m³/ha/año siendo este un dato que podría servir como referencia para la toma de decisiones por los diferentes actores interactuantes e interesados (hasta la generación de datos más precisos). Por el momento no es posible la generación de promedios en el crecimiento de los diferentes tipos de bosque manglar (rojo, negro, mixto, etc.) debido a que la varianza sería bastante grande considerando las distintas tasas de crecimiento.

Además, no es posible asumir que el crecimiento de un tipo del mangle puede ser el mismo en toda una región considerando los resultados enlistados en el cuadro resumen. Como se evidencia en la gráfica comparativa para las parcelas con mangle rojo, las parcelas 1 y 2-2011-ICC/INAB ubicándose a 700 m de distancia (aprox.) una de la otra, tienen comportamiento en el crecimiento sumamente diferente, donde una crece 7 m³/ha/año y la otra 14 m³/ha/año. Entre este ejemplo y varios que podrían mencionarse la conclusión más importante sería que se debe de aumentar la cantidad de unidades muestrales y expandir la distribución de las mismas para mejorar la representatividad, así como favorecer que exista una toma de decisiones más asertiva.

- D. Las alturas evidentemente se constituyen como la variable cuya medición reincide con más errores casi en todas las parcelas analizadas en este documento. Es de suma importancia que las instituciones que son parte cooperante de las mediciones anuales de dichas parcelas deben comprender que el equipo es imprescindible. Se tiene conocimiento de que el aparato que con mayor frecuencia se utiliza es el hipsómetro SUUNTO, tanto por su precio accesible como por su simpleza análoga. Sin embargo, considero que implementar el uso de aparatos digitales laser como el modelo comercial de telémetro forestal "NIKON FORESTRY PRO" es una buena alternativa que permitirá mejorar y facilitar la toma de alturas en campo.

Muchas parcelas además se encuentran en una compleja situación en la cual por su ubicación y entorno interactúan con comunidades o actividades productivas que derivan o demandan recursos del bosque como leña, agua, tránsito, etc. Es necesario mejorar la relación de los usuarios del recurso manglar, para establecer mecanismos que permitan generar la información necesaria sin la intervención excesiva de los mismos. Ya que una parcela cuyo desarrollo ha sido intervenido no permitirá generar información representativa y la incertidumbre será considerable.

3.4.1.5. Evaluación

Se realizó con éxito la medición y mantenimiento anual a todas las parcelas permanentes de medición forestal manglar que fueron establecidas por el ICC, sin embargo, encontramos evidencia del deterioro de varias masas forestales por interacción con actividades productivas como la producción de camarón, salineras y también por el tránsito y extracción de madera por parte de comunidades aledañas. Por la intervención extrema algunas parcelas tuvieron que ser suspendidas y reubicadas, lo cual implica atraso en la recopilación de información y aumenta los gastos y recursos invertidos en el proceso.

La reorganización y análisis de la base de datos asignada fue culminada exitosamente, aunque en su mayoría, las parcelas aún no cuentan con periodos de medición suficientes para alcanzar varianzas estadísticas que permitan proyectar la dinámica real del mangle.



Figura 53A. Medición y mantenimiento de PPMFM en Suchitepéquez.



Figura 54A. Medición y mantenimiento de parcela de mangle rojo, Sipacate-Naranjo.

3.4.2. Apoyo técnico en el establecimiento del Jardín botánico “los Tarros”, Ingenio la Unión

3.4.2.1. Objetivos

Objetivo general

Brindar asesoría técnica forestal para el establecimiento de un jardín botánico en la finca “Los Tarros” del Ingenio la Unión.

Objetivos específicos

- A. Identificar las especies y actualizar el inventario forestal de la primera sección del Jardín Botánico.
- B. Condensar un compendio de información técnica para el manejo de las especies.
- C. Generar un mapa de ubicación actualizable de los individuos en el jardín.

3.4.2.2. Metodología

Cuadro 16. Metodología para la asesoría técnica al Jardín Botánico.

