



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

ESCUELA DE POSGRADO

Cambios del hábitat disponible de especies arbóreas por efectos del cambio
climático y su influencia en la conservación y provisión de servicios
ecosistémicos en dos ecorregiones de Costa Rica

por

Carmen Marcela Osorio Pérez

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de

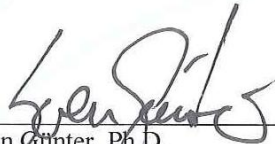
Magister Scientiae en Manejo y Conservación de
Bosques Naturales y Biodiversidad

Turrialba, Costa Rica, 2013

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DE
BOSQUES TROPICALES Y BIODIVERSIDAD**

FIRMANTES:



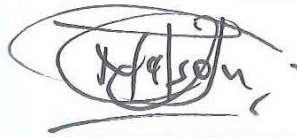
Sven Günter, Ph.D.
Director de tesis



Pablo Imbach, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Claudia Bouroncle, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Nelson Zamora, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Thomas Dormody, Ph.D. / Francisco Jiménez, Dr. Sc.
Decano / Vicedecano de la Escuela de Posgrado



Carmen Marcelá Osorio Pérez
Candidata

DEDICATORIA

A mis padres Marcelo y Ana Carmen y mi hermana Lidia, cada uno contribuyó enormemente a empezar y finalizar esta meta, recordándome diariamente el significado de la responsabilidad, el entusiasmo y el coraje.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por estar presente cada día y por ser el motor espiritual de cada ser humano.

Al Perú, tierra de todas las sangres, gracias por mostrarme tu belleza en todos los aspectos

A mi mamá, porque su fuerza y valor me enseñan a superar todo obstáculo

A mi papá, por su dedicación y esfuerzo

A mi hermana Lidia, por ser mi soporte moral y anímico

A todas mis amistades, en mi país, fuera de él y las que cultivé aquí en CR.

A la UNALM, mi Alma Mater, por haberme forjado en el mundo forestal

A la OEA, Organización de los Estados Americanos, por su confianza en la asignación de la beca, sin su apoyo no hubiera sido posible haber vivido esta aventura mezclada de aprendizaje, amistad y madurez.

A mi Comité Consejero: Sven Guenter, por la propuesta del estudio y el seguimiento en todo el proceso; Pablo Imbach, por sus enseñanzas y exigencia en la búsqueda de respuestas; Claudia Bouroncle, por su enfoque del tema y orden en todo el estudio y Nelson Zamora, por sus aportes minuciosos en la ecología de bosques. Gracias a todos por su disposición en todo momento.

A Manuel Vargas, por su valioso y sincero apoyo en la obtención de información de la base de datos Atta del INBio.

A Sergio Vílchez, quedo corta en agradecerle por su paciencia y voluntad en explicarme las herramientas estadísticas y su aplicación en la ecología.

A Christian Brenes y Juan Carlos Zamora por el gran apoyo en el buen procesamiento de mapas.

A Marco Vinicio, por facilitarme información y sus oportunas recomendaciones para la ejecución de mis entrevistas en Osa.

A tantas personas como Dennis Vásquez, Víctor Sojo, Leonardo, Juan Blanco, Juan José Jiménez, por facilitarme los datos de mis entrevistados en Osa; así como a Emel Rodríguez, José Joaquín Rodríguez, Luis Alberto, Milena Gutiérrez y Marina Rosales por su valioso apoyo en la búsqueda de mis entrevistados en Guanacaste.

A Marvin López, gracias por mostrarme un poco la belleza de Osa y ayudarme a llegar a las viviendas de los entrevistados.

A los amigos que conocí durante la búsqueda de las entrevistas: Doña Bertha, Don Carlos, Doña Adamaris, muchas gracias por sus consejos, compañía y nobleza.

A todos y todas, y a las muchas personas amigas que no he nombrado y que siempre me dieron su voz de aliento, muchísimas gracias sinceramente.

ANTECEDENTES

Esta investigación fue apoyada por el Proyecto “Biodiversidad Marino-Costera en Costa Rica – Desarrollo de Capacidades y Adaptación al Cambio Climático (BIOMARCC)”. BIOMARCC es un proyecto de apoyo al SINAC, ejecutado por la Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH por encargo del Ministerio del Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) de la República Federal de Alemania en el marco de su Iniciativa Internacional de la Protección del Clima (International Climate Initiative -ICI).

Al ser uno de los pilares del proyecto la formulación de estrategias de adaptación al cambio climático, los resultados y el análisis de implicancias sobre los efectos del cambio climático (CC) en las zonas del estudio serán un aporte en la mejora de la gestión de estrategias de conservación a nivel regional, toda vez que generará información apreciable del hábitat disponible de especies arbóreas globalmente amenazadas y las áreas posiblemente afectadas por el cambio climático.

El CATIE, como institución tropical dedicada a la enseñanza e investigación asume y dirige este estudio en la búsqueda de alternativas y soluciones para el ambiente

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
ANTECEDENTES.....	VI
CONTENIDO.....	VII
RESUMEN.....	X
SUMMARY.....	XII
ÍNDICE DE CUADROS.....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	XVI
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MARCO CONCEPTUAL.....	3
2.1 Escenarios de clima futuro.....	3
2.2 Efectos del cambio climático.....	4
2.3 Modelos de distribución de especies.....	5
2.3.1 <i>Factores considerados en la construcción de modelos</i>	6
2.3.1.1 Calidad de datos de la localización de la especie.....	6
2.3.1.2 Variables predictoras seleccionadas.....	6
2.3.1.3 Algoritmo o método estadístico.....	7
2.4 MAXENT (Máxima Entropía).....	7
2.5 Áreas protegidas y corredores biológicos como mecanismo de adaptación.....	9
2.6 Servicios ecosistémicos (SE).....	10
3 Análisis de los cambios en la distribución de especies arbóreas en dos ecorregiones naturales de Costa Rica a escenario futuro.....	12
3.1 Introducción.....	12
3.2 Metodología.....	13
3.2.1 <i>Área de estudio</i>	13
3.2.2 <i>Selección de especies, fuente de datos y capas ambientales</i>	14
3.2.3 <i>Modelación de hábitat disponible</i>	16
3.3 Resultados.....	17

3.3.1	<i>Variables seleccionadas y ajuste del modelo</i>	17
3.3.1	<i>Cambios en los patrones de desplazamiento espacial a nivel de Mesoamérica</i>	20
3.3.2	<i>Influencia de los umbrales</i>	24
3.3.3	<i>Cambios en los patrones de desplazamiento espacial a nivel de Costa Rica</i>	27
3.3.4	<i>Implicaciones para la conservación</i>	32
3.4	Discusión	37
3.4.1	<i>Variables seleccionadas y ajuste de modelo</i>	37
3.4.2	<i>Influencia de los umbrales</i>	38
3.4.3	<i>Patrones de desplazamiento espacial en Costa Rica</i>	39
3.4.4	<i>Implicaciones para la conservación</i>	40
3.5	Conclusiones	40
	REFERENCIAS	42
4	Servicios ecosistémicos de los árboles, su afectación por el cambio climático y la percepción de los pobladores	51
4.1	Introducción	51
4.2	Métodos	52
4.2.1	<i>Área de estudio y selección de especies arbóreas</i>	52
4.2.2	<i>Entrevistas</i>	53
4.2.3	<i>Análisis de datos</i>	53
4.3	Resultados	53
4.3.1	<i>¿Cuál es la importancia de los árboles para los entrevistados?</i>	53
4.3.2	<i>¿Cuáles son los SE de los árboles más utilizados por los finqueros?</i>	54
4.3.3	<i>Según la percepción de los finqueros entrevistados ¿Cómo afecta el CC a los árboles?</i>	55
4.3.4	<i>Afectación del CC sobre los árboles y sus SE</i>	58
4.4	Discusión	58
4.4.1	<i>SE identificados</i>	58
4.4.2	<i>Percepción del CC</i>	60
4.4.3	<i>Afectación del CC a los árboles y sus SE</i>	61

4.5 Conclusiones.....	62
REFERENCIAS	62
5 IMPLICACIONES PARA EL DESARROLLO E INSUMOS PARA POLÍTICAS PÚBLICAS	65
ANEXOS	1

RESUMEN

Es un hecho que la biodiversidad está amenazada por el cambio climático, fenómeno que ocasiona daños directos en los organismos individuales, poblaciones y la distribución de especies, viéndose necesario su monitoreo y análisis para la implementación de adecuadas acciones de conservación. Con el uso del programa MaxEnt se estimó el hábitat disponible actual y futuro (escenario B2-optimista, año 2020 y cuatro modelos globales de clima) de 26 especies arbóreas, seleccionadas por su valor de conservación, endemismo, índice de valor de importancia; valor maderable.

La mayor contribución porcentual al modelo es dada por la variable precipitación del trimestre más frío (bioclimática 19), con más del 50% en 8 especies y de 25-50% en otras 7. Respecto al valor del ajuste del modelo, la especie *Chaunochiton kappleri*, endémica de la ecorregión bosques húmedos (S), tuvo el mayor valor con 0,996, siendo el menor de 0,886 de la especie *Tabebuia rosea* presente en ecorregión bosques secos (N) y húmedos. Las categorías con más pérdida de hábitat promedio en Costa Rica en orden decreciente son: conservación (44%), valor de importancia (37%) y maderable (24), la categoría valor de conservación en la ecorregión S es la más afectada. Se reconocen dos grupos de especies: las que no se expanden y las que sí, las primeras mayormente en la ecorregión S.

Las áreas protegidas y corredores biológicos no son medidas de adaptación seguras, ya que podrían ser espacios funcionalmente útiles solo a corto plazo. La implementación de corredores biológicos con fines migratorios es sugerida en las zonas adyacentes de las áreas protegidas, la introducción de las especies más afectadas y/o vulnerables es sugerida. La aplicación de pago por servicios ambientales (PSA) para restauración es una medida complementaria para el establecimiento y mantenimiento de áreas conservadas.

Se analizaron los servicios ecosistémicos (SE) de los árboles maderables y su posible afectación por efecto del cambio climático según la percepción de familias, teniendo como referencia las zonas de Guanacaste y Osa, pertenecientes a las ecorregiones señaladas en el primer párrafo. Se realizaron 30 entrevistas semi-estructuradas en cada zona, en promedio cinco localidades por zona fueron elegidas al azar, considerando necesariamente que el capital natural contenga bosques (árboles en condición natural).

Según la percepción de los entrevistados en ambas zonas, la menor producción de flores y frutos es la principal afectación del CC sobre los árboles. A nivel de zonas, la construcción y conservación son los principales usos en Osa, siendo en Guanacaste la construcción y sombra para ganado.

La afectación del cambio climático en la mayoría de árboles estudiados fue evidente, la reducción de hábitat disponible en la mayoría de las especies así lo demuestra; sin embargo, la influencia de otros posibles vectores como el cambio de uso de suelo, deben ser analizados. Los resultados muestran que los efectos del cambio climático afectan directamente el capital natural y el capital financiero, siendo importante destacar que la capacidad de respuesta ante estos efectos está determinada por las condiciones políticas, técnicas, sociales y económicas de la ecorregión, es decir, del nivel y acceso de información, tecnología y disposición financiera (disponibilidad de pago), pero también del grado de conocimiento de las áreas afectadas. Considerando lo anterior, se pueden identificar óptimas y más efectivas acciones de adaptación.

SUMMARY

It is a fact that biodiversity is threatened by climate change, a phenomenon that causes direct damage to individual organisms, populations and species distribution. For these reasons, they need to be monitored and analyzed to implement appropriate conservation actions. Through the MaxEnt program, the current and future (B2-optimistic 2020 scenario and four global climate models) suitable habitat of 26 tree species selected for their conservation value, endemism, importance value index, value timber was estimated.

The main percentage model contribution is given by the variable precipitation of coldest quarter (bioclimatic 19), with over 50% in 8 species and 25-50% in other 7. Regarding the value of the model fit, *Chaunochiton kappleri*, endemic to rainforest eco region (S), had the youngest with 0,996; *Tabebuia rosea* had the youngest with 0,886 in dry and wet forest eco region (N). Most lost habitat was found in conservation category (44%), followed by importance value (37%) and timber (24%). The conservation value category in the eco region S was the most affected. It recognizes two species groups: those that do not expand and which if, the first group is mostly found in the eco region S.

Protected areas and biological corridors are not safe adaptation measures since they might be functionally useful spaces only short-term. The implementation of biological corridors for migration purposes is suggested in the adjacent areas of protected areas; the introduction of the most affected and / or vulnerable is suggested. The application of payments for environmental services (PES) for restoration is a measure for the establishment and maintenance of conservation areas.

It was analyzed the ecosystem services (ES) of timber tress and its possible affectation as a result of climate change according to the families perception. It included areas of Guanacaste and Osa, belonging to the eco regions identified in the first paragraph. There were 30 semi-structured interviews in each area. An average of five areas per zone was randomly chosen, only with natural environmental inside (trees in natural condition).

According to the interviewers perception in both areas, the reduced production of flowers and fruits is the main effect of CC on trees. In Osa, the construction and conservation are the main uses, while construction and shade for livestock were in Guanacaste.

In most studied trees, affectation of climate change was evident because of the reduction of suitable habitats. However, the influence of other possible vectors such as land use change must be analyzed. These results show that the effects of climate change affect natural and financial capital directly. Therefore, our capacity for respond have to be related to political, technical, social and economic characteristics such as the level and access to information, technology and financial provision (WTP), but also the degree of knowledge of the affected areas. Considering the above, we can identify more optimal and effective adaptation measures.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Servicios ecosistémicos según varias referencias	11
Cuadro 2 Variables predictoras utilizadas en el análisis del modelo de hábitat disponible ...	15
Cuadro 3 Peso relativo porcentual de las variables seleccionadas por especie	17
Cuadro 4 Variables con mayor porcentaje en el modelo por especie.....	19
Cuadro 5 Variación superficial (km ² y %) del hábitat actual y futuro de 26 especies arbóreas a nivel de Mesoamérica según modelos globales de clima con el umbral 1	20
Cuadro 6 Variación superficial (km ² y %) del hábitat actual y futuro de 26 especies arbóreas a nivel de Mesoamérica según modelos globales de clima con el umbral 2	22
Cuadro 7 Comparación porcentual del hábitat actual y futuro con traslape de cuatro modelos de clima - umbrales 1 y 2.....	24
Cuadro 8 Variación superficial (km ² y %) del hábitat futuro utilizando el umbral 2 con el traslape de cuatro modelos y la cobertura bosque en Costa Rica	27
Cuadro 9 Resumen del hábitat futuro por estrategia de conservación según categoría de especies	32
Cuadro 10 Servicios ecosistémicos de los árboles identificados como más importantes por lo entrevistados por zona (%)	54
Cuadro 11 Servicios ecosistémicos utilizados por árbol y por zona entrevistada (%)	54
Cuadro 12 Posibles afectaciones a los árboles por efecto del cambio climático por zonas entrevistadas (%).....	56
Cuadro 13 Percepción de inicio del cambio climático en años por zonas entrevistadas (%).	56
Cuadro 14 Opinión de los entrevistados sobre el cambio climático.....	56
Cuadro 15 Consecuencias del cambio climático	57
Cuadro 16 Efectos del cambio climático	57
Cuadro 17 Uso de las especies maderables por ecorregión y porcentaje de pérdida del hábitat disponible a futuro	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Marco conceptual de las familias de escenarios climáticos del IPCC	3
Figura 2 Variaciones porcentuales (eje Y) de hábitat actual y futuro a nivel de Mesoamérica con todos los modelos globales de clima por especie (eje X) con el umbral 1	22
Figura 3 Variaciones porcentuales (eje Y) de hábitat actual y futuro a nivel de Mesoamérica con todos los modelos globales de clima por especie (eje X) con el umbral 2	24
Figura 4 Comparación de la variación porcentual entre el hábitat actual y futuro estimados con el umbral 1 (MTP) y umbral 2(10%) por especie, según categoría a nivel de Mesoamérica.	26
Figura 5 Comparación de la variación porcentual entre el hábitat actual y futuro estimados con el umbral 1 (MTP) y umbral 2(10%) por especie, según ecorregión a nivel de Mesoamérica.	26
Figura 6 Cambios del hábitat disponible futuro de las especies.	29
Figura 7 Patrones distintos de desplazamiento de especies del primer grupo (que ganan hábitat).	30
Figura 8 Patrones similares de desplazamiento de especies del segundo grupo (que no ganan hábitat) hacia el sur-oeste de la ecorregión S	31
Figura 9 Comparación de especies con valor de conservación con los mayores extremos de pérdida de hábitat disponible en áreas protegidas (AP) y corredores biológicos (CB).	33
Figura 10 Hábitat futuro común entre <i>Samanea saman</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> y <i>Cordia alliodora</i> , especies que ganan hábitat disponible	34
Figura 11 Hábitat futuro común entre <i>Couratari guianensis</i> , <i>Chaunochiton kappleri</i> y <i>Tetrathylacium macrophyllum</i> , especies que no ganan hábitat disponible	35
Figura 12 Hábitat futuro común entre <i>Agonandra macrocarpa</i> , <i>Swietenia humilis</i> y <i>Lonchocarpus phaseolifolius</i> en la ecorregión N.....	35
Figura 13 Hábitat futuro común entre las especies <i>Amphitecna isthmica</i> , <i>Otoba novogranatensis</i> y <i>Platymiscium pinnatum</i> en la ecorregión S	36

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

AUC	The area under the receiver-operator characteristic curve
CCCMA	The Canadian Centre por Climate Modeling and Analysis
CITES	Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres.
CSIRO	Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
CURVA ROC	The receiver-operator characteristic curve
HADCM3	UK Hadley Centre Centre Prediction and Research
INBio	Instituto Nacional de Biodiversidad
IPCC	Intergovernmental Panel of Climatic Change
MAXENT	Máxima entropía
NIES99	Japanese Centre for Climate System Research
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
SDM	Species Distribution Model
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

1 INTRODUCCIÓN

El cambio climático (CC) constituye una de las mayores amenazas para la biodiversidad (Sala et al. 2000), especialmente de Mesoamérica, catalogada como una de las regiones del trópico más vulnerables a este fenómeno debido a sus pronunciadas variaciones en estacionalidad e intensidad de la precipitación y temperatura (Giorgi 2006) que afectará el rango de distribución geográfica de las especies (Walther et al 2002; Parmesan y Yohe 2003), y con ello, las poblaciones y comunidades; la habilidad de las plantas para migrar (Pitelka et al. 1997) y su capacidad de adaptación son factores clave en el éxito de su distribución futura (Lovejoy y Hannah 2005).

Las simulaciones realizadas para monitorear los cambios a la biodiversidad reflejan resultados imparciales porque provienen de datos incompletos o porque proceden de inferencias de escala local a global. Cuando se simulan los cambios en la biodiversidad, se suele traslapar los rangos actuales y futuros de los espacios de distribución, sin considerar o tener en cuenta los síndromes de dispersión de las especies vegetales (Howe y Smallwood 1982).

El desafío se enmarca en la necesidad no solo de obtener mejor información, sino optimizar el conocimiento respecto al funcionamiento de los ecosistemas y respuestas de la biodiversidad al CC y presiones humanas, así como desarrollar metodologías para evaluar los impactos locales (IPCC 2002). Las modelaciones ayudan a reconocer los lugares donde las condiciones climatológicas podrían desplazarse, pero es difícil estimar la capacidad de las especies para llegar a nuevos sitios adecuados (Lovejoy y Hannah 2005) porque los individuos no reaccionan de la misma manera a determinado impacto, pudiendo hacerlo a diferentes direcciones y ratios (Hannah et al. 2005).

La proyección de los modelos globales de clima señalan un aumento generalizado de la temperatura en toda la región mesoamericana desde el sureste hacia el noroeste, con diferencias que supera los dos grados centígrados para escenarios de emisiones medias (escenario favorable-B2) y un incremento evidente de las ondas de calor históricamente inexistentes (Biasutti et al. 2012). Los escenarios futuros de precipitación son más heterogéneos en espacio y tiempo, pero en promedio los modelos coinciden en predecir que habrá una reducción de la precipitación entre el norte de Costa Rica y sur de México, mostrándose anomalías positivas hacia las latitudes más altas y bajas, conformando zonas de transición con alto grado de incertidumbre entre modelos hacia la zona sur de Costa Rica, Panamá y centro y norte de México (Biasutti et al., 2012; Imbach et al., 2012).

El conocimiento de la dispersión de especies y sus mecanismos ofrecen un panorama sobre la funcionalidad de las mismas en el ecosistema, porque permite entender la composición, distribución y abundancia de las especies, su variación en el espacio y tiempo, el reconocimiento de las relaciones de dependencia con sus dispersores e identificar los patrones de dispersión en función a parámetros climáticos del bosque. En árboles, la dispersión de diásporas (frutos y semillas) ocurre en cualquier espacio y tiempo, pudiendo ser en el dosel, en el sotobosque, durante el día o la noche, con la ayuda de animales o sin ellos y a diferentes escalas, es decir, abarcando un rango desde los centímetros hasta varios kilómetros dependiendo del vector de dispersión (Corlett 2009), siendo el viento el principal vector en bosques secos y los animales en bosques húmedos (Howe y Smallwood 1982). Los mecanismos de dispersión influyen a nivel de especie y en la comunidad y en el mantenimiento de la diversidad (Martínez-Orea 2009 dan referencia sobre la capacidad de adaptación sobre espacios fragmentados y con amenaza del cambio climático (Seidler y Plotkin 2006).

Considerando el cambio en la distribución geográfica del ecosistema como una de las consecuencias más notables del CC, la migración de especies es una respuesta potencial de adaptación, la cual dependerá del tipo de plantas y el estado de fragmentación del paisaje en el cual las especies vegetales están inmersas y cuentan para movilizarse. Por estas consideraciones, es que el desarrollo de modelos de migración y los datos sobre tasas de migración son aún un desafío (Locatelli *et al.* en IUFRO 2008).

Para conocer el grado de afectación del CC sobre el bosque es importante conocer la relación entre su estado de conservación y el clima, ya que los cambios en las tasas de CO₂ atmosféricos, temperatura, precipitación y extremos de eventos naturales, afectan las tasas de crecimiento y composición de especies. Los cambios de la temperatura y precipitación afectan la ecofisiología de las plantas, específicamente la consistencia de las hojas y fenología (Harrison *et al.* 2010, Xiaojun *et al.* 2011), ocasionando sobre ésta última desórdenes en las relaciones ecológicas entre las plantas y los animales, manifestándose una desincronización entre la producción de flores y la presencia de polinizadores (Rosenzweig *et al.* 2007).

Estas posibles afectaciones del CC, sumadas a la deforestación, fragmentación del bosque y otras consecuencias de la actividad humana podrían afectar severamente la provisión de servicios ecosistémicos (SE - Seppala *et al.* 2009). Fischlin *et al.* 2007 relatan que los ecosistemas forestales se adaptan al cambio hasta un cierto umbral, más allá se generan consecuencias negativas particularmente sobre los servicios de soporte y además poca accesibilidad sobre los servicios locales, incluso regionales (Díaz *et al.* 2005).

El objetivo general de esta investigación es estimar los posibles efectos del CC en el hábitat disponible de especies arbóreas en dos ecorregiones de Costa Rica. Los objetivos específicos son:

- Modelar la distribución espacial de las condiciones bioclimáticas de las áreas de distribución de especies arbóreas en dos ecorregiones naturales
- Identificar las posibles especies afectadas por el desplazamiento de las condiciones bioclimáticas en dos ecorregiones naturales
- Evaluar el potencial de áreas protegidas y corredores biológicos como estrategias de conservación
- Identificar la percepción de los pobladores sobre los servicios ecosistémicos locales afectados por el cambio climático

El estudio se concentró en identificar la afectación del CC en el hábitat de las especies arbóreas. Para estimar el hábitat disponible actual y futuro, se probaron dos umbrales para generar mapas binarios de presencia/ausencia (artículo 1), mientras que para analizar los servicios ecosistémicos locales afectados se desarrollaron entrevistas semiestructuradas (artículo 2).

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 Escenarios de clima futuro

El clima de la tierra varía de forma natural por factores internos (p.e. fenómeno el Niño) y externos (denominados forzamientos) (IPCC 2002); pero desde los últimos 50 años ejerce una tercera influencia de actividades humanas que ha incrementado notablemente la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. A este fenómeno se le conoce mundialmente como “calentamiento global” (Raupach et al. 2007). Considerando la inclusión de los cambios antropogénicos, la Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMCCNU) define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (UNFCCC 1992).