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	PRODUCTO
Actualización de inventario de especies	<p>Realizado en la primera sección del Jardín Botánico (donde se encuentra el “esquisúchil”):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se realizó una corroboración de los individuos presentes con el listado previamente generado. 2. Corroboración individuos desconocidos, se procedió a colecta botánica para su identificación en herbario AGUAT de la FAUSAC, con el apoyo del Ing. Agr. Juan José Castillo. 3. Se describió su estado fitosanitario, su estado de crecimiento, su forma, entre otros aspectos técnicos y estéticos. 4. Todos los individuos fueron identificados con un código y su nombre científico (identificación temporal previo a una rotulación oficial según ILU). 5. Se tomó la ubicación de cada individuo con GPS. 	<p>Inventario actualizado con codificación (en Excel) de todos los individuos presentes en la primera sección del jardín botánico.</p> <p>Rotulación temporal de individuos de la primera sección del jardín botánico.</p>

Continuación cuadro 16.

<p>Condensación de base de datos de información técnica para el manejo de las especies</p>	<p>Elaboración de una base de datos compuesta por la siguiente información:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Taxonomía 2. Estado fitosanitario del individuo 3. Descripción del hábitat de la especie 4. Fenología (época de floración-fructificación) 5. Distribución geográfica 6. Importancia ecológica 7. Importancia económica 8. Categoría y estado de conservación de la especie (exótica, endémica, abundante, en peligro etc.) 9. Manejo recomendado 	<p>Base de datos de información técnica de los individuos en formato excel.</p>
--	---	---

Continuación cuadro 16.

<p>Generación de mapa de ubicación actualizable</p>	<p>Igualmente, realizado en la primera parte del jardín botánico:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se exportó información disponible del jardín botánico como linderos, caminos, etc. a formato shape. 2. Se generó el mapa de ubicación de individuos georreferenciados según puntos tomados en campo 3. Se agregó información a tabla de atributos del mapa. 	<p>Mapa de distribución de individuos actualizable en varios formatos (pdf, jpg, shape)</p>
---	--	---

3.4.2.3. Resultados

Inicialmente se realizó un recorrido por el jardín con el apoyo del Ing. Agr. Juan José Castillo, con la finalidad de determinar cuáles eran los individuos ya identificados. Posteriormente se realizó una colecta de muestras de individuos desconocidos para su identificación en el herbario -AGUAT- de la Facultad de Agronomía -FAUSAC- con el apoyo del Ing. Juan José y el Ing. David Mendieta (figura 55).



Figura 55. Identificación de especímenes en el herbario -AGUAT-, FAUSAC. Proceso de herborizado de especímenes.

En otra visita se procedió a la toma de datos en campo donde en una libreta se registraba la ubicación de la planta con GPS, la información fitosanitaria y la descripción del entorno. Así mismo, se colocó la identificación temporal, la cual tiene el objetivo de ayudar a los encargados del jardín botánico cuando diseñen y coloquen rótulos permanentes (figura 56).

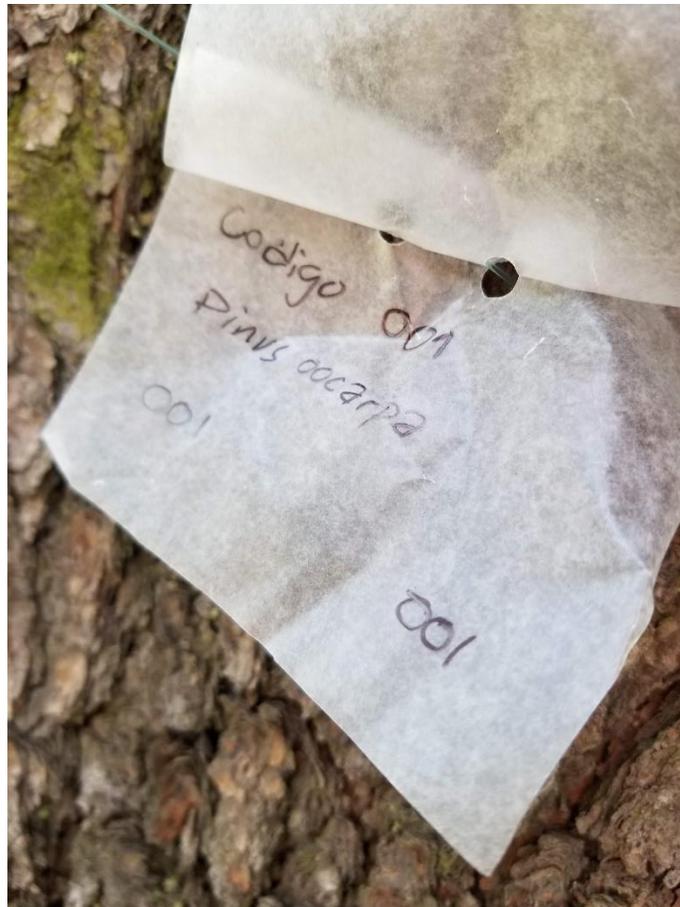


Figura 56. Identificación temporal de individuos en el jardín botánico.