Los escenarios climáticos son una representación lógica de un clima futuro (IPCC 2002) y estiman a largo plazo la cantidad emitida de los GEI causadas por actividades antropogénicas (Santoso et al. 2009), que varía según los cambios en el crecimiento poblacional, economía, tecnología, política y estado ambiental. Existen cuatro familias de escenarios: A1, A2, B1 y B2 (Figura 1). Las dos primeras se basan en características más económicas y las dos últimas consideran aspectos más ambientales. Tienen dos tendencias, la primera explica el carácter espacial de las soluciones globales y la segunda describe las de tipo regional. Los escenarios son considerados como válidos y probables y ninguno es preferente a otro. La incertidumbre de las estimaciones y la elección de opciones de adaptación son analizadas con al menos dos familias de escenarios (IPCC 2002). Esta investigación analiza una sola familia (B2), la más optimista y evaluada en estudios de CC a nivel de Centroamérica.

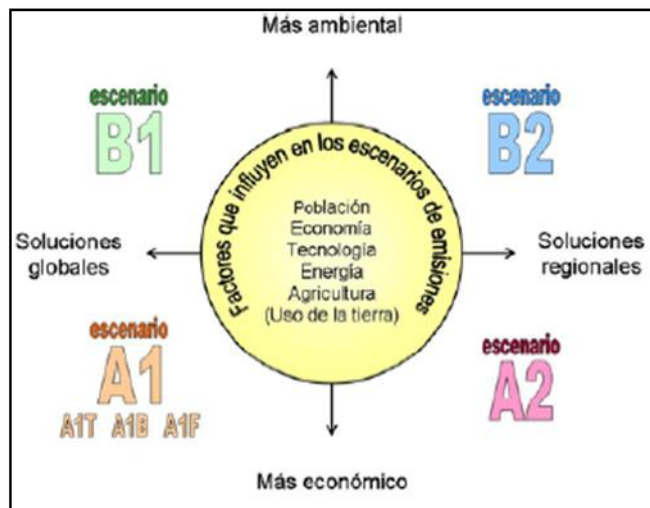


Figura 1. Marco conceptual de las familias de escenarios climáticos del IPCC

Fuente: Santoso et al. 2009

2.2 Efectos del cambio climático

El CC afecta a la Tierra en diversas formas, los mayores efectos del CC se evidencian en el calentamiento de la temperatura de la superficie terrestre y de los océanos, variaciones en los regímenes de precipitación, tanto en distribución como en intensidad, incremento del nivel del mar y derretimiento de glaciares (Reid y Huq 2005). El CC afectará de forma directa a los organismos individuales, poblaciones y su distribución (IPCC 2002), variaciones de umbrales fisiológicos de tolerancia a la temperatura y precipitación provocarán la expansión a nuevas áreas o retracción (Reid y Huq 2005). Según los cambios en la temperatura que se presenten, las especies tendrán tres opciones: migrar hacia otra zona con similares condiciones de desarrollo, quedarse en el sitio tolerando dichas alteraciones (adaptarse) o -la alternativa más drástica- desaparecer (IPCC 2002; Parmesan 2005). De estas tres alternativas, la primera es la que los modelos de cambios de distribución de especies analizan (Peterson et al. 2005). La ocurrencia de cualquiera de estas opciones dependerá de la capacidad de respuesta de la especie. Ecosistemas costeros como arrecifes de coral y manglares, ecosistemas de montaña y especies con restricciones de hábitat y regeneración serán los más propensos a la extinción (Biringier et al. 2005).

Para conocer el grado de afectación del CC sobre el bosque es importante conocer la relación entre su estado de conservación y el clima, ya que los cambios en las tasas de CO₂ atmosféricos, temperatura, precipitación y extremos de eventos naturales, afectan en diferentes maneras a los bosques (tasas de crecimiento, composición de especies, etc.). Los cambios de la temperatura y precipitación afectan la ecofisiología de las plantas, específicamente la consistencia de las hojas y fenología¹ (Xiaojun et al. 2011; Harrison et al. 2010; Walther et al. 2002), ocasionando sobre ésta última desórdenes en las relaciones ecológicas entre las plantas y los animales, manifestándose una desincronización entre la producción de flores y la presencia de polinizadores (Rosenzweig et al. 2007). La importancia de la fenología es notable en el análisis del CC, porque es la mayor evidencia de la respuesta de la vegetación al calentamiento global, cambios más notorios en la fecundidad de los árboles ocurren durante el calentamiento en primavera y la sequía de verano. Este proceso (fecundidad), a su vez ejerce un amplio control (más que la competencia) sobre las especies porque no solo influye en la capacidad de competir sino también en la migración, la cual varía enormemente cuando ocurren eventos raros de dispersión a larga distancia (LDD), muy frecuentes en árboles (Clark et al 2011). Estas posibles afectaciones, sumadas a los continuos cambios por deforestación, fragmentación del bosque y otras circunstancias socioeconómicas, podrían afectar severamente la provisión de servicios ecosistémicos; en los bosques de latitudes medias y altas, el incremento de la temperatura podría aumentar la tasa de crecimiento de los árboles; sin embargo, podría acelerar la presencia de pestes y la invasión de plantas (Lucier et al. 2009). Fischlin et al. 2007 relatan que si bien los ecosistemas forestales se adaptan al cambio, cuando sobrepasa su resistencia se generan consecuencias negativas sobre la naturaleza, particularmente sobre los servicios de soporte y además poca accesibilidad sobre los servicios locales, incluso regionales (Díaz et al. 2005).

¹ Entiéndase a la fenología como el calendario de actividades estacionales de animales y plantas (semillación, fructificación, floración)

2.3 Modelos de distribución de especies

Varios términos son usados como sinónimos para nombrar a estos modelos; sin embargo se diferencian entre sí por el tipo de variables predictoras que incluyen; debido a que todos construyen un espacio multivariado con estas variables pueden ser llamados como “envelope” o envoltura (Araujo y Peterson 2012). El título de esta sección así como la referencia del mismo (ver párrafos siguientes) es de “modelos de distribución de especies” por encontrarse ampliamente denotado como tal en la literatura; sin embargo, este estudio coincide con el término “modelos de hábitat disponible”, referido a las áreas donde las especies tienen recursos disponibles (Araujo y Peterson 2012).

Un modelo de distribución de especies (SDM por sus siglas en inglés) es un método que estima la relación entre los datos de ocurrencia de las especies en un espacio geográfico y las variables ambientales que existen en dicho sitio (Franklin 2009). Soberon y Peterson (2005) declaran que el área de distribución geográfica de una especie requiere de: condiciones abióticas favorables o conocidas como nicho fundamental, interacciones interespecíficas y accesibilidad. La intersección entre las dos primeras condiciones explica el término nicho realizado, que concuerda con el concepto de Hutchinson (1957), mientras que la intersección de las tres condiciones manifiesta la distribución actual. Dichos autores agregan que la interacción entre la primera y tercera condición podría coincidir si la extensión del lugar de estudio es más pequeña en relación a las capacidades de dispersión y/o cuando el espacio de análisis posee biogeografía e historia geológica homogéneas. Ferrier y Guisan (2006) señalan que estos modelos indican el lugar idóneo que las especies necesitan para el desarrollo de sus poblaciones o de una comunidad-definición que armoniza mejor con la del estudio.

Existen muchos modelos para predecir los rangos geográficos ocupados por los seres vivos, cada uno con diferentes aplicaciones, ventajas y desventajas (Franklin 2009), en principio, todos realizan extrapolaciones para estimar la distribución de una especie en un escenario del pasado o futuro; en tal sentido, los resultados de los modelos están en función de los datos usados en su construcción (Valera 2009). Es preciso indicar que si bien los modelos de distribución, cualquiera que fuera, no analizan los procesos ecológicos, como las interacciones bióticas y la dispersión (Anderson et al. 2003), son instrumentos adecuados para comprender los patrones espaciales de la biodiversidad, evaluar el impacto del cambio global sobre la distribución de los organismos, localizar nuevas áreas de especies raras y amenazadas y seleccionar áreas tentativas para la conservación (Smith et al. 2012). Haciendo referencia al rol de las interacciones bióticas en la estimación de distribución potencial, Wisz et al. (2012) indican que dichas interacciones no sólo influirían a escala local sino que tendrían gran importancia a escala regional, continental y global, lo que explicaría los resultados de diversos estudios paleo ecológicos y contemporáneos. Estos autores agregan que el desafío para obtener modelos de predicción de especies más reales y confiables es incluir en los (SDM) algún enfoque que cuantifique el rol de las interacciones.

2.3.1 Factores considerados en la construcción de modelos

Los modelos de distribución utilizan información de datos primarios y secundarios. Los primeros consisten en los sitios de observación de la especie de interés, y son obtenidos de colecciones científicas o publicaciones; los datos de clima, topografía o ambiente del área al cual se pretende realizar la distribución de la especie son los datos secundarios (Naoki et al. 2006). De Pando y De Giles (2007) consideran tres factores en la construcción de modelos:

2.3.1.1 Calidad de datos de la localización de la especie

Para generar modelos de idoneidad de datos, se consideran dos tipos de datos: registros de presencia y registros de presencia-ausencia. Los primeros son incuestionables porque se dan en especies sésiles (excepto exista un error en la identificación) (Hirzel et al. 2002). Existen dos casos de datos tipo ausencia: no se detecta la especie siendo un área idónea o no se detecta porque el área no tiene condiciones indicadas; en el primer caso la dinámica poblacional, capacidad de dispersión y fragmentación del hábitat podrían estar influenciando la designación de dicho espacio, dificultando en consecuencia en la interpretación de los modelos (Hirzel et al. 2002). Los registros de presencia no provienen de un método estadístico, y están condicionados a la colecta de datos de especies raras (Zaniewski et al. 2002); sin embargo, son abundantes y están disponibles de manera electrónica en los herbarios y museos naturales (Soberon y Peterson 2005), por lo que representan muchas veces la única información sobre la ecología de la especie (Anderson et al. 2003; Zaniewski et al. 2002, Pearce y Boyce 2006). Elith et al. 2011 indican que el uso de solo presencias puede servir para explicar las relaciones ecológicas, de la misma forma que los datos de presencia y ausencia, siempre y cuando se controlen los sesgos respecto a la selección de la muestra. Por su parte Pearce y Boyce (2006), en su descripción de cuatro enfoques sobre la relación de los datos de presencia con las variables ambientales, detallan que con este tipo de registro en plantas es más adecuado hablar de espacios disponibles en lugar de espacios utilizados o consumidos, ya que en este último caso, cabría otro análisis sobre preferencia de lugar, el cual se adaptaría más al análisis en animales.

2.3.1.2 Variables predictoras seleccionadas

En principio, deben considerarse las variables causales directas de la distribución de la especie, sin embargo, de forma habitual se consideran las variables disponibles, obtenidas de modelos digitales de elevación o de interpolación espacial de los datos provenientes de estaciones climáticas (Guisan et al. 1999). Sykes (2009) y Walther (2003), respecto al impacto del cambio climático en la vegetación, sugieren que es más útil trabajar con variables explicativas, referidas a la estacionalidad en lugar de variables promedios anuales que no pueden decir mucho sobre la fenología, condición que según Clark et al. (2011) afecta en proporciones mayores la fecundidad de los árboles, sobre todo durante el calentamiento en primavera y la sequía de verano. Este proceso (fecundidad), a su vez, ejerce mayor control en las especies en comparación que la competencia, porque no solo influye en la capacidad de competir sino también en la migración, la cual varía enormemente cuando ocurren eventos raros de dispersión a larga distancia (LDD), muy frecuentes en árboles (Clark et al. 2011).

Generalmente, estas variables se clasifican en: gradiente de recursos directamente consumidos (nutrientes, agua, luz); gradientes directos-de importancia fisiológica (temperatura, pH) y gradientes indirectos-relacionados a características físicas de sitio (elevación, pendiente, otros). Hay que considerar que el efecto de estas variables puede añadir información redundante al algoritmo de modelización, generando dificultad en la interpretación y ajuste de los modelos (De Pando y De Giles 2007).

2.3.1.3 Algoritmo o método estadístico

Pliscoff y Fuentes-Castillo (2011) agrupan cuatro técnicas de modelación: los modelos relacionadas a: modelos estadísticos de regresiones (Modelos Lineales Generalizados o GLM), Modelos Aditivos Generalizados (GAM), modelos de clasificación (Random Forest o RF), árboles de regresión y técnicas de remuestreo (Boosted Regresión Trees o BRT, métodos de sobre (Bioclim, ENFA) y otros con base en algoritmos específicos (GARP, MaxEnt), se podría incluir un quinto que considera el ensamble de técnicas para obtener modelos de consenso (Araujo et al. 2011). Naoki y colegas (2006) señalan que los modelos comprenden un algoritmo y tipo de datos (localidades de especies y variables ambientales) determinados y son utilizados en registros de presencia-ausencia (GLM, GAM, otros) ó únicamente en presencia de modelos como Bioclim, GARP y MaxEnt. La utilidad de los algoritmos varía según el tipo de registro, -los primeros indican de manera más aproximada la distribución del nicho ecológico efectivo, mientras que los relativos a presencia, representan la distribución del nicho fundamental de la especie. Aunque los resultados de estudios indican que los métodos de presencia-ausencia son los de mayor precisión, es importante considerar la modelización basada en algoritmos de presencia en muestreos de especies raras o con amenaza en que no se registran ausencias (Zaniewski et al. 2002). Franklin (2009) enfatiza que la elección del modelo depende de las características de las especies (historia y distribución), la escala del análisis y la disponibilidad de datos (registros de ocurrencia, datos ambientales). Varios investigadores (Phillips et al. 2006, Elith 2006, Wisz et al. 2008), comparan MaxEnt con otros programas (Bioclim, GARP) y concluyen que el primero ofrece una predicción altamente consistente y robusta aún utilizando pocos datos de presencia (menores a 10) y genera una mejor y comprensible discriminación de variables. Baldwin (2009) resalta la relativa insensibilidad del software a errores espaciales relacionados a las localizaciones de presencia.

2.4 MAXENT (Máxima Entropía)

Máxima Entropía es una técnica de modelación para estimar la distribución probable desconocida de las especies con base a fórmulas matemáticas conocidas (Phillips et al. 2006), siendo la mejor aproximación la que maximice su entropía. MaxEnt buscar estimar la distribución de probabilidad π , que no es otra cosa que la probabilidad relativa conocida como la $f_1(z)/f(z)$ de la salida cruda (Elith 2011), logrando estimar la distribución de probabilidad sobre las celdas del área modelada en términos de “ganancia” (Yost et al. 2008).

Además de los registros de especies, MaxEnt requiere un conjunto de variables ambientales, continuas o categóricas (Phillips y Dudik 2008). El programa ha sido utilizado para analizar la distribución potencial de varios grupos taxonómicos y fines (Elith et al. 2011; Mateo et al. 2011).

La técnica MaxEnt genera tres tipos de probabilidades: cruda, acumulativa y logística. La salida cruda es un índice de similitud de los ambientes en cada celda donde exista observación de la especie (la distribución de probabilidad mencionada), dado que la suma de estos valores es 1 su interpretación resulta difícil, de la misma forma ocurre con la salida acumulativa que posee una escala independiente y está relacionada a la tasa de omisión predicha (Soberón 2012). El formato de salida logística, es un proxy de la probabilidad de presencia en Z ambientes del espacio de estudio, otorgando un valor entre 0 y 1 para cada celda. Para obtenerlo, se requiere transformar los mapas de idoneidad (expresión de un rango de probabilidades en valores continuos) que da MaxEnt a mapas de probabilidad en un sistema binario (valores enteros, presencia=1/ausencia=0), mediante un umbral de probabilidad que separen las zonas con presencia de las zonas con ausencia (Liu et al. 2005; Freeman et al 2008. MaxEnt lo asigna por defecto (0.5), pero su elección depende del investigador (Liu et al. 2005) y del tipo de datos (presencia/ausencia).

Utilizar el valor tradicional de 0.5 no garantiza que se mantenga la prevalencia² observada, disminuyendo la precisión y afectando el resultado sobretodo en datas de ocurrencia muy baja o muy alta (Freeman y Moisen 2008), teniéndose además una mayor predicción errónea de sitios como áreas desocupadas cuando el prevalence es bajo (Cumming citado en Freeman y Moisen 2008). Un estudio sobre la elección del umbral, Liu et al. (2005) tampoco recomiendan utilizar 0.5 porque la proporción de falsos positivos (ausencias incorrectamente predichas como presencias) y falsos negativos (presencias incorrectamente predichas como ausencias) es muy alto.

Nenzen y Araujo (2011) afirman que aun habiendo varios enfoques sobre uso de umbrales, como los analizados por Liu et al. (2005), los efectos de ninguno de ellos han sido estudiados en casos de cambio climático; y aunque se conocen cuáles muestran menor variación y sensibilidad según el método de modelación utilizado, no se sabe cuál es el más adecuado. Pearson et al. (2007), sugieren que en casos de datos con solo presencia, es apropiado utilizar dos umbrales: “lowest presence threshold” (LPT) y el “fixed threshold of 10” (T10). El primer enfoque es el más conservador porque expresa el área mínima de predicción en donde los datos de entrenamiento mantienen un error de omisión nulo; y podría interpretarse en términos ecológicos como la predicción de celdas que sea al menos tan adecuada como la encontrada en la presencia de una especie que ha sido registrada. El segundo enfoque, propone un área de predicción menos amplia, considerando como umbral de idoneidad el valor de presencia en el percentil 10 de los registros de presencia (Pearson et al. 2007).

Retomando la descripción de MaxEnt, esta técnica presenta dos tipos de perspectivas: geográfica (G), que consiste en argumentar el análisis sobre las celdas o grilla y la ambiental (Z), que comprende la combinación de ambientes en el espacio de estudio (Soberón 2012).

² Proporción de los lugares donde hay presencia

La idea de la perspectiva geográfica es entender que todo el espacio está dividido en X celdas con un ambiente $Z(x)$, por lo que cada una de las celdas tiene un valor de probabilidad (Soberón 2012); sin embargo, este resultado no puede ser obtenido con solo datos de presencia, siendo necesario el uso de ausencias estrictas (Elith 2011; Phillips y Dudik 2008). Una solución a la falta de datos de ausencia es la generación de fondo³ en toda el área de estudio. Sobre la elección del tamaño del fondo no existe literatura científica que explique la forma de seleccionar una óptima cantidad, por lo que sigue siendo un reto para futuras investigaciones (Wilson et al. 2009); sin embargo, en un estudio de VanDerWal y colegas 2009, con el propósito de analizar la variación de la predicción del modelo a diferentes tamaños del fondo (a diferentes escalas), subdividieron todo el espacio de análisis en pequeñas secciones desde 100km hasta 500 km, obteniendo que el tamaño óptimo del fondo, de donde se extraen las pseudoausencias fue de 200 km. La selección de esta aspecto, influiría notablemente en los resultados de los SDM de varias maneras: de forma directa en el AUC en la mayoría de especies (a mayor escala, mayor AUC) y cambios en los porcentajes de contribución de variables importantes.

2.5 Áreas protegidas y corredores biológicos como mecanismo de adaptación

Las áreas protegidas (AP) son espacios geográficos con límites demarcados, acordados, reconocidos y manejados por medios jurídicos y otros medios de gestión eficaces para la conservación y mantenimiento de la diversidad biológica a largo plazo, así como de los servicios ecosistémicos y los valores culturales asociados a ellas (Dudley 2008). En Costa Rica, las áreas silvestres bajo protección son consideradas los refugios mejor conservados de toda la biodiversidad del país. En un 26% de territorio terrestre está contenida la mayoría de especies y ecosistemas, siendo los parques nacionales (PN) y las reservas biológicas los que debido a su categoría de protección permanente aseguran una mayor protección de los recursos naturales. Dado que ambas categorías de protección representan el 50,4 % de la superficie total de las áreas protegidas y se extienden sobre el 12% del país, el análisis del efecto del CC sobre estos espacios permitirá estimar los impactos generados de este fenómeno sobre la biodiversidad a nivel nacional (INBio 2009).

Las AP representan una de las más importantes y efectivas estrategias de conservación, el 97% de su espacio está ecológicamente en mejor estado que las zonas circundantes no protegidas (Bruner et al. 2001), que más bien tienen alto grado de fragmentación y deforestación cercana a las AP (Azofeifa et al. 2003). La progresiva modificación de los hábitats por acción del CC hace que la expansión de las AP's sea muy necesaria para la protección de áreas naturales remanentes (Hannah y Salm 2004), para ello, estudios que identifiquen los impactos del CC sobre las AP, deben considerar modelos de distribución espacial actuales y futuras que permitan clasificar a los grupos de especies según su escala de movimiento: las que se quedan dentro del área, las que se moverán a las proximidades y las que se moverán a mayores distancias (Lovejoy 2005). Conforme se acentúe la expansión de estos espacios por efecto del CC, el conocimiento de la dinámica del paisaje adyacente a las AP es necesario para integrar las áreas no protegidas o matriz circundante que sea capaz de mantener poblaciones de especies y su movilidad entre las mismas (Primack et al. 2001; Lovejoy 2005).

³ A diferencia de las pseudoausencias, los background son una muestra de puntos que incluye localidades de presencia (Pearson 2007).

La conectividad dentro y fuera de estos espacios claves de biodiversidad, son promovidos con iniciativas complementarias como los corredores biológicos (CB), áreas cuyo propósito fundamental es permitir el flujo genético y la movilización de plantas y animales (Primack et al. 2001; Miller et al. 2001), para ello el conocimiento de los agentes de dispersión que permiten dicho desplazamiento deben ser identificados porque pueden prevenir la extinción local y su posterior recolonización (Rojas et al. 2003; Lovejoy 2005).

La puesta en marcha de la conectividad del paisaje está en función principalmente de los objetivos de conservación y de la escala de movimiento de las especies, el conocimiento del hábitat de las especies a nivel espacial y funcional también son requeridos (Lovejoy 2005).

2.6 Servicios ecosistémicos (SE)

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA 2005) define a los servicios ecosistémicos, de aquí en adelante llamados “SE”, a todo beneficio que los humanos obtienen de los ecosistemas. A este concepto, Costanza et al. (1997) agregan que los SE deben otorgar una vida digna a las personas que hacen uso de ellos. Otros autores como Boyd y Banzhaf (2007) indican que la denominación de SE está relacionada a la intervención específica de la sociedad, por lo que SE deben considerarse solamente a los procesos ecológicos que influyen directamente en la producción de bienes y servicios de las personas. Al respecto, Quétier et al. (2007) detallan que la identificación de un SE como tal sería solo contextual, hasta corroborar que efectivamente brinda algún tipo de beneficio.

El MEA 2005 clasifica a los SE en cuatro grupos: Servicios de soporte, aquellos básicos para el sustento de la vida, tales como la formación del suelo, ciclaje de nutrientes y conservación de la biodiversidad; servicios de provisión, los que satisfacen las necesidades humanas, tales como agua, alimento, madera, fibras, leña o recursos genéticos que generan otros bienes, vienen a ser los servicios ecosistémicos más tangibles; servicios de regulación, de importancia fundamental para la sociedad como lo son la regulación del clima, del aire, del agua, de las plagas y enfermedades en cultivos, de procesos ecológicos (polinización, dispersión de semillas); servicios culturales, relacionados al espíritu humano como la belleza escénica, recreación y ecoturismo, así como los relacionados al aspecto religioso ó místico. De la lista general del MEA (2005), se destacan los principales servicios que proveen los ecosistemas forestales según varios autores, notándose la coincidencia de hasta dos SE por autor en cuanto a fijación de carbono y la provisión de agua y leña (Cuadro 1).

Aunque si bien muchos de estos servicios son abastecidos por otros ecosistemas (Fischlin et al. 2007), los bosques son los que tienen mayor contribución económica (FAO 2006), aportan mejoras en los sistemas de producción (Montagnini sf) y optimizan la calidad de vida de las comunidades urbanas y peri-urbanas.

Cuadro 1 Servicios ecosistémicos según varias referencias

Servicio ecosistémico	MEA	Louman y colegas	Montagnini	FAO
Producción de oxígeno	regulación	x		
Fijación y secuestro de carbono	regulación	x		x
Ciclaje de nutrientes	regulación	x		
Prevención de erosión	regulación	x		
Clima local	regulación	x		
Biodiversidad	soporte			x
Hábitat	soporte	x		
Agua	provisión	x		x
Recursos genéticos	provisión	x		
Alimento	provisión			
Madera	provisión		x	
Leña	provisión		x	x
Paisaje	cultural	x		
Recreación	cultural	x		
Turismo	cultural	x		

Fuente: Basado en MEA 2005, FAO 2007, Montagnini sf, Louman et al. 2009.