En la fase de gabinete se digitalizó la información contenida en la libreta de campo, generando un inventario de 231 individuos de 44 especies para la primera sección del jardín botánico (cuadro 17).

Cuadro 17. Listado de especies identificadas.

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	NO. INDIVIDUOS
<i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda	Palo blanco	16
<i>Terminalia catappa</i> L.	Almendro	14
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	Matilisguate	13
<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) H.Karst.	Castaño	12
<i>Spathodea campanulata</i> P.Beauv.	Llama del bosque	11
<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook.) Raf.	Flamboyán	10
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	Eucalipto	10
<i>Annona squamosa</i> L.	Anona	9
<i>Cocos nucifera</i> L.	Coco	9
<i>Persea americana</i> Mill.	Aguacate	9
<i>Bauhinia purpurea</i> L.	Costa rica	8
<i>Inga paterno</i> Harms	Paterna	8
<i>Coffea canephora</i> Pierre ex A.Froehner	Café	7
<i>Lagerstroemia indica</i> L.	Orgullo de la India	7
<i>Grevillea robusta</i> A.Cunn. ex R.Br.	Gravilea	6
<i>Inga jinicuil</i> Schldl.	Inga	6
<i>Mangifera indica</i> L.	Mango	6
<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	Sauce	5
<i>Citrus aurantiifolia</i> (Christm.) Swingle	Limón	4
<i>Crescentia cujete</i> L.	Morro	4
<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	Madrecacao	4
<i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schldl.	Pino	4
<i>Plumeria rubra</i> L.	Plumeria	4
<i>Colubrina arborescens</i> (Mill.) Sarg.	Coshté	3
<i>Diphysa americana</i> (Mill.) M.Sousa	Guachipilín	3
<i>Ficus pertusa</i> L.f.	Amate	3
<i>Ficus sycomorus</i> L.	Sicomoro	3
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D.Don	Jacaranda	3
<i>Macadamia integrifolia</i> Maiden & Betche	Macadamia	3
<i>Macadamia tetraphylla</i> L.A.S.Johnson	Macadamia	3
<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E.Moore & Stearn	Zapote	3
<i>Brosimum costaricanum</i> Liebm.	Ramón	2
<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	Naranja	2
<i>Erythrina berteroana</i> Urb.	Palo de pito	2
<i>Inga vera</i> Willd.	Inga	2
<i>Trichilia havanensis</i> Jacq.		2

Continuación cuadro 17.

<i>Bourreria huanita</i> (Lex.) Hemsl.	Esquisúchil	1
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Nance	1
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Ceiba	1
<i>Inga paterno</i> Harms	Paterna	1
<i>Jatropha curcas</i> L.	Piñón	1
<i>Mammea americana</i> L.	Mamey	1
<i>Morinda citrifolia</i> L.	Noni	1
<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	Pumpujush	1
<i>Podocarpus guatemalensis</i> Standl.	Podocarpus	1
<i>Spondias purpurea</i> L.	Jocote	1

Con esta información se generó un mapa de ubicación en un formato actualizable KMZ (formato de Google earth) y también en formato shape (figura 57).