3 ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS EN LA DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS EN DOS ECORREGIONES NATURALES DE COSTA RICA A ESCENARIO FUTURO

RESUMEN

Es un hecho que la biodiversidad está amenazada por el cambio climático, fenómeno que ocasiona daños directos en los organismos individuales, poblaciones y la distribución de especies. Con el uso del programa MaxEnt se estimó el hábitat disponible actual y futuro (escenario B2-optimista, año 2020 y cuatro modelos globales de clima) de 26 especies arbóreas, seleccionadas por su valor de conservación, endemismo, índice de valor de importancia y valor maderable. La mayor contribución porcentual al modelo es dada por la variable precipitación del trimestre más frío (bioclimática 19), con más del 50% en 8 especies y de 25-50% en otras 7. Respecto al valor del ajuste del modelo, la especie *Chaunochiton kappleri*, endémica de la ecorregión bosques húmedos, tuvo el mayor valor con 0.996, siendo el menor de 0.886 de la especie *Tabebuia rosea* presente en ecorregión bosques secos y húmedos. Los mapas binarios (presencia/ausencia) del umbral 2 son más restringidos que el umbral 1, por lo que se utilizó en el análisis de las zonas de incertidumbre de las especies y sección de implicaciones en la conservación. A nivel de categorías, conservación presenta el mayor porcentaje de pérdida de hábitat. Se reconocen dos grupos de especies: las que no ganan hábitat parcial y las que sí, pudiendo ser las primeras las más vulnerables al cambio climático. Los cambios de hábitat hacia el año 2020 son muy rápidos y generan preocupación por la dificultad de establecer rutas de migración efectivas. Los corredores biológicos y las áreas protegidas sólo podrían ser funcionalmente útiles a corto plazo en espacio y tiempo.

Los resultados comprenden cinco secciones: variables seleccionadas y ajuste del modelo por especie; patrones de distribución espacial a nivel de Mesoamérica, que analiza la variabilidad en la proyección de los modelos globales de clima; influencia de los umbrales, que evalúa el grado de variación en la estimación del hábitat actual y futuro; patrones de distribución espacial a nivel de Costa Rica; que comprende los resultados sobre la pérdida y ganancia parcial del hábitat de las especies y finalmente; implicaciones en la conservación, que involucra los posibles efectos de la pérdida o ganancia de hábitat (superficie) en las áreas protegidas y corredores biológicos.

PALABRAS CLAVE

Distribución, conservación, hábitat disponible, ecorregión, nicho ecológico, MaxEnt, umbral.

3.1 Introducción

Mesoamérica, distinguido por su clima y orografía variados, es uno de los puntos álgidos de la biodiversidad y está amenazada por el cambio climático (Imbach et al. 2012). Las tendencias históricas basadas en estaciones meteorológicas en América Central (periodo 1961-2003) señalan un incremento de la temperatura promedio de la región, la ocurrencia de extremos cálidos máximos y mínimos, y una disminución de eventos extremos fríos.

Aunque la precipitación presenta variabilidad espacial, no se evidencia un aumento en la cantidad total a nivel regional mas la intensidad de periodos de lluvia y la generación de días húmedos a muy húmedos tienen una tendencia positiva (Aguilar et al., 2005).

Las proyecciones climáticas con modelos globales de clima señalan que la temperatura aumentará en toda América Central, sobre todo desde el sureste hacia el noroeste. Bajo escenarios de emisiones medias, la mayoría de los modelos estiman anomalías superiores a los dos grados centígrados, así como un aumento de las ondas de calor-inexistentes históricamente. Los modelos concuerdan que la precipitación se reducirá entre el norte de Costa Rica y sur de México, mostrando anomalías positivas hacia latitudes más altas y bajas, mientras que el sur de Costa Rica, Panamá y centro y norte de México se comportan como una región de transición con alto grado de incertidumbre (Biasutti et al. 2012; Imbach et al., 2012). Estos posibles cambios afectarán los ecosistemas de diversas maneras, siendo el principal impacto negativo el cambio de condiciones bioclimáticas que generarán la pérdida y/o extinción de hábitat de las especies (Walther et al. 2002). El análisis de estos efectos a nivel de ecorregiones mejora la planificación en la conservación de la biodiversidad (Dinerstein et al. 1995).

El análisis del estudio se enfoca en Costa Rica, cuantifica y evalúa los posibles cambios en la en el hábitat de algunas especies arbóreas a futuro y la funcionalidad de las áreas protegidas y corredores biológicos como estrategias de conservación. Finalmente, plantea algunas reflexiones y recomendaciones.

3.2 Metodología

3.2.1 Área de estudio

Las unidades de referencia del estudio fueron las ecorregiones, espacios considerados como unidades mínimas de planificación a escala regional para asegurar una efectiva conservación de la biodiversidad. Una ecorregión es un espacio geográfico definido por comunidades naturales cuyos grupos de hábitat tienen características similares en tres aspectos: mayoría de especies y procesos ecológicos; condiciones ambientales y poseen interacciones ecológicas críticas para su mantención a futuro (Dinerstein et al. 1995). Se eligieron dos ecorregiones representativas: Bosques secos del lado Pacífico de América Central (llamada de aquí en adelante ecorregión N), abarca desde el suroeste de México hasta el norte de Costa Rica, ocupa aproximadamente 28 881 km²; debido a la amenaza intensa por extracción de actividades económicas-forestal, minería, cambio de uso de suelo; su estado de conservación está catalogado en peligro, su distintividad biológica es sobresaliente a nivel bio-regional y tiene una prioridad alta a escala regional. Los Bosques húmedos del lado Pacífico del Istmo de Panamá (llamada de aquí en adelante ecorregión S) fue la segunda elección, con una extensión de 50 101 km² comprende el centro y sur pacífico de Costa Rica hasta Panamá; el pastoreo, quemas y caza por explotación son la principal amenaza, siendo su estado de conservación catalogado como crítico, su distintividad biológica es sobresaliente a nivel bio-regional y tiene una prioridad alta a escala regional (Dinerstein et al. 1995). El análisis se realizó en la superficie de Costa Rica, con especial interés sobre las zonas de Guanacaste y Osa, por ser los lugares con mayor vulnerabilidad al cambio climático en la vertiente del Pacífico (IMN 2008).

3.2.2 Selección de especies, fuente de datos y capas ambientales

Se consideraron cuatro categorías: a) valor de conservación, referida a la amenaza global (En peligro crítico, en peligro de extinción y vulnerable) según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN 2011); b) endemismo, ó áreas de distribución de la especie restringidas a Costa Rica; c) índice de valor de importancia, dado por el grupo de especies que componen el 50% de la unidad de bosque y d) valor económico, con fines maderables. Las especies de los criterios a y b se ajustan al informe de la TNC 2006, las demás son producto de revisión bibliográfica. Se evitaron a las especies que tenían menor cantidad de registros en las ecorregiones de los fines de la investigación, generalmente especies cuyos puntos de presencia se encontraban a elevaciones altas (superior a los 1300 msnm). Con estos criterios, se seleccionaron 26 especies arbóreas (La información de las especies se incluye en el Anexo 1).

Los datos de presencia de las especies provienen de la base de datos Atta del INBio y Tropicos del Missouri Botanical Garden, a nivel de Mesoamérica. Se utilizaron especies que contaran con un mínimo de 30 ocurrencias (Wisz et al. 2008). Como variables ambientales se utilizaron las 19 variables bioclimáticas disponibles en Worldclim (Hijmans et al. 2005). Además variables edáficas (contenido de arena y arcilla, profundidad máxima del suelo y profundidad promedio hasta la roca -Pérez et al. 1979) y fisiográficas (-elevación y pendiente -Jarvis et ál. 2008). La incertidumbre de los cambios fue evaluada con la base de datos Worldclim, periodo de referencia (1950-2000) y periodo futuro (2020), ambos con variables bioclimáticas. La proyección futura fue obtenida del método delta, eligiendo el escenario B2⁴, que considera cuatro modelos globales: CCCMA, CSIRO, HADCM3 y NIES99. Estos modelos son proyectados por diferentes centros de modelización de clima en todo el mundo. Los posibles cambios hacia el año 2020 son evaluados con la cantidad de modelos que coinciden en el espacio, mayor número de modelos incrementa la certidumbre del cambio.

Las capas bioclimáticas son de tipo raster y tienen una resolución espacial de 1 km x 1 km, mientras que las capas de suelos y elevación cuentan con una resolución de 90m x 90m. Se homogenizó el tamaño de pixel a 90m por ser la unidad mínima de mapeo. En total se consideraron 25 variables predictoras de entrada (de aquí en adelante se nombrarán sus abreviaturas -Cuadro 2).

⁴ Escenario óptimo en el marco de las soluciones locales y equilibrio medioambiental, económico y social (IPCC 2007).

Cuadro 2 Variables predictoras utilizadas en el análisis del modelo de hábitat disponible

	VARIABLE
Bio1	Temperatura media anual
Bio2	Rango medio diario (Bio5-Bio6)
Bio3	Isotermalidad (Bio2/Bio7) x 100
Bio4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar x 100)
Bio5	Temperatura máxima del mes más cálido
Bio6	Temperatura mínima del mes más frío
Bio7	Rango de la temperatura anual (Bio5-Bio6)
Bio8	Temperatura del trimestre más húmedo
Bio9	Temperatura del trimestre más seco
Bio10	Temperatura del trimestre más cálido
Bio11	Temperatura del trimestre más frío
Bio12	Precipitación media anual
Bio13	Precipitación del mes más húmedo
Bio14	Precipitación del mes más seco
Bio15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación
Bio16	Precipitación del trimestre más húmedo
Bio17	Precipitación del trimestre más seco
Bio18	Precipitación del trimestre más cálido
Bio19	Precipitación del trimestre más frío
Elev.	Elevación
Pend.	Pendiente
Arcilla	% arcilla
Arena	% arena
Prof. máx.	Profundidad máxima de suelo
Prof. prom.	Profundidad promedio de suelo

Fuente: <http://www.worldclim.org/> Hijmans et al. 2005.

3.2.3 Modelación de hábitat disponible

Para la modelación de hábitat disponible de especies se usó el programa MaxEnt versión 3.3.3k (Phillips et al. 2006). Previamente, para evitar la entrada de información redundante al modelo y así seleccionar el conjunto de variables predictoras, se realizó un análisis de conglomerados por especie con las 25 variables (Ver gráficos en Anexo 2).

Para identificar las variables fuertemente correlacionadas se utilizó un coeficiente de correlación de Pearson de 0.75 (Rissler et al. 2006). Esta prueba se realizó con el programa Infostat 2010 (Di Rienzo et al 2010). Los parámetros utilizados en MaxEnt fueron los indicados por Phillips et al. 2006: número máximo de iteraciones =1000; regularización=1.0; convergencia umbral= 0.00001.

Se seleccionó el 25% de los datos para la prueba y el 75% restante se usó como datos de entrenamiento. Los demás parámetros fueron utilizados por defecto (Phillips y Dudik 2008). Para evaluar el alcance de la predicción para la distribución de cada especie, se utilizó el análisis AUC (Área bajo la curva ROC), el cual se encuentra entre 0.5 y 1 asumiendo los valores de ajuste sugeridos por Swets (1988) y Elith (2006). Una vez obtenido el primer modelo con las 25 variables, se seleccionaron las variables independientes obtenidas del análisis de conglomerados por especie. De los grupos o pares de variables correlacionadas, se eligió a la variable con el mayor porcentaje de importancia, expresado por la mayor contribución porcentual de la variable en la ganancia del entrenamiento al modelo general según los resultados generales con las 25 variables en conjunto. Posteriormente, se hizo una segunda reducción de variables aplicando el método de vara quebrada, utilizado como criterio para la retención de los ejes importantes en el Análisis de Componentes Principales, con esta última prueba se pueden distinguir las variables que aportan al modelo de las que no (en el gráfico la línea se vuelve constante). Con las variables reducidas y las capas ambientales homogéneas, se obtuvieron los modelos en el periodo de referencia y predicción futura por especie, según tutorial del programa.

Para obtener los mapas binarios (presencia/ausencia), se utilizaron dos umbrales para cada especie (de acuerdo con Pearson et al. 2007), basado en el nivel de predicción más conservador (minimum training presence) y otro más liberal (10 percentil training presence).

El cálculo de los efectos potenciales del cambio climático se basó en la variación de superficie respecto a la predicción actual, expresada por el rango de pérdida o ganancia de celdas en cada especie. Este cambio refleja la reducción o ganancia parcial de rango de distribución (hábitat disponible) de las especies, respectivamente. El hábitat sin alteraciones (área de distribución que se mantiene) fue calculado a través del área de distribución actual proyectada de estar en el futuro. La expansión es comprendida como el área no disponible en el presente y que es oportuna para las especies en el futuro, mientras que la reducción o contracción es el área disponible en el presente pero que es probable que no lo sea en el futuro. Para reconocer las zonas posibles para restauración/conservación, las áreas estimadas por el traslape de cuatro modelos y cobertura de bosque (del cuadro 8) fueron superpuestas con las capas ambientales de áreas protegidas y corredores biológicos (de aquí en adelante nombrados como AP y CB, respectivamente). Estos cálculos fueron realizados en Arc Gis 9.3, contrastando los grid de hábitat actual y futuro generado por el umbral 2 con la cobertura de bosque.

3.3 Resultados

3.3.1 Variables seleccionadas y ajuste del modelo

Respecto al peso relativo porcentual de las variables al modelo la bio 19 se utilizó en 21 de las 26 especies, en un porcentaje mayor al 50% del modelo en 8 especies de la ecorregión S, del 25-50% en 3 especies, estando en este mismo rango de forma conjunta con bio14 en otras dos especies. Otras variables con más frecuencia en el modelo son bio4 y elevación, presente cada una en 18 y 16 especies, respectivamente (Cuadro 3).

Con el AUC total, las especies presentan modelos con muy buen desempeño, con valores superiores a 0,80 de AUC, siendo la especie *Chaunochiton kappleri*, la de mejor ajuste (0,996); mientras que el valor más bajo fue 0,821 de la especie *Tabebuia rosea* (Cuadro 3). Este escenario es similar a nivel de categorías y al utilizar el AUC con variables bioclimáticas.

Cuadro 3 Peso relativo porcentual de las variables seleccionadas por especie

N°	ESPECIE	CAT.	ECO.		RANGO PORCENTUAL (%)				AUC TOT.	AUC CLI.	
			N	S	>50	[50-25>	[25-10>	≤10			
1	<i>Agonandra macrocarpa</i>	V.C	x	--	14, 19	--		18, arcilla, 2, elevación, arena, pendiente, prof. promedio	0.929	0.919	
2	<i>Amphitecna mexicana</i>		x	19	--		Pendiente	3, 14, prof. promedio, arena, 4, 2, 18, elevación	0.986	0.97	
3	<i>Caryocar costaricense</i>		x	--	--		18, 4, 2, elevación	3, pendiente, 17, arcilla, 7, prof. promedio	0.995	0.994	
4	<i>Couratari guianensis*</i>		x	x	19	--	15	18, 4, arcilla, pendiente, 3, elevación, arena, prof. promedio	0.983		
5	<i>Dalbergia retusa</i>		x	--	19, 14	--		arena, prof. promedio, 4, 3, arcilla, 16, 8, pendiente	0.981	0.97	
6	<i>Garcia nutans</i>		x	x	--	--	19, 4, 14, 2	pendiente, elevación, prof. máxima, 18, arcilla, 16, arena	0.947	0.93	
7	<i>Guaiacum sanctum</i>		x	--	18, 7	--		14, elevación, 12, 4, arcilla, pendiente, 11, arena, prof. máxima	0.963	0.942	
8	<i>Swietenia humilis</i>		x	--	14		4, 7	18, 19, elevación, arcilla, pendiente, arena, prof. promedio, 13	0.91	0.901	
9	<i>Lonchocarpus phaseolifolius</i>			x	14	--	7	19, 4, elevación, pendiente, 3, arcilla, 13, arena, 18, prof. máxima	0.977	0.968	
10	<i>Tocoyena pittieri</i>			x	19	--	--	arcilla, 14, 3, 15, arena, 13, pendiente, elevación, prof. promedio	0.984	0.98	
11	<i>Chaunochiton kappleri*</i>			x	19	--	2	Pendiente, 14, 4, arena, elevación, arcilla, prof. máxima, 3	0.996	0.994	
12	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	V.I	x	--	4		14, 7	8, elevación, 19, arcilla, 3, 5, 16, prof. promedio, pendiente	0.952	0.938	
13	<i>Guazuma ulmifolia</i>			x	--	--	14, 4, elevación, 7	arcilla, 16, arena, 19, 18, prof. máxima, pendiente	0.838	0.788	
14	<i>Otoba novogranatensis</i>			x	19	--	3	18, arcilla, 14, 2, pendiente, prof. promedio, 4, elevación	0.973	0.969	
15	<i>Tetrathylacium macrophyllum</i>			x	19	--	2	17, pendiente, 4, 3, elevación, 6, arena, prof. promedio	0.991	0.991	
16	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	V.M		x	19	--	14	15, pendiente, 3, prof. promedio, elevación, 7, arcilla, 6, 5	0.944	0.925	
17	<i>Carapa guianensis</i>				x	--	19	4, 17	arena, elevación, 7, arcilla, pendiente, 18, prof. máxima, 5	0.955	0.944
18	<i>Cedrela odorata</i>			x	x	--	4	2	arcilla, 8, 16, 18, arena, 15, pendiente, prof. promedio	0.882	0.859
19	<i>Cordia alliodora</i>			x	x	--	--	4, elevación, 7, arcilla, pendiente	15, arena, 19, 18, 12, prof. promedio	0.877	0.834
20	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>			x	x	--	--	7, 4, 17, arcilla	elevación, 19, 18, arena, prof. promedio, pendiente	0.908	0.866
21	<i>Hyeronima alchorneoides</i>			x	x	19	--	3, 17	7, elevación, arcilla, 18, pendiente, arena, prof. promedio	0.955	0.949
22	<i>Myroxilon balsamum</i>				x	4	--	pendiente	14, 19, arena, 12, prof. promedio, 18, 8, 7	0.857	0.777
23	<i>Platymiscium pinnatum*</i>				x	--	19	3, 2, 17	4, prof. promedio, 18, 16, elevación, arcilla	0.956	
24	<i>Samanea saman</i>			x	--	7		14, 4, 19	elevación, arcilla, arena, 12, pendiente, prof. promedio	0.929	0.919
25	<i>Schizolobium parahyba</i>			x	--	19		elevación	2, arcilla, arena, prof. promedio, 4, 15, 18, pendiente, 16, 12, 5	0.909	0.858
26	<i>Tabebuia rosea</i>		x	x	--	--	7, 14, elevación, 4, arcilla	12, arena, pendiente, prof. máxima, 19, 18	0.821	0.775	

Donde: N= Ecorregión Bosques secos del lado Pacífico de América Central; S = Ecorregión Bosques húmedos del lado Pacífico del Istmo de Panamá-Costa Rica; CAT=Categoría; VC= valor de conservación; VI= valor de importancia; VM= valor maderable; AUC = Área bajo la curva ROC; AUC Tot.=AUC con todas las variables; AUC Cli.= AUC con variables climáticas; *especies con AUC Tot=AUC Cli. ; *endémica.

Las variables seleccionadas con el mayor porcentaje o mayor contribución al modelo por especie son la bio19, presente en 13 especies, seguido de la bio14 y bio4, cada una en 4 especies (Cuadro 4), todas variables bioclimáticas (Cuadro 2). Ver en anexo el porcentaje individual de las variables por especie.

Cuadro 4 Variables con mayor porcentaje en el modelo por especie

N°	Especie	N° datos	ECO.		Variable	(%)
			N	S		
1	<i>Couratari guianensis</i>	28		x	BIO 19	75,5
2	<i>Tetrathylacium macrophyllum</i>	51		x	BIO 19	72,2
3	<i>Tocoyena pittieri</i>	26		x	BIO 19	64,9
4	<i>Aspidosperma spruceanum</i>	32		x	BIO 19	64,3
5	<i>Chaunochiton kappleri</i>	25		x	BIO 19	57,6
6	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	62	x	x	BIO 19	55,9
7	<i>Amphitecna isthmica</i>	46		x	BIO 19	54,9
8	<i>Otoba novogranatensis</i>	90		x	BIO 19	53,1
9	<i>Carapa guianensis</i>	47		x	BIO 19	49,8
10	<i>Platymiscium pinnatum</i>	27		x	BIO 19	47,2
11	<i>Dalbergia retusa</i>	31	x	x	BIO 19	43,3
12	<i>Schizolobium parahyba</i>	42	x		BIO 19	42,1
13	<i>Garcia nutans</i>	57	x		BIO 19	19,6
14	<i>Lonchocarpus phaseolifolius</i>	71	x		BIO 14	52,7
15	<i>Swietenia humilis</i>	82	x		BIO 14	49,5
16	<i>Agonandra macrocarpa</i>	36	x		BIO 14	41,3
17	<i>Guazuma ulmifolia</i>	438	x		BIO 14	24,2
18	<i>Myroxilon balsamum</i>	28		x	BIO 4	55,2
19	<i>Cedrela odorata</i>	150	x	x	BIO 4	34,8
20	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	138	x		BIO 4	34,6
21	<i>Cordia alliodora</i>	214	x	x	BIO 4	22,4
22	<i>Samanea saman</i>	102	x		BIO 7	31,2
23	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	127	x	x	BIO 7	25,0
24	<i>Tabebuia rosea</i>	262	x	x	BIO 7	21,0
25	<i>Guaiacum sanctum</i>	108	x	x	BIO 18	29,3
26	<i>Caryocar costaricense</i>	33		x	BIO 18	24,9

Donde: N = Ecorregión Bosques secos del lado Pacífico de América Central; S = Ecorregión Bosques húmedos del lado Pacífico del Istmo de Panamá-Costa Rica; BIO = bioclimática

3.3.1 Cambios en los patrones de desplazamiento espacial a nivel de Mesoamérica

La respuesta de los árboles ante el cambio climático fue estimada por cuatro modelos (CCCMA, CSIRO, HADCM3 y NIES99). Se obtuvieron mapas de hábitat disponible para cada especie a nivel de Mesoamérica y por cada modelo en el punto de tiempo 2020-escenario B2 (optimista). Estos resultados no tienen el traslape con cobertura de bosque.

Aplicando el primer umbral “mínimum training presence” (de aquí en adelante llamado umbral 1), la categoría con mayor variación superficial del hábitat a futuro es la de valor de importancia ($-18,8 \pm 24,2$), seguida de valor de conservación ($-15,9 \pm 23,2$) y valor maderable ($-15,5 \pm 20,9$). En su mayoría las especies tienen más pérdida o reducción de hábitat disponible en todos los modelos globales, sobre todo con el modelo Nies99, excepto *Lonchocarpus phaseolifolius*, de la categoría de conservación en la ecorregión N, la única que gana hábitat en todos los modelos probados (Cuadro 5).

Cuadro 5 Variación superficial (km² y %) del hábitat actual y futuro de 26 especies arbóreas a nivel de Mesoamérica según modelos globales de clima con el umbral 1

N°	Especie	CAT.	ECO.		UMBRAL 1 = MTP										Est.	
			N	S	Umbral	ACT.	CGCMA	%	CSIRO	%	HADCM3	%	NIES	%	\bar{X}	s
1	<i>Agonandra macrocarpa</i>	V.C	x		0.09	383997	336998	-12	343262	-11	349600	-9	371634	-3	-15,9	23,2
2	<i>Amphitecna isthmica</i>			x	0.033	125850	84069	-33	71206	-43	62578	-50	61995	-51		
3	<i>Caryocar costarricense</i>			x	0.086	27527	25583	-7	19853	-28	24425	-11	18989	-31		
4	<i>Couratari guianensis</i>		x		0.166	86463	101738	18	91400	6	55362	-36	50640	-41		
5	<i>Dalbergia retusa</i>		x	x	0.11	119523	88267	-26	103261	-14	86361	-28	65205	-45		
6	<i>Garcia nutans</i>		x		0.02	591077	551247	-7	554202	-6	535277	-9	467534	-21		
7	<i>Guaiacum sanctum</i>		x	x	0.04	398954	410369	3	404851	1	441874	11	363496	-9		
8	<i>Swietenia humilis</i>		x		0.031	684949	758528	11	127443	-81	695252	2	656655	-4		
9	<i>Lonchocarpus phaseolifolius</i>			x	0.173	94113	132076	40	127443	35	130395	39	128485	37		
10	<i>Tocoyena pittieri</i>			x	0.101	100499	81702	-19	72232	-28	56642	-44	57311	-43		
11	<i>Chaunochiton kappleri*</i>			x	0.017	47329	33542	-29	28836	-39	24260	-49	32043	-32		
12	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	V.I	x		0.003	925915	949848	3	915181	-1	871096	-6	795250	-14	-18,8	24,2
13	<i>Guazuma ulmifolia</i>		x		0.05	103414	104069	1	104397	1	102606	-1	104531	1		
14	<i>Otoba novogranatensis</i>			x	0.037	196972	88725	-55	80479	-59	74626	-62	66597	-66		
15	<i>Tetrathylacium macrophyllum</i>		x		0.002	179293	165508	-8	160754	-10	139666	-22	176368	-2		
16	<i>Aspidosperma spruceanum</i>	V.M		x	0.068	407230	426142	5	71206	-83	364675	-10	461093	13	-15,5	20,9
17	<i>Carapa guianensis</i>			x	0.155	183102	190122	4	197456	8	187199	2	115826	-37		
18	<i>Cedrela odorata</i>		x	x	0.049	964297	940085	-3	958288	-1	932329	-3	798083	-17		
19	<i>Cordia alliodora</i>		x	x	0.062	914080	947097	4	934032	2	873090	-4	861104	-6		
20	<i>Hyeronima alchorneoides</i>		x	x	0.105	220543	131399	-40	98077	-56	109667	-50	77695	-65		
21	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>		x	x	0.049	989381	102662	-90	100774	-90	948964	-4	898135	-9		
22	<i>Myroxylon balsamum</i>			x	0.309	489545	493616	1	506415	3	453872	-7	388114	-21		
23	<i>Platymiscium pinnatum</i>			x	0.018	532161	352093	-34	322208	-39	320076	-40	227298	-57		
24	<i>Samanea saman</i>		x		0.025	672579	828088	23	738113	10	682171	1	647197	-4		
25	<i>Schizolobium parahyba</i>		x		0.069	592968	621600	5	609271	3	564340	-5	649044	9		
26	<i>Tabebuia rosea</i>	x	x	0.022	116814	117135	0	117480	1	116695	0	115359	-1			

Donde: N = Ecorregión Bosques secos del lado Pacífico de América Central; S = Ecorregión Bosques húmedos del lado Pacífico del Istmo de Panamá-Costa Rica; MTP = minimum training presence; 10% = 10 percentil training presence; % = Variación superficial en porcentaje con cada modelo (futuro-actual/futuro*100); \bar{X} = porcentaje promedio de los cuatro modelos por categoría; s = desviación estándar de los cuatro modelos por categoría; *endémica

Otras especies tienen una ganancia de hábitat parcial con dos o tres modelos (excepto NIES99), tales como *Couratari guianensis* (4) de la ecorregión S y *Guaiacum sanctum* (7) de la ecorregión N, ambas de la categoría de conservación, así como *Carapa guianensis* (17) de la ecorregión S y *Samanea saman* (24) de la ecorregión N, de la categoría de valor maderable (Figura 2).

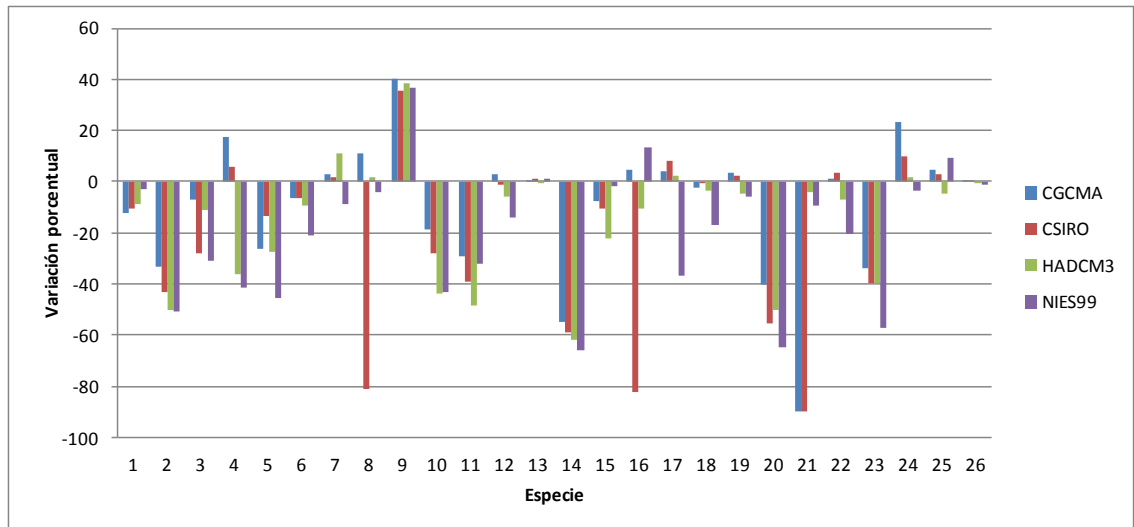


Figura 2 Variaciones porcentuales (eje Y) de hábitat actual y futuro a nivel de Mesoamérica con todos los modelos globales de clima por especie (eje X) con el umbral 1

Aplicando el segundo umbral “10 percentile training presence” (de aquí en adelante llamado umbral 2), la categoría con mayor variación superficial del hábitat a futuro es valor de importancia ($-19,3 \pm 30,3$), valor de conservación ($-18,4 \pm 38,4$) y valor maderable ($-10,4 \pm 34,5$). Similar orden por categorías se presenta con el umbral 1, así también, en su mayoría las especies tienen más pérdida o reducción de hábitat disponible en todos los modelos globales, sobre todo con el modelo NIES99, excepto la *Lonchocarpus phaseolifolius*, de la categoría de conservación en la ecorregión N, la única que más bien gana hábitat en todos los modelos probados (Cuadro 6).

Cuadro 6 Variación superficial (km² y %) del hábitat actual y futuro de 26 especies arbóreas a nivel de Mesoamérica según modelos globales de clima con el umbral 2

N°	Especie	Categoría	ECO.		UMBRAL 2 = 10%TP										Estadísticos	
			N	S	Umbral	Actual	CGCMA	%	CSIRO	%	HADCM3	%	NIES	%	% \bar{X}	s
1	<i>Agonandra macrocarpa</i>	Valor de conservación	x		0.121	307838	258279	-16	282854	-8	266104	-14	304135	-1	-18,4	38,4
2	<i>Amphitecna isthmica</i>			x	0.232	33138	18067	-45	16648	-50	10077	-70	11519	-65		
3	<i>Caryocar costarricense</i>			x	0.267	11264	9825	-13	8565	-24	11927	6	9095	-19		
4	<i>Couratari guianensis</i>			x	0.375	42229	57257	36	40968	-3	30903	-27	21576	-49		
5	<i>Dalbergia retusa</i>			x	0.245	67696	48809	-28	53873	-20	44133	-35	27756	-59		
6	<i>Garcia nutans</i>			x	0.163	138608	123895	-11	124555	-10	115464	-17	66579	-52		
7	<i>Guaicum sanctum</i>			x	0.188	120358	120855	0	132967	10	161140	34	87444	-27		
8	<i>Swietenia humilis</i>			x	0.2	253451	284651	12	270228	7	234846	-7	280138	11		
9	<i>Lonchocarpus phaseolifolius</i>				0.221	78230	117748	51	113250	45	116132	48	112632	44		
10	<i>Tocoyena pittieri</i>				0.374	38126	20559	-46	16313	-57	7362	-81	9402	-75		
11	<i>Chaunochiton kappleri*</i>				0.175	8555	5741	-33	4934	-42	3059	-64	4740	-45		
12	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	IVI	x		0.282	122035	136259	12	133132	9	120790	-1	100148	-18	-19,3	30,3
13	<i>Guazuma ulmifolia</i>			x	0.229	540684	608096	12	589512	9	579252	7	528066	-2		
14	<i>Otoba novogranatensis</i>				0.129	105736	26035	-75	23664	-78	23197	-78	24128	-77		
15	<i>Tetrathylacium macrophyllum</i>				0.113	22585	29102	29	22080	-2	15633	-31	17008	-25		
16	<i>Aspidosperma spruceanum</i>	Valor maderable		x	0.138	197716	208355	5	213992	8	146863	-26	251589	27	-10,4	34,5
17	<i>Carapa guianensis</i>			x	0.284	133542	131415	-2	158225	18	143661	8	83279	-38		
18	<i>Cedrela odorata</i>			x	0.255	387588	381963	-1	383070	-1	358146	-8	181505	-53		
19	<i>Cordia alliodora</i>			x	0.266	404486	450798	11	432890	7	395146	-2	337446	-17		
20	<i>Hyeronima alchorneoides</i>			x	0.184	155286	104139	-33	76666	-51	84997	-45	59414	-62		
21	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>			x	0.248	285219	357691	25	319853	12	263701	-8	248024	-13		
22	<i>Myroxylon balsamum</i>				0.356	366709	370007	1	389535	6	341209	-7	274583	-25		
23	<i>Platymiscium pinnatum</i>				0.269	101458	36772	-64	31076	-69	35045	-65	28477	-72		
24	<i>Samanea saman</i>			x	0.162	235379	252044	7	237637	1	212014	-10	164343	-30		
25	<i>Schizolobium parahyba</i>			x	0.227	279499	341914	22	318326	14	263057	-6	346686	24		
26	<i>Tabebuia rosea</i>		x	0.321	521445	587157	13	550794	6	583793	12	621383	19			

Donde: N = Ecorregión Bosques secos del lado Pacífico de América Central; S = Ecorregión Bosques húmedos del lado Pacífico del Istmo de Panamá-Costa Rica; MTP = minimum training presence; 10% = 10 percentil training presence; % = Variación superficial en porcentaje con cada modelo (futuro-actual/futuro*100); % \bar{X} = porcentaje promedio de los cuatro modelos por categoría; s = desviación estándar de los cuatro modelos por categoría; *endémica

Otras especies tienen una ganancia de hábitat parcial con dos o tres modelos (excepto NIES99), tales como *Couratari guianensis* (4) de la ecorregión S y *Guaicum sanctum* (7) de la ecorregión N, ambas de la categoría de conservación, así como *Carapa guianensis* (17) de la ecorregión S y *Samanea saman* (24) de la ecorregión N, de la categoría de valor maderable (Figura 3).

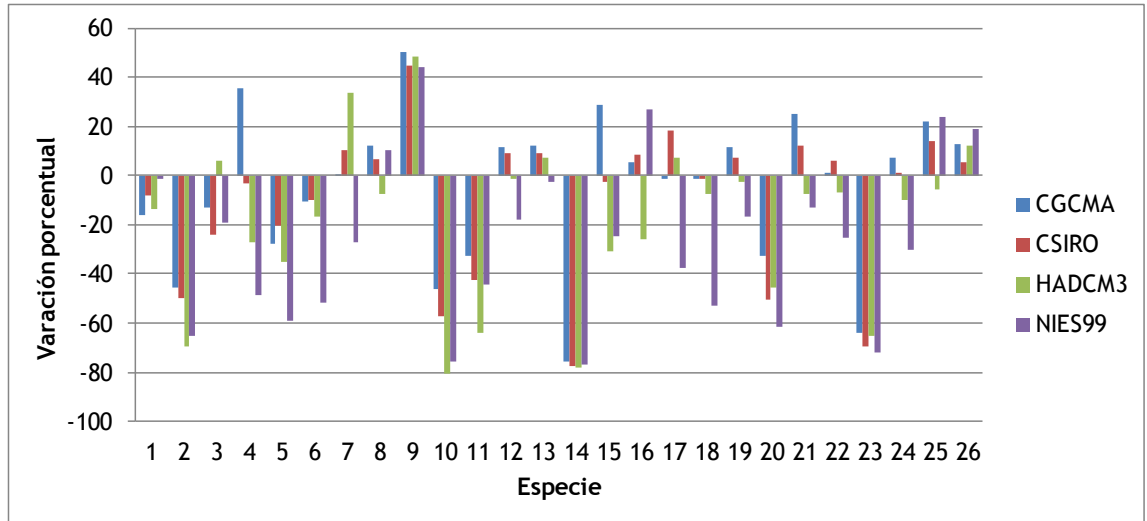


Figura 3 Variaciones porcentuales (eje Y) de hábitat actual y futuro a nivel de Mesoamérica con todos los modelos globales de clima por especie (eje X) con el umbral 2

A diferencia del umbral 1, algunas especies tienen más pérdida en casi todos los modelos, tales como *Couratari guianensis* (4) de la ecorregión S, categoría valor de conservación y *Samanea saman* (24) de la ecorregión N, categoría de valor maderable (Figura 2).

3.3.2 Influencia de los umbrales

Para mayor certidumbre del análisis se consideraron los espacios estimados por el traslape de los cuatro modelos globales; de esta información se elegirá la aplicación de un solo umbral para las siguientes secciones (estos resultados no tienen el traslape con cobertura de bosque). Con los umbrales 1 y 2, la categoría valor de conservación ($-46,7 \pm 21,5$; $-53,4 \pm 26,7$) posee el mayor cambio relativo promedio, seguido de las categorías valor de importancia ($-36,1 \pm 27,4$; $-49,3 \pm 27,5$) y valor maderable ($-33,6 \pm 26,8$; $-44,4 \pm 20,3$) (Cuadro 7).

Cuadro 7 Comparación porcentual del hábitat actual y futuro con traslape de cuatro modelos de clima - umbrales 1 y 2

N°	Especie	Categoría	ECO.		MTP			10%		
			N	S	% Δ	% \bar{X}	s	% Δ	% \bar{X}	s
1	<i>Agonandra macrocarpa</i>	Valor de conservación	x		-39.1	-49,1	21,5	-40.2	-55,5	26,8
2	<i>Amphitecna isthmica</i>			x	-65.5			-80.5		
3	<i>Caryocar costarricense</i>			x	-49.7			-43.1		
4	<i>Couratari guianensis</i>			x	-52.2			-61.2		
5	<i>Dalbergia retusa</i>		x	x	-59.5			-70.4		
6	<i>Garcia nutans</i>		x		-31.5			-72.9		
7	<i>Guaiacum sanctum</i>		x	x	-31.0			-55.0		
8	<i>Swietenia humilis</i>		x		-81.4			-21.1		
9	<i>Lonchocarpus phaseolifolius</i>			x	0.4			1.0		
10	<i>Tocoyena pittieri</i>			x	-57.3			-90.5		
11	<i>Chaunochiton kappleri*</i>			x	-72.9			-77.0		
12	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	Valor de importancia	x		-24.3	-36.1	27.4	-38.2	-49.3	27,5
13	<i>Guazuma ulmifolia</i>		x		-2.6			-13.4		
14	<i>Otoba novogranatensis</i>			x	-77.8			-88.9		
15	<i>Tetrathylacium macrophyllum</i>			x	-39.6			-56.7		
16	<i>Aspidosperma spruceanum</i>	Valor maderable		x	-85.5	-33.6	26.8	-36.3	-44.4	20,3
17	<i>Carapa guianensis</i>			x	-43.7			-48.0		
18	<i>Cedrela odorata</i>		x	x	-24.9			-62.0		
19	<i>Cordia alliodora</i>		x	x	-13.3			-34.4		
20	<i>Hyeronima alchorneoides</i>		x	x	-70.8			-71.2		
21	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>		x	x	-15.4			-36.2		
22	<i>Myroxylon balsamum</i>			x	-31.5			-39.6		
23	<i>Platymiscium pinnatum</i>			x	-61.7			-84.9		
24	<i>Samanea saman</i>		x		-10.5			-42.5		
25	<i>Schizolobium parahyba</i>		x		-10.3			-20.7		
26	<i>Tabebuia rosea</i>	x	x	-1.6	-12.5					

Donde: N = Ecorregión Bosques secos del lado Pacífico de América Central; S = Ecorregión Bosques húmedos del lado Pacífico del Istmo de Panamá-Costa Rica; V.C= valor de conservación; V.I= valor de importancia; V.M = valor maderable; Actual = Hábitat actual (km²); Futuro* = Hábitat futuro con traslape de 4 modelos (km²); MTP = minimum training presence; 10% = 10 percentil training presence; % Δ = variación porcentual entre actual y futuro (futuro-actual/futuro*100); Estadística descriptiva: \bar{X} = promedio, s = desviación estándar; *endémica

Mayores variaciones porcentuales entre el hábitat actual y futuro son estimadas con el umbral 2 (barra roja) excepto en *Swietenia humilis* (8) y *Aspidosperma spruceanum* (16), cuyos valores son muy disimiles con ambos umbrales, situación que no sucede con *Agonandra macrocarpa* (1) y *Hyeronima alchorneoides* (20) (Figura 4).

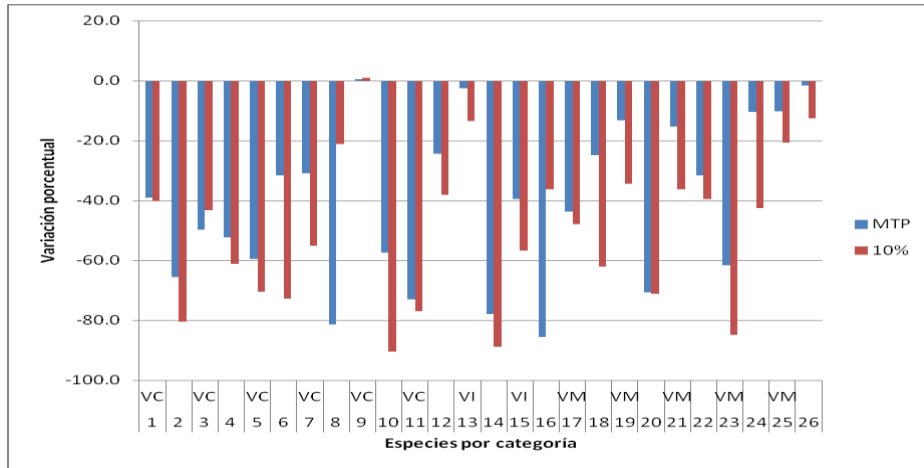


Figura 4 Comparación de la variación porcentual entre el hábitat actual y futuro estimados con el umbral 1 (MTP) y umbral 2(10%) por especie, según categoría a nivel de Mesoamérica.

Donde: VC=valor de conservación (1-11 especies); VI=valor de importancia (12-15 especies); VM=valor maderable (16-26 especies)

Mayores variaciones porcentuales entre el hábitat actual y futuro son estimadas con la ecorregión S, también con el umbral 2 (barra roja). La menor variación se observa en la ecorregión N (Figura 5).

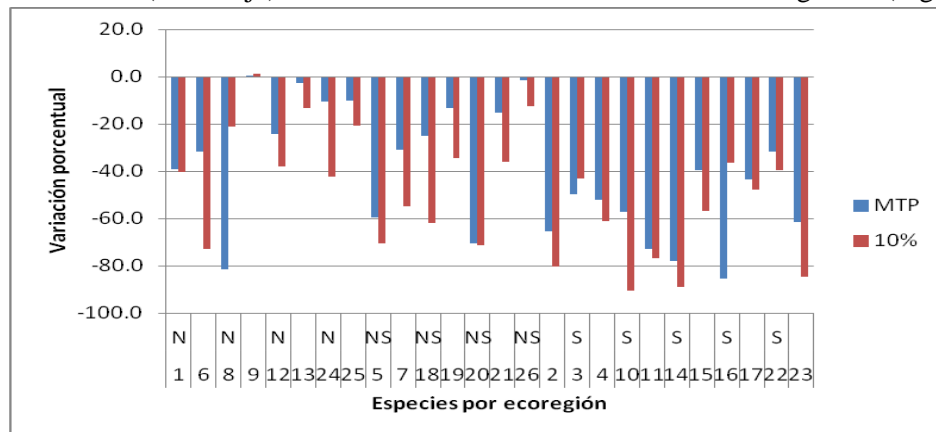


Figura 5 Comparación de la variación porcentual entre el hábitat actual y futuro estimados con el umbral 1 (MTP) y umbral 2(10%) por especie, según ecorregión a nivel de Mesoamérica.

Donde: N=ecorregión norte (1 al 25); NS=ecorregiones norte y sur (5 al 26); S=ecorregión sur (2 al 23).

Para tener un mejor panorama de la distribución de las especies en Costa Rica y realizar el análisis de sus cambios a futuro, se utilizó para el resto de resultados el umbral 2.

3.3.3 Cambios en los patrones de desplazamiento espacial a nivel de Costa Rica

Con el traslape de los cuatro modelos globales, uso del umbral 2 y la cobertura bosque (año 2005) a nivel de Costa Rica, las categorías con más pérdida de hábitat promedio en orden decreciente son conservación (44%), valor de importancia (37%) y maderable (24%). Todas las especies pierden y mantienen parte del hábitat disponible futuro, pero en general se diferencian dos grupos de especies: las que ganan hábitat parcial (18 especies, de las cuales en su mayoría son de valor maderable en la ecorregión S); y las que no ganan hábitat (8 especies, de las cuales 5 son de valor de conservación y presentes mayormente en la ecorregión S)-reconocido por el valor 0 en la columna “ganado”- (Cuadro 8).

Cuadro 8 Variación superficial (km² y %) del hábitat futuro utilizando el umbral 2 con el traslape de cuatro modelos y la cobertura bosque en Costa Rica

N°	Especie	CATEGORIA	ECO.		HABITAT DISPONIBLE Y BOSQUE (Km ²)				
			N	S	Perdido	Mantenido	Ganado	% Pérdida	% \bar{X}
1	<i>Agonandra macrocarpa</i>	Valor de conservación	X		1421	6471	0	18	44
2	<i>Amphitecna isthmica</i>			x	5452	2749	0	66	
3	<i>Caryocar costarricense</i>			x	1242	2774	73	31	
4	<i>Couratari guianensis</i>		X		2003	2732	0	42	
5	<i>Dalbergia retusa</i>		X	x	7329	2703	16	73	
6	<i>Garcia nutans</i>		X		3733	7068	47	35	
7	<i>Guaiacum sanctum</i>		X	x	3219	2272	3	59	
8	<i>Swietenia humilis</i>		X		548	6859	5	7	
9	<i>Lonchocarpus phaseolifolius</i>			x	753	9694	898	7	
10	<i>Tocoyena pittieri</i>			x	4571	790	0	85	
11	<i>Chaunochiton kappleri*</i>			x	1972	1382	0	59	
12	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	IVI	X		1314	8501	105	13	37
13	<i>Guazuma ulmifolia</i>		X		1294	12787	104	9	
14	<i>Otoba novogranatensis</i>			x	17031	5316	13	76	
15	<i>Tetrathylacium macrophyllum</i>			x	2174	2159	0	50	
16	<i>Aspidosperma spruceanum</i>	Valor maderable		x	9	9149	5651	0	24
17	<i>Carapa guianensis</i>			x	887	10914	103	8	
18	<i>Cedrela odorata</i>		X	x	5226	17697	36	23	
19	<i>Cordia alliodora</i>		X	x	2822	17850	86	14	
20	<i>Hyeronima alchorneoides</i>		X	x	6289	10784	3	37	
21	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>		X	x	3494	12861	28	21	
22	<i>Myroxylon balsamum</i>			x	6022	33125	0	15	
23	<i>Platymiscium pinnatum</i>			x	11773	5367	0	69	
24	<i>Samanea saman</i>		X		3555	10969	118	24	
25	<i>Schizolobium parahyba</i>		X		5679	5982	475	49	
26	<i>Tabebuia rosea</i>	X	x	930	11488	137	7		

Donde: N = Ecorregión Bosques secos del lado Pacífico de América Central; S = Ecorregión Bosques húmedos del lado Pacífico del Istmo de Panamá-Costa Rica; Perdido= hábitat actual que se pierde en el futuro; Ganado = hábitat disponible en el futuro; Mantenido = hábitat actual sin cambio en el futuro; *endémica

Los extremos en pérdida de hábitat se observan en: *Tocoyena pittieri* (85%) de la ecorregión S, categoría valor de conservación (segundo grupo-que no gana hábitat) y *Swietenia humilis* (7%), de la ecorregión N, categoría valor de conservación (primer grupo-que gana hábitat parcial), la que menos pierde. La mayor ganancia de hábitat la tiene *Aspidosperma spruceanum*, de la ecorregión S, categoría valor maderable, la única de las 26 especies que mantiene casi en su totalidad su hábitat actual en el futuro. *Tocoyena pittieri* (primera de la izquierda) presenta la mayor pérdida de hábitat (izquierda), *Swietenia humilis* (centro) presenta la menor pérdida y el caso contrario de mayor ganancia la tiene *Aspidosperma spruceanum* (derecha). Los mapas de las tres especies casi no se traslapan, excepto en una pequeña parte del pacífico central, por el Parque Nacional Carara. La figura 6 sugiere que *Aspidosperma spruceanum* desplaza en hábitat a *Tocoyena pittieri*; las tres especies tendrían solamente un espacio en común sobre el cantón Upala, en Guanacaste (Figura 6).