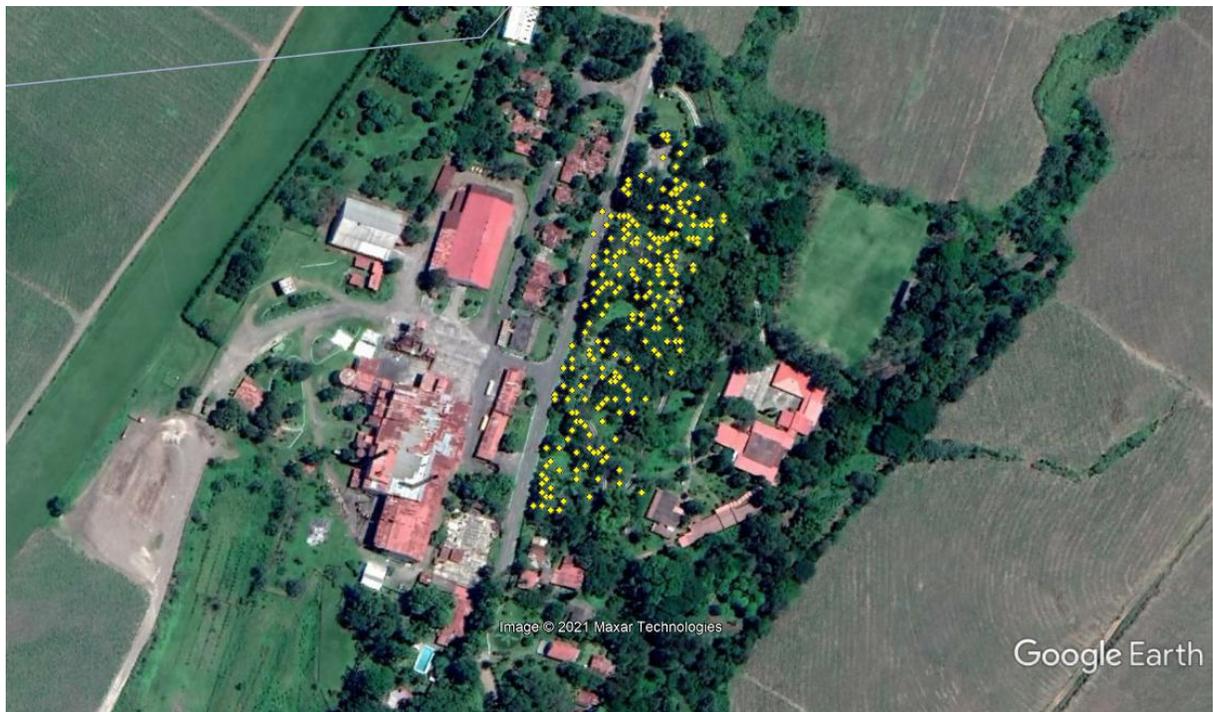


Figura 57. Mapa de ubicación actualizable

Cuadro 18. Ejemplo de base de datos de información técnica.

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	ORIGEN	HÁBITAT	FENOLOGÍA	DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA	IMPORTANCIA ECOLÓGICA	USOS	ESTADO DE CONSERVACIÓN	MANEJO RECOMENDADO
Paterno; Paterna	Inga paterno Harms	Leguminosae	Nativa	Es un árbol de formaciones secundarias, de alturas medias. Desde el nivel del mar hasta la altura de 2000 msnm.	La formación de flores y frutos comienza generalmente a los 3 años y florece en época seca al igual que el resto de especies del género Inga.	Desde el sur de México hasta Costa Rica	Fuente neotárea de diferentes especies de abejas. Así como la capacidad de fijar nitrógeno en el suelo y como alimento para una gran diversidad de fauna tanto del fruto como de la semilla.	Tienen un gran valor para la apicultura comercial se consume el mesocarpo jugoso que rodea la semilla; la semilla igual es comestible luego de hervida. Su madera se puede ocupar para leña, se utiliza además por propiedades medicinales.	Menor preocupación (UICN-REDLIST), Manejo especial, uso controlado (LEA-categoría3)	La especie en etapas juveniles es susceptible a reprimirse por competencia es necesario su exposición a la luz del sol, aunque tolera sombra moderada.

3.4.2.4. Evaluación

Se entregaron satisfactoriamente los productos acordados entre el ICC, el departamento de seguridad social del Ingenio la Unión y el Ing. Agro. Juan José Castillo (quien ha sido asesor externo en apoyo al jardín botánico), los cuales se enlistan a continuación:

- Mapa de distribución actualizable
- Inventario de las especies identificadas.
- Información para el manejo técnico de las especies identificadas.

Es importante resaltar que finalizar las actividades llevó más tiempo del planificado en el cronograma de actividades del plan de servicios, debido a que se pospuso varios meses la visita de campo acompañada por el Ing. Agro. Juan José, quien llevaba el registro de las especies que se han identificado e introducido en los últimos años.

Solamente se generaron los productos para la sección conocida como “El Tarral” ya que, con la extensión del jardín botánico y el periodo de tiempo disponible de prácticas, no era posible ejecutar las actividades para la totalidad del jardín, especialmente en la sección conocida como “El Hormigo”.