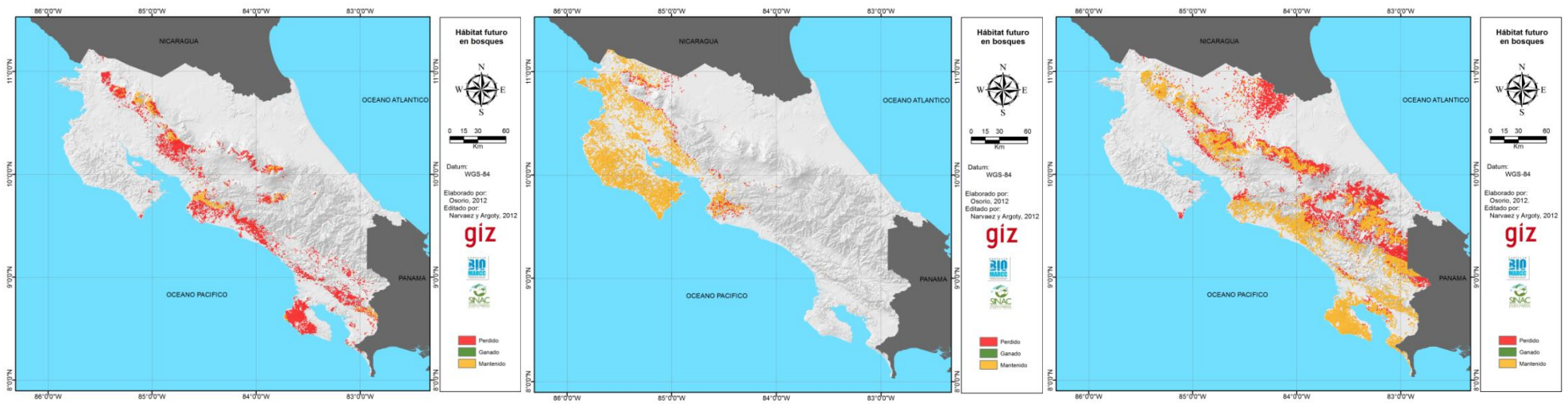


Figura 6 Cambios del hábitat disponible futuro de las especies.

Se distinguen patrones de desplazamiento distintos entre el primer grupo (las que ganan hábitat parcial-el mayoritario), se identifican tres subgrupos: a) las que prefieren rumbos hacia el nor-oeste, conformado por espacios más secos en todo el pacífico norte; b) las que van hacia el nor-este, dentro de la provincia Guanacaste y c) las de rumbos variados dependiendo de la vertiente en que se ubiquen, buscando las zonas más húmedas. *Calycophyllum candidissimum* (izquierda) se desplaza hacia el nor-oeste (subgrupo a), *Dalbergia retusa* (centro) muestra una conducta contraria a la anterior y se desplaza hacia el nor-este (sub grupo b); sin embargo, ambas especies de valor de conservación, presentan un traslape-diverso y poco contundente-de hábitat sobre el cantón Upala, Guanacaste., de la ecorregión N (Figura 7).

Aparentemente no muestran asociación, sino más bien competencia por la distinta ocupación espacial que muestran cada especie en la figura. La última especie (derecha), de valor maderable, con un hábitat más extenso y variado que las anteriores (presente en ambas ecorregiones), en el pacífico se desplaza hacia el sur y sobre el atlántico hacia el este (Figura 7).

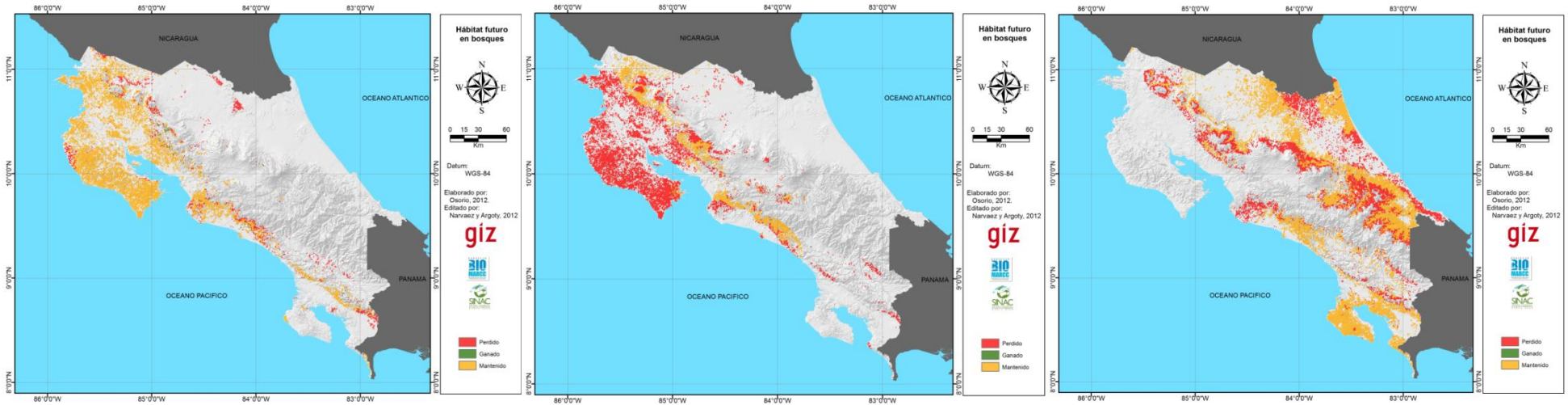


Figura 7 Patrones distintos de desplazamiento de especies del primer grupo (que ganan hábitat parcial).

Las especies del segundo grupo –que no ganan hábitat– presentan patrones similares hacia el sur-oeste, espacios más húmedos al centro y sur del pacífico. La especie *Agonandra macrocarpa* incluida en este grupo únicamente porque gana hábitat, tiene un patrón distinto al resto de especies del grupo, al preferir la zona nor-oeste. *Agonandra macrocarpa* (extremo izquierdo) se mantiene sobre las zonas secas y calientes de la ecorregión N, al cual pertenece, pudiendo estar asociada a *Calycophyllum candidissimum* (de la Figura 7). En tanto que *Chanochiton kappleri* (centro) y *Couratari guianensis* (extremo derecho), ambas de valor de conservación y *Tetrathylacium macrophyllum* (centro abajo) de valor de importancia, todas de la ecorregión S, comparten hábitat hacia el sur del pacífico, mostrando una asociación aparente. *Tocoyena pittieri*, especie que presenta la mayor pérdida de hábitat (Figura 6) y que también pertenece al grupo que no gana hábitat, no estaría asociada a las tres últimas especies de la Figura 8 y sería la más perjudicada por el masivo desplazamiento (Figura 8).

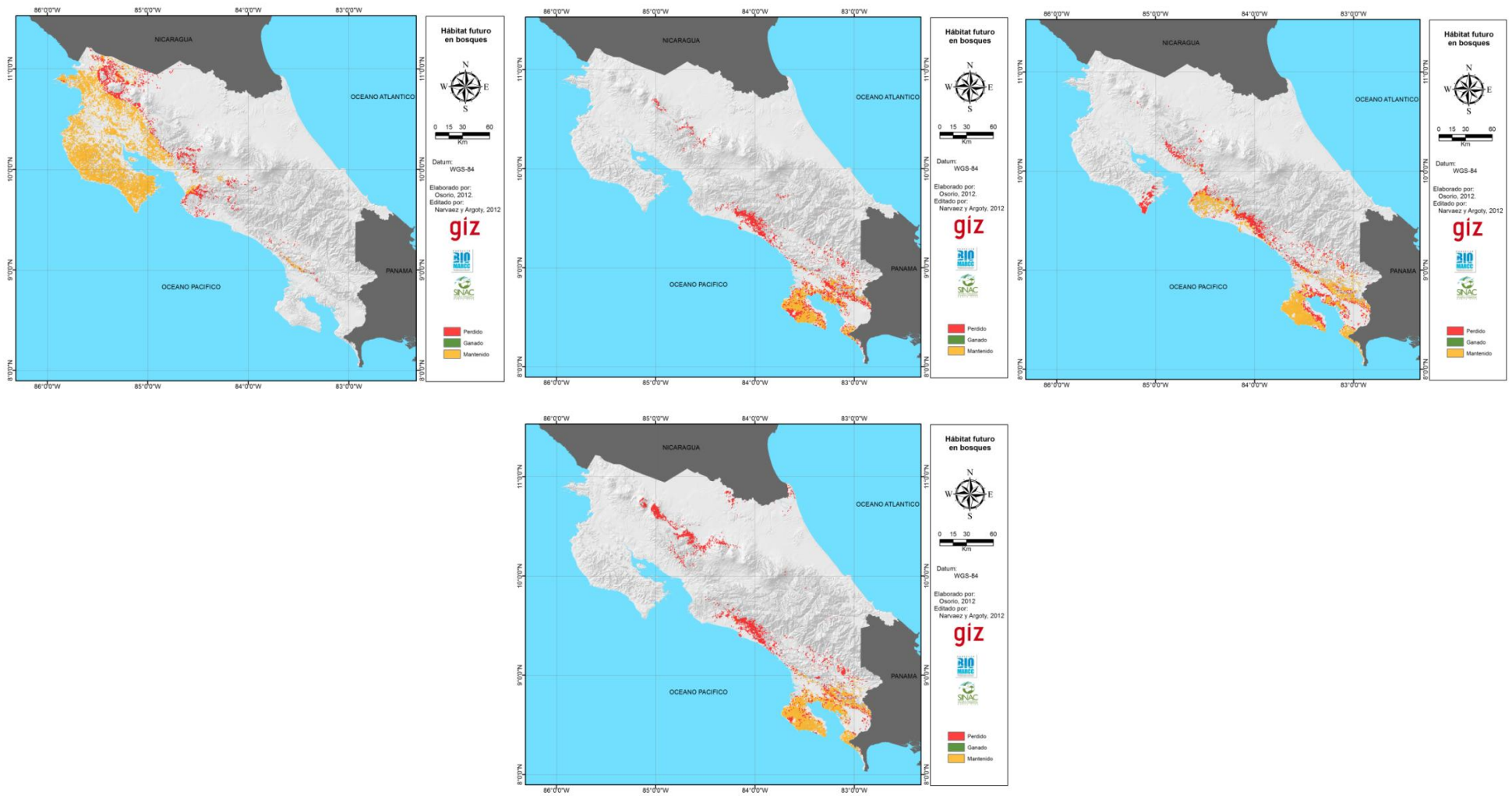


Figura 8 Patrones similares de desplazamiento de especies del segundo grupo (que no ganan hábitat) hacia el sur-oeste de la ecorregión S

3.3.4 Implicaciones para la conservación

Las categorías con mayor pérdida de hábitat promedio en AP y CB en orden decreciente son: valor de conservación (39,9±23,8; 43,2±27); valor de importancia (34,4±26,2; 37,7±3,5) y valor maderable (32,8±17,1; 26,4±19,2). Considerando el hábitat mantenido en AP y CB, el orden de las categorías se invierte: valor maderable (67,2±17,1; 73,6±19,2); valor de importancia (65,6±26,2; 62,3±31,5) y valor de conservación (60,1±23,8; 56,8±27), este orden se mantiene con el hábitat ganado pero en diferente proporción: valor maderable (38,3±34; 43,6±35,6); valor de importancia (35,8±30,2; 39,2±32) y valor de conservación (18,2±23; 36,4±37,9) (Cuadro 9). Ver en Anexo 4 y 5 la información de las especies totales.

Cuadro 9 Resumen del hábitat futuro por estrategia de conservación según categoría de especies

Hábitat disponible	Estrategia de conservación	Estadístico	Categoría		
			Valor de conservación	Valor de importancia	Valor maderable
Perdido	AP	\bar{X}	39.9	34.4	32.8
		s	23.8	26.2	17.1
	CB	\bar{X}	43.2	37.7	26.4
		s	27.0	31.5	19.2
Mantenido	AP	\bar{X}	60.1	65.6	67.2
		s	23.8	26.2	17.1
	CB	\bar{X}	56.8	62.3	73.6
		s	27.0	31.5	19.2
Ganado	AP	\bar{X}	0.8	0.9	0.7
		s	1.9	1.2	1.0
	CB	\bar{X}	0.9	0.6	0.8
		s	2.4	0.7	1.6

Donde: AP = Hábitat disponible en Áreas Protegidas; CB = Hábitat disponible en Corredores Biológicos; Estadística descriptiva: \bar{X} = promedio, s = desviación estándar

Las especies con extremos de pérdida de hábitat en AP son al igual que en la sección anterior (con bosque): *Tocoyena pittieri* (80,7%) de la ecorregión S, categoría valor de conservación (del grupo que no ganan hábitat) y *Swietenia humilis* (5,7%), de la ecorregión N, categoría valor de conservación (del grupo que gana hábitat parcial), ambas especies mantienen la menor y mayor hábitat en AP, respectivamente. En corredores biológicos, la especie con mayor pérdida de hábitat es también *Tocoyena pittieri* (85,8%) y *Lonchocarpus phaseolifolius* (5,5%) de la ecorregión N, categoría valor de conservación (del grupo que gana hábitat) la que menos pierde, ambas especies mantienen la menor y mayor hábitat en CB, respectivamente. *Tocoyena pittieri* (izquierda), especie de la ecorregión S que no gana hábitat a futuro, es la que más pierde hábitat en AP (color rojo) y CB (color morado); *Swietenia humilis* (centro) de la ecorregión N, la que pierde menos hábitat en AP y *Lonchocarpus phaseolifolius* (derecha) de la ecorregión N, la que menos pierde en CB. Las dos últimas especies podrían estar asociadas porque mantienen similar hábitat en AP y CB (Figura 9).

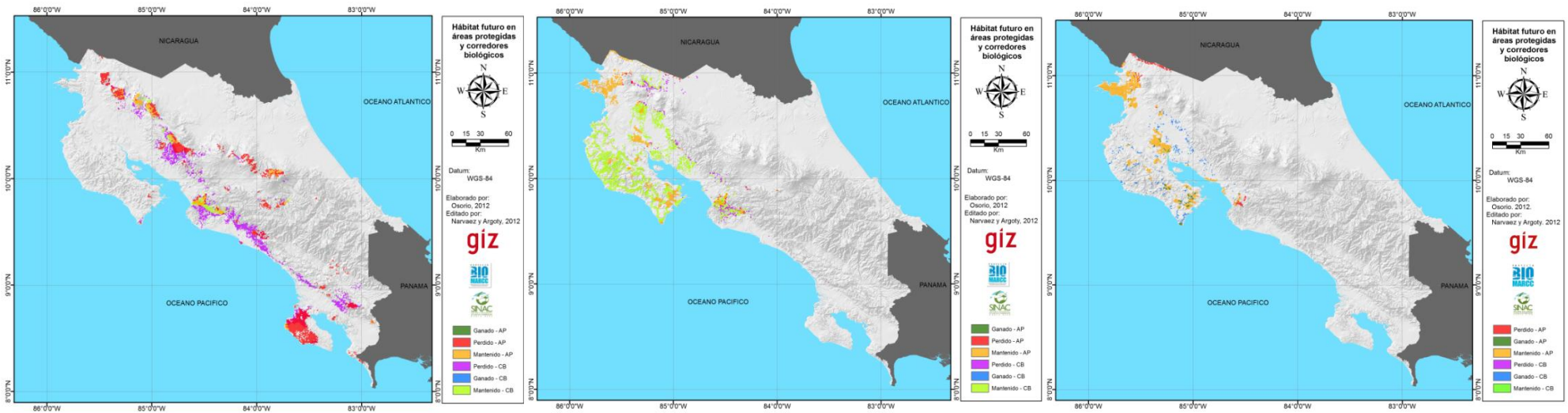


Figura 9 Comparación de especies con valor de conservación con los mayores extremos de pérdida de hábitat disponible en áreas protegidas (AP) y corredores biológicos (CB).

Según la condición del hábitat de la sección 3.3.4, a nivel de grupos se observan escenarios futuros similares, por ejemplo especies del primer grupo (que ganan hábitat parcial) como *Samanea saman*, *Guazuma ulmifolia* y *Cordia alliodora*, mantienen su hábitat sobre corredores biológicos en el pacífico norte y central y ganan pocos espacios en áreas protegidas de los bosques húmedos de la ecorregión S, principalmente en la zona de la península de Osa, donde existen áreas de conservación como el Parque Nacional Corcovado. *Samanea saman* (izquierda) de la ecorregión N, así como *Guazuma ulmifolia* (centro) y *Cordia alliodora* (derecha) de las ecorregiones N y S no llegan a consolidarse sobre las zonas muy húmedas del pacífico sur, mostrando más pérdida que ganancia de hábitat sobre áreas protegidas (Figura 10).

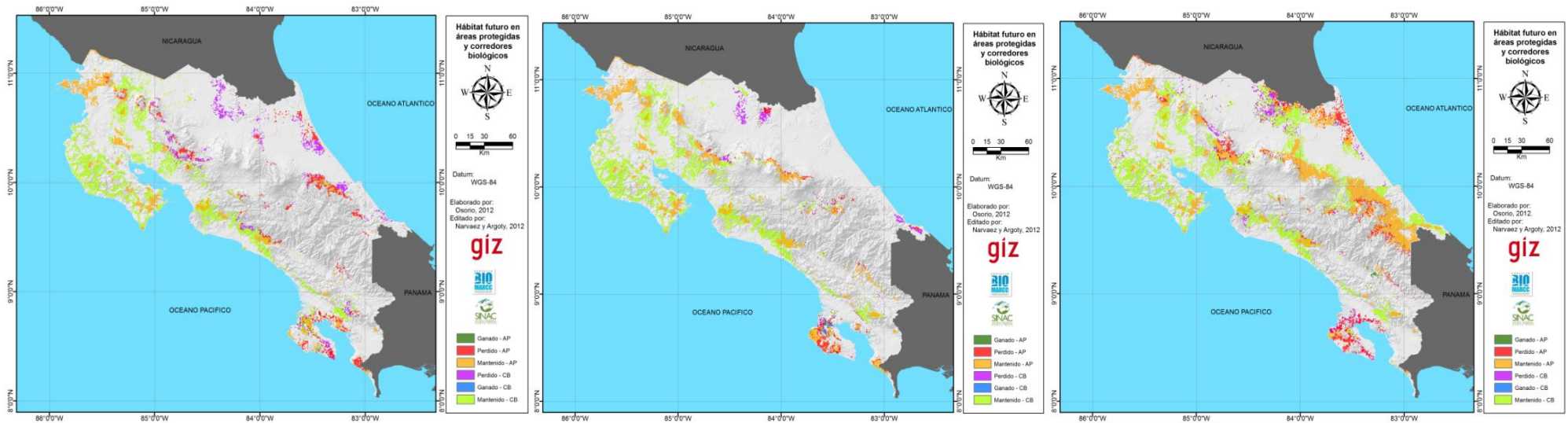


Figura 10 Hábitat futuro común entre *Samanea saman*, *Guazuma ulmifolia* y *Cordia alliodora*, especies que ganan hábitat disponible

En especies del segundo grupo (que no ganan hábitat), ejemplos como *Couratari guianensis* (izquierda), *Chaunochiton kappleri* (centro) y *Tetrathylacium macrophyllum* (derecha) de la ecorregión S mantienen mayormente su hábitat en AP, principalmente en la zona de la península de Osa, donde existen áreas de conservación como el Parque Nacional Corcovado (Figura 11).

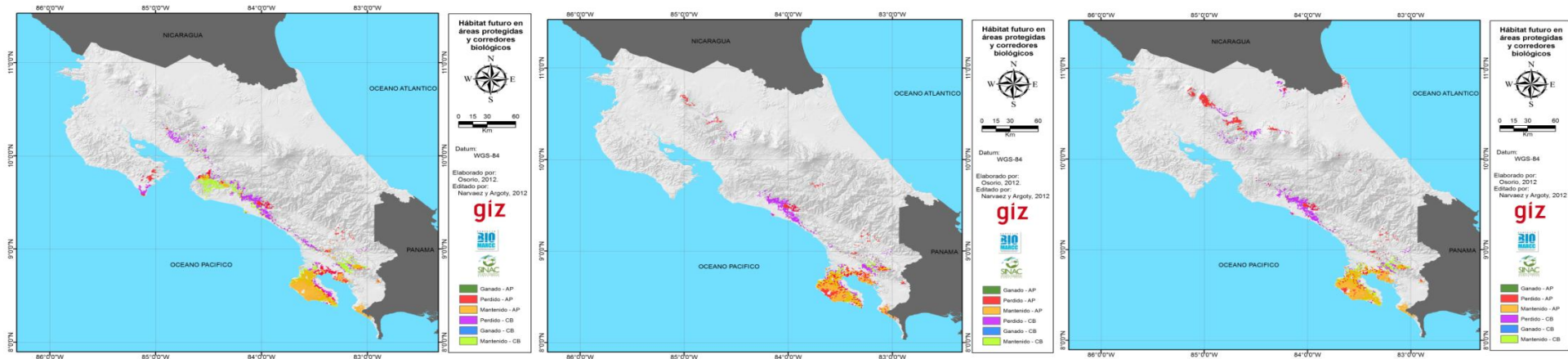


Figura 11 Hábitat futuro común entre *Couratari guianensis*, *Chaunochiton kappleri* y *Tetrathylacium macrophyllum*, especies que no ganan hábitat disponible

A nivel de ecorregiones, algunas especies como *Agonandra macrocarpa* (izquierda), *Swietenia humilis* (centro) y *Lonchocarpus phaseolifolius* (derecha), de la ecorregión N mantienen mayormente su hábitat sobre corredores biológicos en la Península de Nicoya (pacífico norte) y sobre el Parque Nacional Santa Rosa (Figura 12).

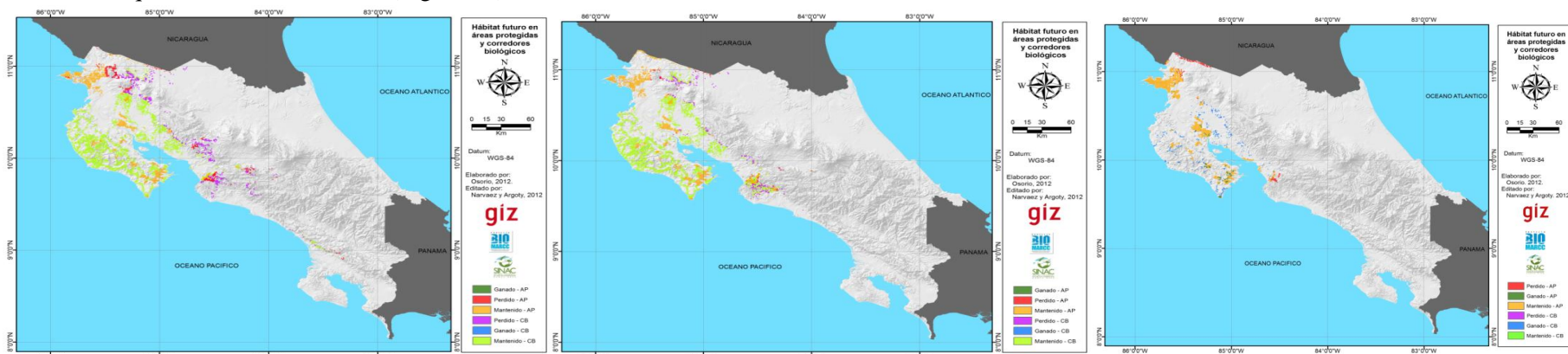


Figura 12 Hábitat futuro común entre *Agonandra macrocarpa*, *Swietenia humilis* y *Lonchocarpus phaseolifolius* en la ecorregión

N

Por su parte, especies de la ecorregión S como *Amphitecna isthmica*, *Otoba novogranatensis* y *Platymiscium pinnatum* en la ecorregión S presentan similares escenarios de pérdida de hábitat en áreas protegidas de la península de Osa, así como pérdida en corredores biológicos y áreas protegidas en la zona norte y central del pacífico y el norte del valle central hacia el Caribe, en los alrededores del Parque Nacional La Amistad. Las tres especies de la figura ocurren en la península Osa, ecorregión S y tendrían un hábitat común casi desde la bajura del atlántico hacia el norte de Guanacaste, zonas que muestran pérdida de hábitat disponible en el futuro sobre todo en áreas protegidas (Figura 13).

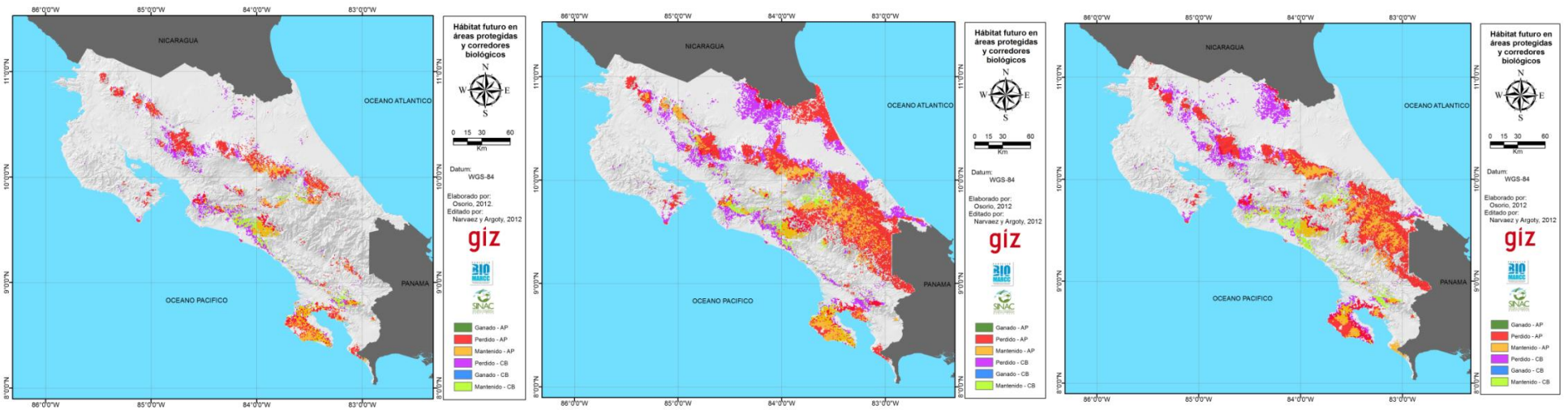


Figura 13 Hábitat futuro común entre las especies *Amphitecna isthmica*, *Otoba novogranatensis* y *Platymiscium pinnatum* en la ecorregión S

3.4 Discusión

De acuerdo a los resultados de este estudio, se pretende desarrollar la discusión en referencia a dos cuatro preguntas: ¿cuáles son las variables más importantes y porqué? ¿Cómo influyen los umbrales al estudio? ¿Cómo son los cambios (ganancia/pérdida) en los patrones de desplazamiento para cada especie en Costa Rica? ¿Cuáles son las implicancias en la conservación?

3.4.1 Variables seleccionadas y ajuste de modelo

Las variables que más contribuyen a la construcción del modelo son la precipitación y temperatura (bio19 y bio18) en interacción, la temperatura (bio4 y bio7) y la precipitación (bio14). De estas cinco variables, la que contribuye con más valor porcentual en la construcción del modelo de nicho de 13 especies arbóreas (*Couratari guianensis*, *Tetrathylacium macrophyllum* y *Tocoyena pittieri* con más del 70%) es la bio19, variable que además aparece en la lista de variables seleccionadas en 21 de las 26 especies estudiadas. Esta variable, comprendida por la acción conjunta de la temperatura y precipitación, influyen notablemente en la ecofisiología de las plantas, específicamente sobre la consistencia de las hojas y fenología (Harrison et al. 2010, Xiaojun et al. 2011), ocasionando sobre ésta última desórdenes en las relaciones ecológicas entre las plantas y los animales, manifestándose una desincronización entre la producción de flores y la presencia de polinizadores (Rosenzweig et al. 2007). De una variable resultante de dos factores interactuantes, la precipitación no sería tanto la limitante, sino mas bien la temperatura, ya que en los trópicos, los altos niveles inhiben la fotosíntesis, afectando de esta manera la reproducción, crecimiento y supervivencia de la planta (Hannah et al. 2005; Harrison et al. 2010; Sykes 2009). Otra de las variables que aparecen con mayor porcentaje en 4 especies, es la bio4, variable que representa los cambios de la temperatura durante el año y es considerada como uno de los factores más importantes en la distribución de especies (Xiaojun et al. 2011, Saxe et al. 2001), debido a su influencia en la selección y diferenciación de las poblaciones en zonas de altitud y latitud, teniendo el calentamiento global un efecto sobre este comportamiento en los cambios temporales en los genes (Saxe et al. 2001). Finalmente, variables como la bio14 presente en algunas especies como *Guazuma ulmifolia* y *Agonandra macrocarpa*, podría tener relación con la preferencias de mayores meses secos, por lo que el tema de la estacionalidad es un factor clave en estas especie. En cambio, la bio7, otra variable que encabeza en porcentaje el modelo de especies como *Enterolobium cyclocarpum*, tendría que ver con la influencia de la diferencia entre la temperatura máxima del mes más cálido y la mínima del mes más frío en la vertiente del pacífico durante la estación seca, ya que cuanto más variación de elevación exista, menor es esta diferencia de temperaturas (Janzen 1991). Ejemplos de la selección de algunas de estas variables para estudios de estimación de nicho ecológico, se dan en Brasil, sobre el Brazilian Cerrado con la especie *Dypterix alata* (árbol Baru), endémica en un área de 2.5 millones Km² (Nabout et al. 2010) y en otros grupos taxonómicos como la *Aneides flavipunctatus* (salamandra negra) en California (Rissler y Apodaca 2007).

Con esto, aunque el estudio no haya incluido en su análisis otros factores abióticos como la humedad, radiación solar, evapotranspiración real que se conocen que influyen en la distribución de especies de bosques (Clark et al. 2011; Harrison et al. 2010; López-Mata et al. 2009; Sykes 2009), y tampoco factores bióticos como la dispersión (Wisz et al. 2012), se puede decir que hay una influencia importante de las variables bioclimáticas (Araujo y Peterson 2012), sobre todo en especies con altos porcentajes de contribución al modelo (ver cuadro 2); sin embargo, es importante no olvidar que estas variables provienen de interpolaciones de datos mundiales a una escala muy gruesa (poca resolución), por ello, es necesario considerar otros métodos de mayor precisión a una escala más fina, como ANUSPLIN, que pueda ser aplicada a escala local o regional (Hutchinson 1995). La evaluación del modelo con el AUC total (con todas las variables) indica que existe una predicción de buena (mayor a 0,80) a excelente (mayor a 0,90) de los datos para clasificar espacios predichos con presencia de los de ausencia (Swets 1988; Fielding y Bell 1997), estos valores de AUC con variables climáticas disminuyen en todas las especies, siendo el menor valor en *Tabebuia rosea* (0,775), pero en ambos análisis de AUC los modelos con valores superiores a 0,75 resultan potencialmente útiles (Elith 2006). Estos resultados deberían compararse con otros algoritmos (Nabou et al. 2010) y así descartar posibles resultados con sobre predicción que suele tener el programa, asimismo, la aplicación de un ROC parcial, sugerido por Peterson et al. 2008 podría ayudar a reducir el error de omisión ó falsos negativos (presencias mal reconocidas como ausencias).

3.4.2 Influencia de los umbrales

La predicción general de los modelos globales de clima con la aplicación de ambos umbrales, indica que el hábitat de la mayoría de las especies arbóreas del estudio tiende a perderse (disminuye respecto a la actual), aunque las proporciones son distintas para cada una, por lo cual se infiere tienen distintos mecanismos de respuesta y diferentes requerimientos ecológicos (Trisurat et al 2009). Las mayores variaciones porcentuales del cálculo entre hábitat actual y futuro con ambos umbrales se presentan con la categoría valor de conservación y en menor grado en valor maderable. Este resultado parece indicar una influencia no proporcional entre la amplitud de los registros y la superficie de Mesoamérica (Ver Anexo 6), observándose mayor extensión de los datos en especies de la categoría valor maderable, a diferencia de las especies con valor de conservación que se encuentran sobretudo en la vertiente pacífica y con muy poca representación en cordilleras; suceso que sugiere que la mayor dispersión de registros sobre el espacio-en las especies con valor maderable-influiría en la menor variabilidad de los resultados, evidencia que es afirmada por Aranda y Lobo (2005).

El número de registros no influye en los umbrales, en especies como *Guazuma ulmifolia*, *Cordia alliodora*, *Hyeronima alchorneoides*, *Carapa guianensi* y *Samanea saman* con registros por encima de 25, se obtienen resultados más acertados que con especies con menores datos a este. Este resultado podría indicar, que los umbrales recomendados por Pearson et al. (2007) para pocos registros (menos a 25) no necesariamente están limitados para especies con esta condición, siendo posiblemente la independencia espacial de las localidades un factor importante en la precisión del modelo de hábitat disponible, ya que los registros de las especies antes mencionadas-mayormente de la categoría valor maderable- están dispersos en toda la superficie de Costa Rica, evitándose de esta manera la autocorrelación de datos –puntos localizados menos de 10km entre sí-que podrían generar falsos buenos valores en la validación estadística (Pearson et al. 2007).

Con 25 datos y poco dispersos, la precisión del modelo es buena en especies como *Chaunochiton kappleri* y *Couratari guianensis*, sin embargo habrían espacios que no concuerdan con las zonas en las que normalmente se observan (Zamora 2012), insinuándose a diferencia del caso de especies con mayores registros y dispersos, la existencia de autocorrelación espacial ya mencionada. Esta discusión podría ser una de las razones que respondería el por qué de la mayor variabilidad de hábitat estimado en la categoría de conservación del párrafo anterior.

3.4.3 Patrones de desplazamiento espacial en Costa Rica

Antes de contestar esta sección, es necesario señalar dos aspectos: primero, que el hábitat actual estimado pudiera mostrar sesgos en varias especies, mostrándose una proyección de hábitat disponible un poco exagerada en algunas debido probablemente a ciertas características o patrones de crecimiento en elevación y estacionalidad de precipitación que MaxEnt no identificó, por ejemplo en especies como *Agonandra macrocarpa*, *Dalbergia retusa* y *Calycophyllum candidissium* (Zamora 2012) de la categoría valor de conservación; el segundo aspecto es que aunque estas observaciones deben tomarse muy en cuenta para la fase de validación en campo (etapa que este estudio no contempla), los modelos de hábitat disponible estiman el nicho fundamental basado en condiciones abióticas-sin considerar factores bióticos y accesibilidad-debiéndose interpretar como las “áreas idóneas donde la especie podría estar” y no necesariamente donde la especie está. Con este antecedente, el hábitat estimado será mayor al naturalmente observado (Soberón y Peterson 2005). Esto no quiere decir necesariamente que exista un error del modelo, sino más bien, que esta estimación de zonas óptimas sugeriría la posibilidad de zonas apropiadas para la reforestación (que posiblemente nunca se realizó).

Los resultados señalan que a nivel de categorías, valor de conservación –con mayor representación de especies en la ecorregión S– presenta el mayor porcentaje de pérdida, siendo el menor la de valor maderable y con más proporción de reducción en esta misma ecorregión. Esta tendencia por categorías a nivel de Mesoamérica se corroboró ser similar en Costa Rica luego de superponer la cobertura de suelo de ésta, la explicación de este resultado podría tener relación a la amplitud de los registros y su posible autocorrelación–descrito en la sección anterior. Un punto crítico sobre estos resultados es que el cambio de hábitat de las especies solo considera el efecto del cambio climático, sin incluir los cambios probables sobre la cobertura de bosque; sin embargo, teniendo en cuenta que el punto de evaluación es muy próximo (2020) podría dejarse sin efecto la influencia de otra amenaza, como la deforestación. Por otro lado, esta tendencia de mayor pérdida en la ecorregión S, podría tener relación con la presencia de especies siempreverdes y su menor tolerancia a la sequía que las plantas deciduas (Shuxia 2006), planteamiento relacionado al pronóstico del IPCC, que señala una reducción en la precipitación de la costa pacífica de Mesoamérica y un aumento de la temperatura, sobre todo de las mínimas para el año 2020 (Anderson et al. 2008).

Algo importante de evaluar además de los porcentajes de pérdida de hábitat, es reflexionar si las especies que ganan hábitat parcial en nuevos sitios con bosque realmente lograrán llegar. Ante esto, el análisis de los síndromes de dispersión de las especies es un mecanismo para determinar posibles rutas de migración o al menos por el tipo de síndrome, predecir si hay más o menos factibilidad. Se conoce que las especies cuyos propágulos dependen de la intervención de animales, tendrían más probabilidad de llegar a un nuevo sitio que las movidas por el viento, pero va a depender del grado de conectividad entre los parches y el nivel de fragmentación del paisaje (Corlett 2009; Pearson y Dawson 2005). Es un tema que debe analizarse por ejemplo con modelos de dispersión citados en Wisz et al 2008.

3.4.4 Implicaciones para la conservación

Los resultados muestran que del análisis de pérdida/ganancia de hábitat con bosque y las estrategias de conservación, aunque en diferente proporción individual, todas las especies pierden hábitat a futuro, pero debido a su menor capacidad de adaptación el grupo de especies-ocho-que no ganan hábitat podrían ser las más vulnerables al cambio climático (Huntler 1991; Hannah 2000) en comparación a las que sí podrían colonizar otras áreas, que comprende un grupo mayoritario de dieciocho especies.

Respecto a la efectividad de las áreas protegidas y los corredores biológicos se puede decir que sólo los segundos son funcionalmente útiles en espacio y tiempo, porque ayudan a mantener a futuro el hábitat de las especies, mostrando también ser espacios propicios para la colonización. Esto se mostró fundamentalmente en la ecorregión N, donde especies como *Swietenia humilis* y *Lonchocarpus phaseolifolius*, ambas con valor de conservación presentan los menores valores de pérdida en AP y CB, respectivamente, situación que no ocurre en la ecorregión S, donde se presentan las mayores pérdidas en ambos espacios con la especie *Tocoyena pittieri*, también con valor de conservación. Este contexto sugiere que de acuerdo a los patrones de desplazamiento, las tres primeras especies que muestran una ganancia de hábitat parcial, las medidas de adaptación se dirigen al manejo de áreas prioritarias que faciliten su migración, mientras que para el caso de la última especie, que pierde y mantiene poco hábitat disponible y además no ganan hábitat, convendría el manejo de áreas que promuevan su recolonización. La aplicación de estas posibles medidas es válida para las demás especies de los dos grupos identificados según su escala de movimiento, acciones que pueden realizarse efectivamente con el conocimiento de los patrones de desplazamiento y hábitat comunes de las especies, los cuales se han intentado de describir en la sección resultados.

De forma general, los resultados indican que la ecorregión N es la menos afectada en pérdida de hábitat, la presencia mayoritaria de corredores biológicos mantienen a futuro el hábitat de las especies, situación distinta en la ecorregión S, donde no se asegura el hábitat futuro con las áreas protegidas que actualmente existen. En ambos, la estrategia regional se dirige a la implementación de corredores biológicos que incluyan las características del párrafo anterior.

Además de analizar de forma particular los casos donde la especie está asegurada, es claro que la pérdida hábitat de las especies podría sugerir reajustes en la categorización de amenaza global que la UICN plantea, caso que ocurre en la especie *Tocoyena pittieri*, considerada en estado vulnerable.

3.5 Conclusiones

La proyección futura al año 2020 refleja que los cambios en hábitat disponible de las especies arbóreas son muy preocupantes, la velocidad de cambio en relación a la capacidad de migración parecen no tener relación proporcional, por lo que el establecimiento de rutas de migración a corto plazo podría no ser una medida muy efectiva.

En términos de pérdida de hábitat, la categoría valor de conservación en la ecorregión S es la más afectada. Según la escala de movimiento de las especies, el establecimiento de áreas prioritarias para la migración en la ecorregión N, así como la evaluación de áreas para recolonización en la ecorregión S son las medidas de adaptación más convenientes.

Los resultados revelan que las áreas protegidas y corredores biológicos no son medidas de adaptación seguras, ya que podrían ser espacios funcionalmente útiles solo a corto plazo. La implementación de corredores biológicos con fines migratorios es sugerida en las zonas adyacentes de las áreas protegidas, considerando para este fin la introducción de las especies más afectadas y/o vulnerables. La aplicación de pago por servicios ambientales (PSA) para restauración es una medida complementaria para el establecimiento y mantenimiento de áreas conservadas. Otra medida que podría considerarse es la conservación ex situ de jardines botánicos de las especies afectadas, espacios que deberían ser instalados en los lugares con mayor certeza de cambio a futuro que muestra la investigación.

En este análisis no se ha considerado la configuración espacial, lo que posiblemente aun resulta en una subestimación de los impactos ecosistémicos.

REFERENCIAS

- Aguilar, E., Peterson, T., Ramírez Obando, P., Frutos, R., Retana, J., Solera, M., Soley, J., et al. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *Journal of Geophysical Research*, 110(D23107).
- Anderson, E.R; Cherrington, E.A; Flores, A.I; Perez, J.B. Carrillo, R; Sempris, E. 2008. Potential o climate change on biodiversity in Central America, Mexico and the Dominican Republic. CATHALAC/USAID. Panama, PAN. 195p.
- Anderson, R.P; Lew, D; Peterson, A.T. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162 (2003) 211-232.
- Aranda, S.C; Lobo, J.M. 2008. Una estimación de la capacidad predictiva de los modelos de distribución. *Biogeografía Scientia Biodiversitatis*. Editores Real, R; Márquez, A.L. 11 p.
- Araujo, M; Peterson, T. 2012. Uses and misuses of bioclimatic envelope modeling. *Ecology* 93(7): 1527-1539.
- Baldwin R.A. 2009. Use of Maximum Entropy Modeling in Wildlife Research. *Entropy* 2009, 11, 854-866
- Biasutti, M; Sobel, A; Camargo, S; Creyts, T. 2012. Projected changes in the physical climate of the Gulf Coast and Caribbean. *Climate Change* 112: 819-845.
- Biringer, J; Guariguata, M.R; Locatelli, B; Pfund, J.L; Spanger-Sigfried, E; Suárez, A.G; Yeaman, S; Jarvis, A. 2005. In Robledo, C; Kanninen, M; Pedroni, L. eds. *Tropical Forest and Adaptation to Climate Change. In search of synergies*. Bogor, Indonesia, CIFOR. p 154-183.
- Boyd, J; Banzhaf, S. 2007. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accountings units. *Ecological Economics* 63 (2007). pp 616-626.
- Bruner, A; Gullison, R; Rice, R; Da Fonseca, G. 2001. Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. *Science* Vol. 291 (125-127).
- biodiversity. *Science* Vol. 291 (125-127).
- Clark, J; Bell, D; Hersh, M; Nichols, L. 2011. Climate change vulnerability of forest biodiversity: climate and competition tracking of demographic rates. *Global Change Biology* 2011 (17): 1834-1849.
- Corlett, R. 2009. Seed dispersal distances and plant migration potential in tropical east Asia. *Biotropica* 41(5): 582-598.

- Costanza, R.; d'Arge, R.; de Groot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; O'Neill R.; Paruelo, J.; Raskin, R.; Sutton, P.; van der Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. Vol 387. 8p.
- De Pando, B. B; De Giles, P. J. 2007. Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica (en línea). *Geo Focus* N° 7. ESP. p 100-119.
- Diaz, S.; Tilan, D.; Fargione, J.; Chaopin, F.S.; Dirzo, R.; Kitzberger, T.; Gemmill, B.; Zobl, M.; Laurence, W.F.; Pretty, J.; Naylor, R.; Power, A. Harvell, D. 2005. Biodiversity regulation of ecosystem services. In: Hassan, R.; Scoles, R.; Ash, N. (eds). *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*. Millenium Ecosystem Assessment. Volume 1. Island Press, Washington, DC. p. 297-329.
- Dinerstein, E; Olson D; Graham, D; Webster, A; Primm, S; Bookbinder; M; Ledec, G. 1995. Una evaluación del estado de conservación de las Eco-regiones terrestres de América Latina y el Caribe. Banco Mundial. Washington, DC. 135 p.
- Dudley, N. (Editor) 2008. *Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas*. Gland, Suiza. UICN. 116 p.
- Elith, J; Phillips, S; Hastie, T; Dudik, M; En Chee, Y, Yates, C. 2011. A statistical explanation of Maxent for ecologists. *Biodiversity and Distributions* 17, 43-57.
- Elith, J; Graham, C; Anderson, R, Dudik, E, Ferrier, S; Guisan, A; Hijmans, R; Huettmann, F; Leathwick, J; Lehmann, A; Li, J; Lohmann, L; Loiselle, B; Manion, G; Moritz, C; Nakamura, M; Nakazawa, Y; McCOverton, J; Peterson, T; Phillips, S; Richardson, K; Scachetti-Pereira, R; Schapire, R; Soberón, J; Williams, S; Wisz, M; Zimmermann, N. 2006. Novel methods improve prediction of species' distribution from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151. 2006.
- FAO. 2007. *Situación de los bosques del mundo. Parte I. Situación y perspectivas de la conservación y desarrollo de los bosques*. Departamento de Montes. 2007. Consultado 31 Ago. 2012. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/W9950S/w9950s04.htm>
- Ferrier, S., Guisan, A. 2006. Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of Applied Ecology*. 43. pp. 393-404.
- Franklin, J. 2009. *Mapping species distribution: a spatial inference and prediction*. Cambridge University Press. 340 p.

- Freeman, E.A, Moisen, G.G. 2008. A comparison of the performance of threshold criteria for binary classification in terms of predicted prevalence and kappa. *Ecological Modelling* 217 (2008): 48-58.
- Fischlin, A.; Midgley, G.F.; Price, J.T.; Leemans, R.; Gopal, B.; Turley, C.; Rounsevell, M.D.A.; Dube, O.P.; Tarazona, J.; Velichko, A.A. 2007. Ecosystems, their properties, goods and services. In: Parry, M.L.; Canziani, O.F.; Palutikof, J.P.; van der Linden, P.J.; Hanson, C.E (eds.). *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. p. 211-272.
- Fielding, A; Bell, J. 1997. A review methods for the assessment of predictions errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* 24(1): 38-49.
- Giorgi, F. 2006. Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*. Vol 3. L08707. p 4.
- Guisan, A; Weiss, S.B; Weiss, A.D. 1999. GLM versus CCA: Spatial modelling of plant species distributions. *Plant Ecology* 143 (107-122).
- Hannah, L; Salm, R. 2004. Protected areas management in a climate change. In Lovejoy, T y Hannah, L: *Climate change and biodiversity*. 2005. 418 p.
- Hannah, L; Lovejoy, T.E; Schneider, S.H. 2005. Biodiversity and climate change in context. In: Lovejoy T.E y Hannah, L. (Eds) 2005. *Climate Change and Biodiversity*. Yale University Press New Haven y London.
- Harrison, S.P., Prentice, I.C., Barboni, D., Kohfeld, K.E, Ni, J., Sutra, J.P. 2010. Ecophysiological and bioclimatic foundations for a global plant functional classification. *Journal of Vegetation Science* 21: 300-317. 2010.
- Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G., Jarvis A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Hirzel, A.H; Hausser, J; Chessel, D; Perrin, N. 2002. Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology* 83:2027-2026.
- Howe, H; Smallwood, J. 1982. Ecology of seed dispersal. *Ann Rev. Ecol. Syst.* 1982. 13: 201-228.
- Hutchinson, M.F. 1995. Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines. *International Journal of of Geographical Information Systems* 9(4): 385-403.

- Imbach, P; Molina, L; Locatelli, B; Roupsard, O; Mahé, G; Neilson, R; Corrales, L; Scholze, M; Ciais, P. 2012. Modeling potential equilibrium states of vegetation and terrestrial water cycle of Mesoamerica under climate change scenarios. American Meteorological Society. Vol 13. 665-680 p.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional) y CRHH (Comité Regional de Recursos Hidráulicos). 2008. El clima, su variabilidad y cambio climático en Costa Rica. MINAET, IMN, PNUD, CRHH. San José, CR. 75 p.
- INBio (Instituto Nacional de la Biodiversidad). 2009. Biodiversidad y cambio climático en Costa Rica. Informe final. Proyecto 00033342-Segunda comunicación nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. IMN-PNUD-GEF. 177 p.
- IPCC-TGICA. 2007. General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. Versión 2. Prepared by TR Carter on behalf. 71 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2002. Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico del IPCC (en línea). Eds. H. Gitay; A. Suárez; RT, Watson; DT, Dokken. 93 p.
- IUCN. 2001. Categorías y criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1 de la comisión de supervivencia de especies de la UICN. UICN. Gland, Suiza y Cambridge. Reino Unido. ii+33 pp.
- IUCN. 2011. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 10 April 2012.
- Janzen, D (Ed.). 1991. Historia Natural de Costa Rica. traducción Chavarría, M. 1ed. San José, CR. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 1991. 822 p.
- Jarvis A., Reuter H., Nelson A., Guevara E. (2008). Hole-filled seamless SRTM data, 4th ed. International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia.
- Liu, C; Berry, P.M; Dawson, T.P; Pearson, R.G. 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography* 28: 385-393.
- Locatelli, B. Molina, L. 2008. Impacts of climate change on hydrological ecosystem functions in Mesoamerica. In *Adaptación al cambio climático: el rol de los servicios ecosistémicos*. Seminario Internacional. 116 p.
- López-Mata, L; Villaseñor, J.L; Cruz-Cárdenas, G; Ortiz, E; Ortiz-Solorio, C. 2009. Predictores ambientales de la riqueza de especies de plantas del bosque húmedo de montaña de México. *Botanical Sciences* 90(1): 27-36.