3.5. BIBLIOGRAFÍA

1. Arguedas-Jiménez, L., Cordero-Solórzano, J. M., Gómez-Obando, P., Villalobos-Rodríguez, K., & Garro-Monge, G. (1). Morinda citrifolia (Noni) y sus posibles efectos como planta medicinal. *Revista Tecnología En Marcha*, 17(1), pág. 30-33.
2. Bowen, JE. 1991. Nuez de macadamia, tropical y promisoría. *Agricultura de las Américas*. 40(5): 30-32,34-36.
3. CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres). 2012. Glosario CITES (en línea). Consultado 2019. Disponible en: <http://www.cites.org/esp/resources/terms/glossary.shtml>
4. Cordero, J., Boshier, D., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza., & Oxford Forestry Institute. (2003). Árboles de Centroamérica: Un manual para extensionistas. Turrialba: CATIE.
5. Galindo Tovar, M. E.; Lee Espinosa, H. E.; Murguía González, J.; Leyva Ovalle, O. R.; Landero Torres, I. 2013. Domesticación y distribución geográfica de *Persea americana* Mill. en la época precolombina *Revista de Geografía Agrícola*, núm. 50-51, enero-diciembre, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México, pp. 65-70
6. Gärtner, J. Gärtner, Karl Friedrich von. 1801. *De fructibus et seminibus plantarum*. Lipsiae : Sumtibus Caroli Friedrici Enochii Richteri
7. Gilman, E.F. 1999. *Colubrina arborescens*. Fact Sheet FPS-137. University of Florida, Cooperative Extension Service, Gainesville, FL. 3 p.

8. *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth, Repert. Bot. Syst. (Walpers) 1(4): 679 (1842).
9. Ibarra-Puón, J.C., Aguirre-Medina, J.F., Ley-De Coss, A., Cadena-Iñiguez, J., Zavala-Mata, G.A. 2014. *Coffea canephora* (Pierre) ex Froehner inoculado con micorriza y bacteria fijadora de nitrógeno en vivero. Revista Chapingo. Serie horticultura, 20(2), 201-213.
<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.09.027>
10. Imágenes satelitales disponibles en software Google Earth, consultadas durante octubre del año 2019.
11. INAB, 2019. Base de datos de la Red de Parcelas Permanentes de Medición Forestal en Bosque Natural del Ecosistema Manglar.
12. INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES; INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO; CONSEJO NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS, 2016. Metodología para el establecimiento y mantenimiento de Parcelas Permanentes de Medición Forestal –PPMF- en Bosque Natural del Ecosistema Manglar. 32.pp.
13. Méndez, L. I. 2014. “Paquete Tecnológico Café Robusta (*Coffea canephora* P.). Establecimiento y Mantenimiento. Programa Estratégico para el Desarrollo Sustentable de la Región Sur-Sureste de México: Trópico Húmedo 2011. SAGARPA-INIFAP” (en línea) www.inifap.gob.mx/Documents/inicio/paquetes/cafe_robusta.pdf : 18 marzo del 2017].
14. Navarrete-Tindall, Nadia; Aragon, Hugo. 2002. *Inga paterno* Harms. In: Vozzo, J. A., ed. Tropical Tree Seed Manual: Part II, Species Descriptions. Agric.

Handb. 712. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 523-525

15. Orwa C, A Mutua, Kindt R , Jamnadass R, S Anthony. 2009. Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0 (<http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/treedatabases.asp>)
16. Ospina, J. A. 2002. *Pachira aquatica* Aubl. In: Tropical Tree Seed Manual. (J.A.Vozzo, Editor). USDA, Forest Service. Washington, D. C.p.p. 595-596
17. Parrotta, John A. 1993. *Cocos nucifera* L. Coconut, coconut palm, palma de coco. SO-ITFSM-57. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 7 p.
18. Piedra-Malagon, E.M.; Ramírez-Rodríguez, R.; Ibarra-Manríquez, G. 2006. El género *Ficus* (Moraceae) en el Estado de Morelos, México. Act. Bot. Mex [online]. n.75, pp.45-75. ISSN 2448-7589.
19. Rojas-Rodríguez, Freddy & Torres-Córdoba, Gustavo. (2016). Árboles del Valle Central de Costa Rica: reproducción Frangipani (*Plumeria rubra* L.). Revista Forestal Mesoamericana Kurú. 14. 74. 10.18845/rfmk.v14i34.2993.
20. Sánchez, M. *Lagerstromia Indica* – Árbol de júpiter. La Cultura del Árbol. Marzo. PP. 30 y 31. (PDF). España.
21. Terence D. Pennington, Brian T. Styles and D. A. H. Taylor Source: Flora Neotropica, Vol. 28, Meliaceae, with Accounts of Swietenioideae and Chemotaxonomy (Dec. 4, 1981), pp. 1-470