- Lovejoy, T. Conservation with a changing climate. 2005. In Lovejoy, T y Hannah, L: Climate change and biodiversity. 418 p.
- Louman, B; Fishlin, A; Gluck, P; Innes, J; Lucier, A; Parrotta, J; Santoso, H; Thompson, I; Wreford, A. 2009. In Adaptation of forest and people to climate change. A global assessment report. Seppala, R; Buck,A; Katila, P. (eds.). 2009. IUFRO World Series. Volumen 22. Helsinki. 224 p.
- Lucier, A; Ayres, M; Karnosky, D; Thompson, I. 2009. Forest responses and vulnerabilities to recent climate change. In Adaptation of forest and people to climate change. A global assessment report. Seppala, R; Buck,A; Katila, P. (eds.). 2009. IUFRO World Series. Volumen 22. Helsinki. 224 p.
- Martínez-Orea, Y; Castillo, O. S; Guadarrama, C.P. 2009. La dispersión de frutos y semillas y la dinámica de comunidades (en línea). Ciencias 96. 4p.
- Mateo, R; Felicismo, A; Muñoz, J. 2011. Modelos de distribución de especies. Una revisión sintética. Revista Chilena de Historia Natural. 84: 217-240. 2011.
- (Millenium Ecosystem Assessment). 2005. Ecosystem and human well-being. Synthesis. Island Press; Washington, D.C. 137 p.
- Miller, K, Chang, E; Johnson, N. 2001. En Busca de un enfoque común para el Corredor Biológico Mesoamericano. EEUU. Word Resources Institute. 49 p.
- Naoki, K; Gómez, M.I; López, P. R; Meneses, R. Vargas, J. 2006. Comparación de modelos de distribución de especies para predecir la distribución potencial de vida silvestre en Bolivia (en línea). Instituto de Ecología. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, BOL. Ecología en Bolivia, 41(1): 65-78. p 14.
- Nabout; JC; Soares, TN; Diniz_Filho; JAF; De Marco Júnior, P; Telles, MPC; Naves, RV; Chaves, LJ. 2010. Combining multiple models to predict the geographical distribution of the Baru tree (*Dipteryx alata*) in the Brazilian Cerrado. Brazilian Journal Biology. Vol 70 (4): 911-919.
- Nenzen, H.K; Araujo, M.B. 2011. Choice of threshold alters projections of species range shifts under climate change. Ecological Modelling 222 (2011): 3346-3354.
- Parmesan, C; Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems (en línea). Nature 421: 37-42.
- Parmesan, C. 2005. Biotic Response: Range and Abundance Changes. In Lovejoy, T.E; Hannah, L. eds. Climate Change and Biodiversity. Michigan, USA, Yale University Press. P 41-45.

- Pearce, J; Boyce, M. 2006. Modelling distribution and abundance with presence-only data. *Journal of Applied Ecology*. 43, 405-412.
- Pearson, R.G, Darson, T.P. 2005. Long-distance plant dispersal and habitat fragmentation: identifying conservation targets for spatial landscape planning under climate change. *Biological Conservation* 123 (2005) 389-401.
- Pearson, R.G. 2007. Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners. *Synthesis*. American Museum of Natural History. 50 p.
- Pearson, R.; Raxworthy, C; Nakamura; M; Peterson, T. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography (J. Biogeogr.)* (2007) 34, 102-117.
- Pérez S.; Ramírez E.; Alvarado A; Knox, E. (1979). Manual descriptivo del mapa de asociaciones de sub-grupos de suelos de Costa Rica (escala 1:200 000), Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria, San José, Costa Rica. 233 pp.
- Peterson, T; Papes, M; Soberon, J. 2005. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling* (213): 63-72.
- Phillips, S.J; Dudik, M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161-175 Phillips, S.J; Dudik, M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161-175.
- Phillips, S.J; Anderson, R.P; Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190(2006)231-259
- Pitelka, L. F., R.H.Gardner, J. Ash, S. Berry, H. Gitay, I.R. Noble, A. Saunders, R.H.W. Bradshaw, L. Brubaker, J.S. Clark, M.B. Davis, S. Sugita, J.S. Dyer, R. Hengeveld, G. Hope, B. Huntley, G.A. King, S. Lavorel, R.N. Mack, G.P. Malanson, M. McGlone, I.C. Prentice, and M. Rejmanek. 1997. Plant migration and climate change. *American Scientist* 85:464-473.
- Pliscoff, P., Fuentes-Castillo, T. 2011. Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, 48: 61-79.
- Primack, R; Roíz, R; Feinsinger, P; Dirzo, R; Massardo, F. 2001. *Fundamentos de conservación biológica*. México DF. Fondo de Cultura Económica. 797 p.

- Quétier, F; Tapella, E; Conti, G; Cáceres, D; Díaz, S. 2007. Servicios ecosistémicos y actores sociales. Aspectos conceptuales y metodológicos para un estudio interdisciplinario. *Gaceta ecológica número especial 84-85 (2007): 17-26*. Instituto Nacional de Ecología. México. 11 p.
- Raupach, M.R; Marland, G; Ciais, P; Le Quere, C; Canadell, J; Klepper, G; Field, C. 2007. Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions (en línea). *PNAS Vol 104, N° 24*. 6 p.
- Reid, H; Huq, S. 2005. Climate change-biodiversity and livelihood impacts. In Robledo, C; Kanninen, M; Pedroni, L. eds. *Tropical Forest and Adaptation to Climate Change. In search of synergies*. Bogor, Indonesia, CIFOR. p 57-70.
- Rissler, L. J., R. J. Hijmans, C. H. Graham, C. Moritz, D.B. Wake. 2006. Phylogeographic lineages and sp comparisons in conservation analyses: a case study of California herpetofauna. *Am. Nat.* 167: 655-666.
- Rosenzweig, C; Cassassa, G; Karoly, D.J; Imeson, A; Liu, C; Menzel, A; Rawlins, S; Root, T.L; Seguin, B; Tryjanowski, P. 2007. Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. *Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Parry, M.L; Canziani, O.F; Palutikof, J.P; van der Linden, P.J; Hanson, C.E, Eds, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 79-131.
- Sala, O.H; Chapin, E.S.I; Armesto, J.J; Berlow, E; Bloonfield, J; Dirzo, R; Huber-Sanwald, E; Huenneke, L.F; Jackson, R.B. Kinzig, A; Leemans, R; Lodge, D.M; Mooney, H.A; Oosterheld, N.L; M.T. Sykes, Poff; Walker, B.H; Walker, M; Wall, D.H. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287: 1770-1773.
- Sánchez-Azofeifa, A; Daily, G; Pfaff, A; Busch, C. 2003. Integrity and isolation of Costa Rica's national parks and biological reserves: examining the dynamics of land-cover change. *Biological Conservation* 109 (2003) 123-135.
- Santoso, H; Idinoba, M; Imbach, P. 2008. Climate scenarios: What we need to know and how to generate them. CIFOR. Bogos, Indonesia. 27 p.
- Saxe, H; Cannell, M; Johnsen, O; Ryan, M; Vourlitis, G. 2001. Tree and forest functioning in response to global warming. *New Phytologist* (2001), 149: 369-400.
- Seidler, G.T; Poltkin, B. J. 2006. Seed dispersal and spatial pattern in tropical trees. *PloS Biol* 4(11): e344. DOI: 10.1371/journal.pbio.0040344.
- Seppala, R; Buck, A; Katila, P. (Edit) 2009. Adaptation of forests and people to climate change. A global assessment report. IUFRO World Series Vol. 22. 224 p.

- Shuxia, Z; Zhouping, S; Qingwu, X. 2006. The $\delta^{13}\text{C}$ changes in four plants species of the Loess Plateau over the last 70 years. *Acta Physiologiae Plantarum*. Vol 28(3): 257-262.
- Smith, A.; B. Page; K. Duffy, R. Slotow. 2012. Using maximum entropy modeling to predict the potential distribution of large trees for conservation planning. *Ecosphere* 3(6): 56.
- Soberon, J; Peterson, A.T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*. 2. 2005. pp. 1-10.
- Swets, J. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240, 1285-1293.
- Sykes, M. 2009. Climate change impacts: vegetation. In *Encyclopedia of Life Sciences (ELS)*. John Wiley and Sons, Ltd: Chichester.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 1992. *Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático*. 27 p.
- TNC (The Nature Conservancy). 2006. Revisando las prioridades de conservación de la biodiversidad en Mesoamérica. Memoria talleres de expertos sistemas terrestres: selección objetos de filtro fino. San José, CR. 83 p.
- Trisurat, Y; Alkemade, R; Arets, E. 2009. Projecting forest tree distributions and adaptation to climate change in northern Thailand. *Journal of Ecology and Natural Environment* Vol 1(3). pp 55-63.
- VanDerWal, J; Shoo, L; Graham, C; Williams, S. 2009. Selecting pseudo-absence data for presence-only distribution modeling: How far should you stray from what you know?. *Ecological Modelling* 220: 589-594.
- Varela, S; Rodríguez, J; Lobo, J.M. 2009. Is current climatic equilibrium a guarantee for the transferability of distribution model predictions? A case study of the spotted hyena (en línea). *Journal of Biogeography* 36: 1645-1655.
- Xiaojun, K; Qin, L; Shirong, L. 2011. High-resolution bioclimatic dataset derived from future climate projections for plant species distribution modeling. *Ecological Informatics* 6 (2011): 196-204.
- Yost, A. C, Petersen, S. L, Gregg, M. Miller, R. 2008. Predictive modeling and mapping Sage Grouse (*Centrocercus urophasianus*) nesting habitat using Maximum Entropy and a long-term dataset from Southern Oregon. *Ecological Informatics* 3: 375-386.
- Walther G-R; Post, E; Convey, P; Menzel A; Parmesan, C; Treevor, B; Fromentin, J-M; Hoegh-Guldberg, O; Bairlein, F. 2002. Ecological responses to recent climate change, *Nature* 416.

- Wilson, P; Downey, P; Leishman, M; Gallagher, R; Hughes, L; O'Donnell, J. Weeds in a warmer world: predicting the impact of climate change on Australian's alien plant species using MaxEnt. *Plant Protection Quarterly* 24(3): 84-87.
- Wisn, M. S, Hijmans, R. J, Peterson, A.T, Graham, C.H, Guisan, A and NCEAS Predicting Species Distributions Working Group. 2008. Effects of sample size on the performance of species distributions models. *Diversity Distributions (Diversity Distrib)* 2008. 14: 763-773.
- Wisn, M.S; Pottier, J; Kissling, W.D; Pellissier, L; Lenoir, J; Damgaard, F; Dormann, C.F; Forchhammer, M.C; Grytnes, J-A; Guisan, A; Heikkinen, R.K; Høye, T.T; Kuhn, I; Luoto, M; Maiorano, L; Nilsson, M-C; Normand, S; Ockinger, E; Schmidt, N.M; Termansen, M; Timmermann, A; Wardle, D.A; Aastrup, P; Svenning, J-C. 2012. The role of biotic interactions in shaping distributions and realised assemblages of species: implications for species distribution modelling. *Biological Reviews (2012)*. Cambridge Philosophical Society. pp 16.
- Zamora, N. 2012. Anotaciones a los mapas de hábitat disponible (correo electrónico). San José, CR. 4 p.
- Zaniewski, A.E; Lehmann, A; Overton, J.M. 2002. Predicting species spatial distributions using presence-only data: a case study of native New Zealand ferns. *Ecological Modelling* 157: 261-280.

4 SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS ÁRBOLES, SU AFECTACIÓN POR EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA PERCEPCIÓN DE LOS POBLADORES

RESUMEN

Los servicios ecosistémicos (SE) son todos los bienes y servicios que provee la naturaleza y que son útiles para las poblaciones humanas; sin embargo, el efecto del cambio climático (CC) amenaza su adecuada provisión a futuro. Este estudio trata de evaluar la posible afectación del cambio climático sobre los SE, teniendo como referencia las zonas de Guanacaste y Osa, pertenecientes a las ecorregiones naturales Bosques secos del lado Pacífico de América Central y Bosques húmedos del lado Pacífico del Istmo de Panamá-Costa Rica, respectivamente. Se realizaron 30 entrevistas semi-estructuradas en cada zona, en un total de nueve localidades en ambas ecorregiones elegidas al azar, considerando necesariamente que el capital natural contenga bosques (árboles en condición natural). Según la percepción de los entrevistados en ambas zonas, la menor producción de flores y frutos es la principal afectación del CC sobre los árboles. A nivel de zonas, la construcción y conservación son los principales usos en Osa, siendo en Guanacaste la construcción y sombra. La reducción del hábitat disponible es un indicador de la afectación del cambio climático sobre los árboles. Los medios de vida de los pobladores en ambas zonas podría ser afectada por la irregular provisión de servicios ecosistémicos. La existencia de otras especies arbóreas utilizadas diariamente por los entrevistados que no han sido evaluadas en este estudio, reflejan la necesidad de continuar análisis dar más aportes sobre la afectación de este fenómeno en los medios de vida.

PALABRAS CLAVE

Arboles, cambio climático, ecorregiones, percepción, servicios ecosistémicos.

4.1 Introducción

Los servicios ecosistémicos (SE) que proveen los bosques generan el bienestar humano de las poblaciones directamente dependientes (Louman et al. 2009), el cambio climático (CC) alterará la provisión de estos SE según la ecorregión (Fishlin 2010), en función de su exposición o variaciones climáticas; sensibilidad-grado de afectación (perjudicial o beneficioso) y capacidad adaptativa-habilidad para enfrentar este cambio (IPCC 2001). Los cambios en la precipitación y temperatura, así como los cambios de la frecuencia de eventos naturales afectan el crecimiento de los árboles (Louman et al. 2009). La deforestación, fragmentación del paisaje y crecimiento poblacional son algunas amenazas de carácter socioeconómico que ocurren de forma paralela y aceleran los efectos del CC (Lucier et al. 2009). El conocimiento y análisis de estos posibles impactos-positivos o negativos-contribuyen a la elaboración de una estrategia de adaptación efectiva y mejoran la gestión del manejo de bosques (Louman et al. 2009).

El conocimiento de la percepción de los pobladores frente a los impactos del CC es importante por la relación vivencial entre el capital natural-activos que existen en una localidad, como clima, vegetación, belleza-, y el capital cultural-cosmovisión y forma de actuar de la gente en respuesta al capital natural (Emery y Flora 2006).

Es conocido que los bosques aportan múltiples beneficios al hombre, sin embargo ¿cuáles son los más importantes para las zonas de estudio? ¿Estos servicios serán afectados por el CC? Estas son algunas interrogantes que la investigación se propone contestar, enfocando la importancia de conocer si dichos servicios de las familias se verán afectados por el cambio climático. Se considera el análisis de SE de provisión, principalmente la de madera, haciendo una referencia también a otros servicios.

4.2 Métodos

4.2.1 Área de estudio y selección de especies arbóreas

Las unidades de referencia del estudio fueron las ecorregiones naturales: Bosques secos del lado Pacífico de América Central (llamada de aquí en adelante ecorregion N) y Bosques húmedos del lado Pacífico del Istmo de Panamá (llamada de aquí en adelante ecorregion S), espacios geográficos definidos por grupos de hábitat con características similares (Dinerstein et al. 1995). El análisis se realizó en Costa Rica, con especial interés sobre las zonas de Guanacaste y Osa, por ser los lugares con mayor vulnerabilidad al cambio climático en la vertiente del pacífico (IMN 2008). Las zonas de estudio presentan diferentes características biofísicas, por lo que se hará una descripción general a nivel provincial, considerando como referencia estudios en las áreas de conservación Osa y Tempisque, próximos a las zonas de interés. La zona de Osa presenta un paisaje variegado (McIntyre y Hobbs 1999), posee bosques naturales y plantaciones, siendo los primeros de muy poco valor económico (madera en pie). Se complementa la actividad forestal con la agricultura y ganadería (Vega 2002), pero el avance de las gestiones de conservación ha disminuido la actividad agropecuaria, notándose bosques mayormente secundarios en diferentes estadios de recuperación (Morales 2010). Por su lado, la zona de Guanacaste presenta un paisaje relictual (McIntyre y Hobbs 1999), por tradición se ejerce la ganadería y agricultura extensiva, actividades que en extremo han degradado los suelos, dificultando el establecimiento de la vegetación, sobretodo la arbórea. La ocurrencia de incendios forestales agudiza esta problemática, pero también el pastoreo de animales durante el periodo seco que vuelve el suelo más frágil y la constante extracción de especies para uso de la finca (construcción de cercas y viviendas) ocasionan el deterioro del bosque y en general de la región (Quezada y Quiros 2003). MINAET 2011 señala que el 70% de la madera de aserrío proviene de plantaciones, seguido de un 15% de potreros que incluye al SAF con especies nativas como laurel (34%), cedro (32%) y guanacaste (7%), asimismo un 7% proviene de potreros o bosques y sólo un 1% de bosques naturales cuyas especies nativas destacan la caobilla (24%) y gavilán (18%), entre otras. Un 9% provendría de una asociación plantaciones-SAF. La troza caída es el origen de la madera que más se procesa en los aserraderos de la Península de Osa, con especies como: manglillo (55%), chiricano (27%), nazareno (9%) y cristóbal (9%).

La lista de las especies arbóreas fue elegida bajo dos criterios: pertenencia a las ecorregiones naturales y valor maderable. Se utilizó información secundaria del MINAET 2012 y referencia de comunicaciones personales.

4.2.2 Entrevistas

Las entrevistas se realizaron a propietarios de fincas con árboles en condición natural; siendo en algunos casos el entrevistado el familiar más cercano que conocía el lugar y servía de apoyo en la producción de la finca. La selección de los entrevistados fue totalmente al azar. Se identificaron a las personas y/o instituciones focales conocedoras de la información requerida por el estudio, para ello se hizo uso del método de bola de nieve. Las entrevistas se realizaron en los meses de junio y julio del año 2012, en nueve localidades de Osa y Guanacaste, hacia el pacífico sur y norte de Costa Rica, respectivamente.

En Osa, las entrevistas se desarrollaron en Puerto Jiménez, Sándalo, Rincón, Matapalo y La Palma, mientras que en Guanacaste se realizaron en Quebrada Honda, Santa Cruz, Sardinal, Liberia y Cañas Dulces. La recolección de datos fue realizada mediante entrevistas semiestructuradas a finqueros de las zonas seleccionadas. Este procedimiento, en lugar de encuestas, fue elegido con el fin de maximizar la búsqueda de información y enriquecer de esta manera la investigación. Se realizaron 30 entrevistas en cada ecorregión (adultos de 18 a 83 años) en los lugares de vivienda, durante la mañana y tarde. Cada entrevista duró de 20 a 45 minutos e incluyó preguntas abiertas en todas sus secciones. La entrevista consistió de cuatro segmentos: información general (edad, nivel de educación), medios de vida (actividades productivas, área y tipo de vegetación de la finca), importancia de los árboles (especies, servicios ecosistémicos y utilidad) y percepción de cambio climático (para conocer sobre los cambios del clima, los fenómenos naturales y el impacto el cambio climático sobre los árboles). Los conceptos clave de la entrevista, como cambio climático y otros como fenómeno el Niño fueron explicados por los mismos entrevistados previamente, siendo respondidas sus dudas durante la misma. El formato de la entrevista se ubica en el Anexo 7.

4.2.3 Análisis de datos

Con los datos obtenidos de las entrevistas se desarrollaron diversos análisis descriptivos, utilizando tablas de contingencia en los casos de variables cualitativas codificadas. Todos los análisis se realizaron en el programa Infostat 2010 (Di Rienso et al 2010).

4.3 Resultados

4.3.1 ¿Cuál es la importancia de los árboles para los entrevistados?

La sombra es el SE con el mayor porcentaje de todos los servicios (más del 85%), siendo el más utilizado en Guanacaste, siguiéndole la leña con mayor utilidad en la zona de Osa. El tercer y cuarto lugar lo ocupan el agua y la regulación térmica, respectivamente en la zona de Guanacaste.

Otros servicios protección del suelo y alimentos con el 66,67% en Guanacaste, mientras que el SE fauna y biodiversidad ocupan el mismo valor porcentual pero en la zona de Osa. En seguida se aprecian otros servicios con menor diferencia porcentual: conservación y producción de oxígeno en Osa; recreación y madera en Guanacaste y un valor porcentual muy poco diferenciado para ambas zonas para el SE fijación de carbono.

Siete de los trece servicios ecosistémicos evaluados en este estudio son más importantes proporcionalmente en Guanacaste, siendo éstos: regulación térmica, recreación, protección del suelo, sombra, agua, madera y alimentos (Cuadro 10).

Cuadro 10 Servicios ecosistémicos de los árboles identificados como más importantes por lo entrevistados por zona (%)

Zona	Prod. O ₂	Fij. CO ₂	Reg. Térm.	Recr.	Fauna	Conser.	Biod.	Prot.	Sombra	Agua	Madera	Leña	Alim.
Osa	55,6	50,0	30,8	44,4	66,7	60,0	66,7	33,3	11,8	28,6	45,0	75,0	33,3
Guanacaste	44,4	50,0	69,2	55,4	33,3	40,0	33,3	66,7	88,2	71,4	55,0	25,0	66,7

Donde: Prod. O₂= producción de oxígeno; Fij. CO₂= fijación de dióxido de carbono; Reg. Térm.= regulación térmica; Recr.= recreación; Conser.= conservación; Biod.= biodiversidad; Prot.= protección; Alim.= alimento.

4.3.2 ¿Cuáles son los SE de los árboles más utilizados por los finqueros?

La lista que se presenta cumple con los criterios de la sección métodos 3.2.1; sin embargo otras especies arbóreas fueron también mencionadas por los entrevistados. En la zona de Osa, el destino principal de los árboles es la conservación (80%) y en menor grado la construcción (20%). En la zona de Guanacaste, se observa la existencia de varias especies de uso múltiple, siendo la principal la “sombra”, seguida de la “construcción” y “conservación”. De las especies comunes en ambas zonas, la “conservación” es mayoritaria en Osa y la “construcción” en Guanacaste (Cuadro 11, abreviaciones al final del cuadro).

Cuadro 11 Servicios ecosistémicos utilizados por árbol y por zona entrevistada (%)

Nombre científico	Nombre común	Usos* y porcentaje			
		Guanacaste	%	Osa	%
<i>Aspidosperma spruceanum</i>	Manglillo	--	--	C CO	18,8 81,3
<i>Carapa guianensis</i>	Caobilla	--	--	C CO	18,8 81,3
<i>Myroxylon balsamum</i>	Sándalo	C, S	25	C CO	18,8 81,3
<i>Platymiscium pinnatum</i>	Cristobal	--	--	C F CO	17,8 5,9 76,5
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	C C, S P, F S S, A CO	38,5 7,7 7,7 15,4 7,7 23,1	C F CO	21,1 10,5 68,4
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	Pilón	--	--	C CO	7,1 92,9
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Guanacaste	C C, A C, E, S C, S C, S, A S CO	21,4 7,1 7,1 7,1 7,1 28,6 21,4	--	--
<i>Samanea saman</i>	Cenízaro	C C, E, S C, S S CO	20 10 10 30 30	--	--
<i>Dalbergia retusa</i>	Cocobolo	C P, F CO	20 20 60	--	--
<i>Tabebuia rosea</i>	Roble sabana	S S, A CO	20 20 60	--	--
<i>Schizolobium parahyba</i>	Gallinazo	A C, A CO	20 20 60	--	--
<i>Cordia alliodora</i>	Laurel	C S CO	28,6 28,6 42,9	--	--

* F: finca; P, F: postes y finca; A: artesanía; C: construcción; CO: conservación; S: sombra; E: ebanistería

4.3.3 Según la percepción de los finqueros entrevistados ¿Cómo afecta el CC a los árboles?

El mayor efecto del cambio climático sobre los árboles identificado en ambas zonas es la “menor producción de frutos y flores” con el 60% y 53% de las personas entrevistadas en Osa y Guanacaste, respectivamente. El segundo efecto es la “pérdida de hojas”, mientras que en el tercero es el “crecimiento lento” en porcentajes similares en ambos lugares.

Siete de los ocho servicios ecosistémicos analizados en esta sección tiene mayor valor porcentual en la zona de Osa, y solo “pérdida de hojas” en Guanacaste (Cuadro 12).

Cuadro 12 Posibles afectaciones a los árboles por efecto del cambio climático por zonas entrevistadas (%)

Zona	No afecta	Pérdida de hojas	Crecimiento lento	Diámetro delgado	Menos individuos	Más enfermedades	Más plagas	Menos frutos y flores
Osa	20	30	37	20	20	20	13	60
Guanacaste	13	47	20	17	13	10	10	53

La mayor parte de las personas entrevistadas en ambas zonas declaran percibir los efectos del cambio climático desde hace 5-10 años (Cuadro 13).

Cuadro 13 Percepción de inicio del cambio climático en años por zonas entrevistadas (%)

CC_años	Zona	
	Guanacaste	Osa
5-10 años	50	40
Más de 10 años	6,7	20
15-20 años	3,3	33,3
Más de 20 años	13,3	10

El CC es considerado como malo en su mayoría de los entrevistados. Se notaron respuestas más ambiguas a la pregunta, notándose que casi el 30% de los entrevistados en Guanacaste piensa que es bueno y malo. Esta respuesta pero en un porcentaje mucho menor se encontró en Osa (Cuadro 14).