EF. Sem. 59/2020

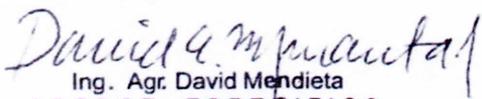
EL TRABAJO DE GRADUACION TITULADO: "MODELADO DE LA DISTRIBUCION POTENCIAL DE ESPECIES FORESTALES DE INTERES PARA LA RESTAURACION, CONSERVACION Y USO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA VERTIENTE DEL PACIFICO, GUATEMALA, C.A."

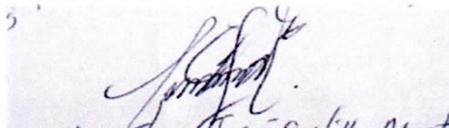
DESARROLLADO POR EL ESTUDIANTE: PABLO ERNESTO DE LA ROCA

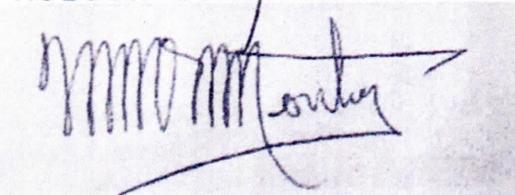
GONZALEZ CARNE: 201400618

HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Oscar Medinilla
 Ing. Agr. David Mendieta
 Ing. Agr. Juan José Castillo Mont
 Dr. Marco Vinicio Fernandez Montoya

Los Asesores y la Direccidn del Instituto de Investigaciones Agronomicas y Ambientales de la Facultad de Agronomia, hace constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y el Reglamento de este Instituto. En *tab* sentido pase a la Direccion del Area Integrada para lo procedente.


 Ing. Agr. David Mendieta
 ASESOR ESPECIFICO


 Ing. Agr. Juan José Castillo Mont
 ASESOR ESPECIFICO



Dr. Marco Vinicio Fernandez Montoya
 DOCENTE-ASESOREPS



Ing. Agr. Carlos Fernando López Búcaro
 DIRECTOR DEL IIA

CFLB/nm
 c.c. Archivo



Pablo de la Roca
 2102/21

Edificio T-8,
 Of. A-10 y A-

Ref. SAIEPSA.32.2021

Guatemala, 16 de abril de 2021

TRABAJO DE GRADUACIÓN: MODELADO DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE ESPECIES FORESTALES DE INTERÉS PARA LA RESTAURACIÓN, CONSERVACIÓN Y USO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN EL INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO, GUATEMALA, C.A.

ESTUDIANTE: PABLO ERNESTO DE LA ROCA GONZÁLEZ

No. CARNÉ 201400618

Dentro del Trabajo de Graduación se presenta el Capítulo II que se refiere a la Investigación titulada:

“MODELADO DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE ESPECIES FORESTALES DE INTERÉS PARA LA RESTAURACIÓN, CONSERVACIÓN Y USO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO, EN EL INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO, GUATEMALA, C.A.”

LA CUAL HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES:

Ing. Agr. Oscar Medinilla
Ing. Agr. Juan José Castillo, Ing. Agr. David Mendieta
Dr. Marco Vinicio Fernández

Los Asesores de Investigación, Docente Asesor de EPSA y la Coordinación del Área Integrada, hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y Reglamento de la Facultad de Agronomía. En tal sentido, pase a Decanatura.

“Id y Enseñad a Todos”



Vo. Bo. Ing. Agr. M.A. Pedro Peláez Reyes
Coordinador Area Integrada – EPS





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



No. 35.2021

Trabajo de Graduación:	"MODELADO DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE ESPECIES FORESTALES DE INTERÉS PARA LA RESTAURACIÓN, CONSERVACIÓN Y USO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN EL INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO, GUATEMALA, C.A. "
Estudiante:	Pablo Ernesto De la Roca González
Carné:	201400618

"IMPRÍMASE"

Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
DECANO