Cuadro 14 Opinión de los entrevistados sobre el cambio climático

Cambio climático	Zona	
	Guanacaste	Osa
CC_Bueno	0	10,7
CC_Malo	70	82,1
Bueno/Malo	26,7	3,6
No responde	3,3	3,5

La opinión de los entrevistados con referencia a la pregunta anterior, revela que el cambio climático tiene tres tipos de consecuencias: mucho calor, mucha sequía y desorden estacional, siendo ésta última la de mayor frecuencia de respuesta en Guanacaste, siguiéndole de muy cerca “mucho calor” en Osa. Asimismo, indica que “mucho sequía” tiene cercanos porcentajes de respuesta en ambas zonas (Cuadro 15).

Cuadro 15 Consecuencias del cambio climático

Zona (%)	Consecuencias		
	Mucho calor	Mucha sequía	Desorden estacional
Guanacaste	30,43	52,94	70
Osa	69,57	47,06	30

Los entrevistados reconocen efectos positivos y negativos del cambio climático. De los 16 nombrados, 10 son considerados perjudiciales (Cuadro 16).

Cuadro 16 Efectos del cambio climático

+/-	Efectos	Zona (%)	
		Guanacaste	Osa
-	Plagas	0	3,3
	Enfermedades	6,7	13,3
	Menos belleza	3,3	3,3
	Menos producción agrícola	33,3	20
	Cambio de cultivos	10	13,3
	Daño infraestructura	0	6,7
	Más oleaje	0	3,33
	Destrucción	6,7	6,7
	Deforestación	0	3,3
	Afecta animales	10	0
+	Más lluvia	3,3	3,3
	Producción de pasto	0	3,3
	Mejora animales	0	3,3
	Más belleza	0	3,3
	Regeneración	3,3	0
	Menos oleaje	0	3,3

De los nocivos, cuatro efectos (“enfermedades”, “menos belleza”, “menos producción agrícola” y “destrucción”) fueron mencionados en ambas zonas, mientras que “plagas”, “daño infraestructura y “más oleaje” en Osa y sólo “afecta animales” en Guanacaste. Se muestra que el principal efecto en ambas zonas es la “menor producción agrícola”, en ambas zonas pero con más porcentaje en Guanacaste, siguiéndoles el “cambio de cultivos”. Del grupo de efectos buenos, “más lluvia” fue mencionada en ambas zonas, pero con porcentajes bastante bajos.

4.3.4 Afectación del CC sobre los árboles y sus SE

Se contrastó la información de los servicios ecosistémicos (SE) por especie y por zona (Cuadro 11) con los resultados de la estimación del hábitat disponible futuro del capítulo 3, sección 3.3.4 (ver metodología y resultados del Artículo 1). El mayor porcentaje de pérdida de hábitat total está en la ecorregión N, su especie más afectada es gallinazo (49%), roble sabana es la que menos pierde (7%); la construcción, artesanía y conservación, principales usos de estos árboles están amenazadas. La especie más afectada en la ecorregión S es cristobal (69%), el hábitat de manglillo no es afectada; el uso de estos en la construcción y conservación serán también disminuidos (Cuadro 17).

Cuadro 17 Uso de las especies maderables por ecorregión y porcentaje de pérdida del hábitat disponible a futuro

Nombre científico	Nombre común	Usos por ecorregión		Hábitat disponible futuro y			% Pérdida
		N	S	Perdido	Mantenido	Ganado	
<i>Aspidosperma spruceanum</i>	Manglillo	--	C, CO	9	9149	5651	0
<i>Carapa guianensis</i>	Caobilla	--	C, CO	887	10914	103	8
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	C, S, P, A, CO	C, F, CO	5226	17697	36	23
<i>Cordia alliodora</i>	Laurel	C, S, O	--	2822	17850	86	14
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	Pilón	--	C, CO	6289	10784	3	37
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Guanacaste	C, A, E, S, CO	--	3494	12861	28	21
<i>Myroxylon balsamum</i>	Sándalo	C, S	C, CO	6022	33125	0	15
<i>Platymiscium pinnatum</i>	Cristóbal		C, F, CO	11773	5367	0	69
<i>Samanea saman</i>	Cenízaro	C, E, S, CO	--	3555	10969	118	24
<i>Schizolobium parahyba</i>	Gallinazo	C, A, CO	--	5679	5982	475	49
<i>Tabebuia rosea</i>	Roble sabana	S, A, CO	--	930	11488	137	7

Donde: N = Ecorregión Bosques secos del lado Pacífico de América Central; S = Ecorregión Bosques húmedos del lado Pacífico del Istmo de Panamá-Costa Rica; Perdido= área actual que se pierde en el futuro; * F: finca; F: finca; A: artesanía; C: construcción; Co: conservación; S: sombra; E: ebanistería; no se utiliza (--)

4.4 Discusión

4.4.1 SE identificados

Respecto a la importancia de los árboles para los entrevistados, los resultados indican que ninguna de las zonas tiene servicios ecosistémicos particulares, sino más bien compartidos, aunque se evidencia en varios casos diferencias porcentuales más marcadas.

Por ejemplo, analizando el SE con mayor valor porcentual, se tiene que el principal uso en Guanacaste es la sombra. Esto es predecible por los fines productivos que tiene el lugar para la ganadería, en sus diversos sistemas: potrero, SAF, plantación-potrero, como bien se indica en el contenido de SINAC 2012, mientras que no se espera una mayor preferencia en Osa, porque esa actividad económica, si bien está contenida en los medios de vida de la población, no es la principal, ya que existen otras como el turismo, muy impulsado en la zona pacífica sureña. Otro de los servicios, como la leña, mayormente utilizada en Osa, tendría explicación con la conocida existencia de recursos maderables en la zona sur, a diferencia de Guanacaste que más bien se encuentra en un proceso de recuperación de vegetación, incluyendo la boscosa.

De forma similar, el mayor porcentaje sobre del SE agua en Guanacaste, tendría relación con los beneficios que los árboles brindan en la captación de fuente hídrica de las cuencas, ya que como es conocido que esa región sufrió una gran escasez de agua durante los años 70's debido a las dificultades climáticas de la época (bajas precipitaciones y altas temperaturas) sumadas a la excesiva deforestación (Isaza et al. 2007). Además, así como la sombra es ampliamente requerida en Guanacaste, la regulación térmica es otro de los SE con mayor uso en la zona, ocupando casi el 70% de las opiniones respecto a Osa. Esta necesidad de aire fresco es lógica por las características climáticas que posee el lugar, ya que la estación de verano es una de las más fuertes de todo el país, más aún en los últimos años, en que según declaraciones de los mismos pobladores, el calor ha aumentado por la deforestación masiva. Existen otros servicios que si bien no tienen el mayor porcentaje de respuesta, en la población entrevistada representan suma importancia por tratarse de elementos indispensables para la vida como lo son el oxígeno y la fijación de carbono y otros servicios que ofrece el bosque en beneficio de las personas para su subsistencia y mejora de la calidad de vida como la madera y la recreación, respectivamente. Es decir, que de acuerdo a Boyd y Banzhaf 2007, los dos primeros (oxígeno y carbono), por tratarse de un servicio de tipo ecológico tendrían per se un valor intangible, mientras que los dos últimos (madera y recreación), serían un tipo de servicio final o más tangible como lo explica el MEA (2005), al cual las personas hacen uso y tendría más bien un valor económico.

Existe un uso principal de la madera (independientemente de la zona) destinado a la construcción, y cada árbol posee notoriamente múltiples usos, como en el caso del cedro que se localiza en ambas zonas. En Osa son dos principales usos: construcción y conservación, siendo éste último en mayor proporción, lo cual parece tener relación con el estado activo de conservación del lugar y que se manifiesta en los múltiples contratos por PSA con fines de protección y sobre todo por el origen de la madera de los árboles (manglillo, sándalo, caobilla) a través de troza caída. Por otro lado, Guanacaste, con un paisaje más bien fragmentado y dedicado a la silvopastura, requiere además de los beneficios tangibles, la sombra de los árboles para los animales. Dado los distintos tipos de paisaje en ambas zonas, el impacto del CC en interacción a otras amenazas no climáticas como la pérdida de hábitat generada por la actividad humana sería más visible y preocupante en Guanacaste, el establecimiento de estrategias de conservación eficaces en conectividad de paisaje en equilibrio con las necesidades económicas de las personas dependientes del bosque serán más complicadas (Lovejoy 2005), más aún cuando la utilidad de los árboles es diferenciada por el tipo de actividad, grado de sensibilidad hacia el tema de CC y potencial arbóreo en la finca.

4.4.2 Percepción del CC

De acuerdo con la respuestas a la pregunta ¿desde cuándo percibe usted el cambio climático?, el periodo mayor contestado “5-10 años” coincide con el incremento notable de las variaciones de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, sobre todo por efecto de actividades antropogénicas a partir del año 2004, reportado por el IPCC (2008). En relación a la siguiente pregunta ¿cree usted que el cambio climático es bueno o malo?, se evidencia que claramente el mayor porcentaje de personas en ambas zonas cree que es un problema; sin embargo, cabe destacar a un cierto grupo (casi 11%) de los entrevistados en Osa que define a los efectos del CC como buenos. Esta posible respuesta positiva sobre el CC, tendría que ver con los cambios favorables de clima sobre el lugar, respecto al incremento de precipitación en algunas zonas de la península de Osa.

Respecto a las consecuencias del CC que los entrevistados mencionaron, se aprecia que cada una de ellas les afecta de manera no proporcional a las zonas de investigación; una de las explicaciones de este hecho tendría que ver con el grado de vulnerabilidad, especialmente el grado de exposición de las zonas entrevistadas frente a las variaciones climáticas (IPCC 2007). Es así, que “mucho calor” sería una de las consecuencias mayores en Osa, mientras que en Guanacaste lo sería el “desorden estacional” y siendo más bien la “mucho sequia”, una consecuencia bastante pareja en ambas zonas. Estas respuestas tendrían que ver con la descripción de los escenarios climáticos que el IPCC 2007 indica a varios horizontes de tiempo (2020, 2050, 2080) respecto al aumento de T° predominante en la zona norte (bosque seco) y el aumento de pp en la zona sur (bosque húmedo). Aunque si bien, es certero que en ambas zonas habrá un aumento de la T° (Biasutti et al. 2012), la sensación térmica es más identificada en Osa; sin embargo el desorden estacional en Guanacaste afectaría la diferenciación del inicio y final de las estaciones seca y lluviosa. De estas tres grandes secuelas, de acuerdo con la información de la entrevista, se desprenden una serie de efectos negativos y positivos, los cuales a su vez recaen sobre el sistema natural (flora, fauna, agua) y el sistema humano (salud, infraestructura, asentamientos), como bien lo explican Moreno y Urbina 2008 en su análisis sobre los impactos del CC en México. En Guanacaste en cambio, reconocen que la mayor afectación sería la pérdida de hojas, lo cual estaría dentro de la explicación que Rao et al 2007 describen. Al parecer, los pobladores de Osa tendrían más elementos de análisis sobre los efectos del cambio climático en los árboles, ya que reconocieron y comprenden la cadena de consecuencias expuestas como opciones a la pregunta de la entrevista. Muchos de ellos, al final de la entrevista, analizaban que el primer impacto negativo se daría sobre los frutos y flores y esto desencadenaría un desajuste en el crecimiento y sanidad de los árboles. Esta situación ya ha sido analizada por científicos como Clark y colegas 2011 y Seppala et al. 2010, que describen los impactos de las variaciones de clima sobre la fenología y desarrollo del árbol.

El efecto más hostil, de acuerdo con los entrevistados en ambas zonas, es la “menor producción agrícola”, suposición que coincide con la descripción de Ordaz et al. 2010, acerca de los efectos adversos del CC al sector agropecuario costarricense. En ambas zonas, la respuesta de los entrevistados se dirige mayormente a la afectación sobre los árboles frutales, ubicados más próximos a sus viviendas y de los cuales hacen mayor uso (alimentación); sin embargo, dado que poseen terrenos en estado de conservación, reconocen que el cambio en los árboles de montaña también es notorio. Los pobladores de Osa identifican en mayor porcentaje un tipo de daño sintomático generado hacia los árboles relacionada a la aparición de enfermedades, menor cantidad de individuos y menor crecimiento en los árboles, así como diámetros delgados, más plagas y menor producción de flores y frutos.

Este planteamiento es justificado por Rao et al 2007, donde señalan que la mayor afectación del cambio climático será sobre la agricultura por la afectación al agua del suelo y ciclos de carbono y nitrógeno, así como la incidencia de enfermedades, plagas y hierba mala. Todos estos efectos se deberían según los autores, al estrés, incremento de evapotranspiración, estaciones cortas, aumento de la fotosíntesis y mayor concentración de CO² en la atmósfera. Otro de los efectos nombrados, “cambio de cultivos”, tendría relación con el anterior, ya que al disminuir la producción se espera que se desarrolle una reconfiguración de cultivos y por ende un cambio en la intensidad de uso del suelo (Ordaz et al. 2010; IPCC 1997). Un tercer efecto negativo, “enfermedades”, está asociado con la creación de condiciones favorables para el desencadenamiento de diversos daños a la salud humana transmitidos por vectores, así como enfermedades a las plantas y animales (FAO sf; IPCC 1997).

4.4.3 Afectación del CC a los árboles y sus SE

En el escenario optimista al año 2020, las especies arbóreas analizadas serán afectadas por el cambio climático, su hábitat disponible se vería reducido en promedio 25%. Analizándolo de manera individual, especies de distribución amplia (observada en varias áreas de conservación) como Cristóbal es una de las más vulnerables al cambio climático, notándose esto en la reducción del 70% de su hábitat actual y la no ganancia de hábitat de la misma a futuro. Si bien a nivel internacional, la especie no está clasificada en la lista de especies amenazadas, a nivel nacional, debido a la explotación por su madera Costa Rica vedó su aprovechamiento y la considera como una especie en peligro de extinción (Jiménez 2011) ó en estado crítico (Estrada et al. 2005), por lo que existen varias razones de importancia para su conservación. Este antecedente es similar en Sándalo, cuyo aprovechamiento también está vedado y está incluida con la misma clasificación que Cristóbal en la lista roja en Costa Rica, aunque los resultados de la investigación no reflejan una pérdida severa a futuro (15%), su no ganancia de hábitat hacia nuevas áreas debe considerarse como un indicador de amenaza a su sobrevivencia. Según los resultados para ambas especies, más allá del aprovechamiento futuro (que actualmente está prohibido) la conservación de ambas especies podría verse más afectada en la ecorregión S. Una simulación contraria es encontrada en Manglillo, que mantiene el hábitat actual en el futuro y además ganan hábitat parcial a otras áreas con bosque, por lo cual, al ser una especie de uso preferentemente maderable, su disponibilidad no se vería afectada por los pobladores de la ecorregión S. Casos de pérdida de hábitat y ganancia de la misma en el futuro, son vistas particularmente en Gallinazo y Cenízaro de la ecorregión N, así como en Pilón y Cedro, en ambas ecorregiones, por lo que el CC no ejercería mayor amenaza sobre estas especies.

De forma general, las predicciones estiman poca pérdida y ganancia de hábitat parcial. Esto sugiere tener cuidado con la interpretación de los resultados, ya que no sólo el ambiente abiótico influye en la distribución de las especies, sino otros factores que no se consideraron en el estudio (factores bióticos, limitantes de dispersión). Además, al considerar a la cobertura de suelo como una variable estática (que no varía durante el periodo de modelación), se está omitiendo la propia presión de la sociedad hacia la materia prima (madera y otros beneficios de los árboles) que se genera año tras año (Solomon 1996); sin embargo, teniendo en cuenta que el punto de evaluación es muy próximo (2020) podría dejarse sin efecto la influencia de otra amenaza, como la deforestación.

4.5 Conclusiones

La muestra entrevistada reconoce que los servicios ecosistémicos de los árboles contribuyen al bienestar humano. Este beneficio incluye servicios tangibles con valor económico directo e indirecto en proporciones distintas para las familias, pero también servicios de tipo ecológico que involucra el soporte de vida y de los cuales no ejerce importancia monetaria.

En términos de utilidad ó beneficio en los medios de vida en ambas zonas de estudio, los servicios ecosistémicos más importantes de los árboles son la regulación (sombra) y la provisión (madera). Esta situación señala que para las familias el beneficio tangible es más importante.

La reducción del hábitat disponible es un indicador de la afectación del cambio climático sobre los árboles.

Los medios de vida de los pobladores en ambas zonas podría ser afectadas por la irregular provisión de servicios ecosistémicos.

La existencia de otras especies arbóreas utilizadas diariamente por los entrevistados que no han sido evaluadas en este estudio, reflejan la necesidad de continuar análisis para dar más aportes sobre la afectación de este fenómeno en los medios de vida.

REFERENCIAS

- Biasutti, M; Sobel, A; Camargo, S; Creyts, T. 2012. Projected changes in the physical climate of the Gulf Coast and Caribbean. *Climate Change* 112: 819-845.
- Boyd, J; Banzhaf, S. 2007. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accountings units. *Ecological Economics* 63 (2007). pp 616-626.
- Costanza, R.; d'Arge, R.; de Groot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; O'Neill R.; Paruelo, J.; Raskin, R.; Sutton, P.; van der Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. Vol 387. 8p.
- Diaz, S.; Tilan, D.; Fargione, J.; Chaopin, F.S.; Dirzo, R.; Kitzberger, T.; Gemmill, B.; Zobl, M.; Laurence, W.F.; Pretty, J.; Naylor, R.; Power, A. Harvell, D. 2005. Biodiversity regulation of ecosystem services. In: Hassan, R.; Scoles, R.; Ash, N. (Eds). *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*. Millenium Ecosystem Assessment. Volume 1. Island Press, Washington, DC. p. 297-329.
- Di Rienzo, J.A; Casanoves, F; Balzarini, B.G; Gonzales, L; Tablada, M; Robledo, C.W. 2010. Infostat versión 2010. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

- Emery, M; Flora, C. 2006. Spiraling-up: Mapping community transformation with Community Capital Framework. The Community Development Society Vol 37. N° 1. 2006.
- Easterling, W.E; Aggarwal, P.K; Batima, P; Brander, K.M; Erda, L; Howden, S.M; Kirilenko, A; Morton, J; Soussana, J-F; Schmidhuber, J; Tubiello, F.N. 2007. Food, fibre and forest products. Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Parry, M.L; Canziani, O.F; Palutikof, J.P; van der Linden, P.J; Hanson, C.E. Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 273-313.
- FAO. 2007. Situación de los bosques del mundo. Parte I. Situación y perspectivas de la conservación y desarrollo de los bosques. Departamento de Montes. 2007. Consultado 31 Ago. 2012. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/W9950S/w9950s04.htm>
- Fischlin, A.; Midgley, G.F.; Price, J.T.; Leemans, R.; Gopal, B.; Turley, C.; Rounsevell, M.D.A.; Dube, O.P.; Tarazona, J.; Velichko, A.A. 2007. Ecosystems, their properties, goods and services. In: Parry, M.L.; Canziani, O.F.; Palutikof, J.P.; van der Linden, P.J.; Hanson, C.E (eds.). Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK. p. 211-272.
- IPCC. 2007. Impactos regionales del cambio climático: evaluación de la vulnerabilidad. Informe especial del Grupo de Trabajo II del IPCC. Editores: Watson, R; Zinyowera. M; Moss, R; Dokken, D. 27 p.
- Isaza, M; Campos J.J; Prins, C; Villalobos, R. 2007. Restauración del paisaje en Hojanca, Costa Rica. Turrialba, CR. CATIE 2007. 51p. (Serie técnica. Informe técnico/CATIE; n° 357).
- Louman, B; Fishlin, A; Gluck, P; Innes, J; Lucier, A; Parrotta, J; Santoso, H; Thompson, I; Wreford, A. 2009. In Adaptation of forest and people to climate change. A global assessment report. Seppala, R; Buck,A; Katila, P. (eds.). 2009. IUFRO World Series. Volumen 22. Helsinki. 224 p.
- Lovejoy, T. Conservation with a changing climate. 2005. In Lovejoy, T y Hannah, L: Climate change and biodiversity. 418 p.
- Lucier, A; Ayres, M; Karnosky, D; Thompson, I. 2009. Forest responses and vulnerabilities to recent climate change. In Adaptation of forest and people to climate change. A global assessment

- report. Seppala, R; Buck,A; Katila, P. (eds.). 2009. IUFRO World Series. Volumen 22. Helsinki. 224 p.
- McYntire, S; Hobbs R. 1999. A framework for conceptualizing human effects on landscapes and its relevance to management and research models. *Conservation Biology*. Volume 13. N° 6. pp 1282-1292.
- (Millenium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystem and human well-being. Synthesis*. Island Press; Washington, D.C. 137 p.
- Moreno, A; Urbina, J. 2008. *Impacto social del cambio climático en México*. PNUD. 1(ed). 73 p.
- Petit, B; Montagnini, F. 2006. Growth in pure and mixed plantations of tree species used in reforesting rural areas of the humid region of Costa Rica, Central America. *Forest Ecology and Management*. 233 (2006) 338-343.
- Quétier, F; Tapella, E; Conti, G; Cáceres, D; Díaz, S. 2007. Servicios ecosistémicos y actores sociales. Aspectos conceptuales y metodológicos para un estudio interdisciplinario. *Gaceta ecológica número especial 84-85 (2007): 17-26*. Instituto Nacional de Ecología. México. 11 p.
- Rao, KPC, Verchot, V, L, Laarman, J. 2007. Adaptation to climate change through sustainable management and development of agroforestry systems. *World Agroforestry Center. SAT e Journal*. Vol 4.Issue 1. 30 p.
- Solomon, A.M. 1996. Wood production under changing climate and land use. *Climate change 1995 -- impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific -- technical analyses*. pp. 487-510

5 IMPLICACIONES PARA EL DESARROLLO E INSUMOS PARA POLÍTICAS PÚBLICAS

En el artículo 1 se analizó los probables efectos del cambio climático en la conservación de un grupo de especies arbóreas seleccionados con criterios de categoría de amenaza global, ecológica y social en dos ecorregiones de Costa Rica. El artículo 2, en relación al primero, identifica los servicios ecosistémicos de los árboles, principalmente de criterio social (con valor maderable) que podrían ser afectados en dichas ecorregiones.

Los resultados de ambos artículos muestran que los efectos del cambio climático afectan directamente el capital natural y el capital financiero por lo que desde el punto de vista del desarrollo, en el marco del cumplimiento de los objetivos del milenio (ODM) se consideran las siguientes reflexiones e insumos para políticas públicas:

- **Capital natural:** la pérdida de hábitat de todas las especies arbóreas analizadas y la poca colonización de algunas de ellas, sugiere la necesidad de implementar medidas de adaptación en su protección a dos escalas: global y regional.

A escala global recae sobre la autoridad internacional UICN, institución encargada de la clasificación de especies amenazadas a nivel mundial, pues de este análisis habrían especies que deberían ser reclasificadas a una categoría de mayor vulnerabilidad, por tanto se requerirán diversas acciones: mayor inversión financiera para la validación en campo y delimitación geográfica de los posibles cambios, ajustes en los criterios e indicadores de amenaza por categorías, mayores reuniones de consenso del Consejo UICN, entre otras.

A escala regional, aunque el daño se prevé a nivel global, se tendría la intervención de instituciones que gestionan el uso y conservación de los recursos forestales a nivel de país como el MINAET en Costa Rica, siendo unas posibles medidas de adaptación la inclusión de las especies analizadas en la lista roja (lista de especies amenazadas a nivel nacional), ya que actualmente ninguna de ellas está considerada en dicha lista, restauración del ecosistema y/o propuestas de áreas de conservación locales.

- **Capital financiero:** Los efectos del cambio climático perjudican la productividad de los servicios ecosistémicos de los árboles, sobre todo los de provisión (madera, leña) y regulación (sombra), de los cuales los finqueros entrevistados obtienen beneficios directos.

En esta sección se identificó que el efecto del CC no solo recae sobre la producción de madera, sino también en la agrícola, medio de vida de primer orden en las familias entrevistadas. Algunas acciones de adaptación para ambas actividades constituyen la aplicación de técnicas agrícolas, selección y manejo de especies y diversificación de sistemas de producción.

Esta diversificación, que debería estar relacionada a factores de riesgo como la variabilidad climática, el mercado y el desarrollo sostenible, es conducente por una completa y dinámica política que promueva y ayude al agricultor a crear mercados eficientes que faciliten las estrategias de respuesta, teniendo cuenta además la importancia de identificar in situ el grado de los impactos sobre las familias pobres (Easterling et al. 2007).

Es importante mencionar que la capacidad de respuesta ante los efectos del cambio climático está determinada por las condiciones políticas, técnicas, sociales y económicas de la ecorregión, es decir, del nivel y acceso de información, tecnología y disposición financiera (disponibilidad de pago), pero también del grado de conocimiento de las áreas afectadas. Considerando lo anterior, se pueden identificar óptimas y más efectivas acciones de adaptación.

Finalmente, al reconocer que esta problemática es de carácter multidisciplinaria, Easterling et al. 2007 señalan que las soluciones deben tener un enfoque integrado que fortalezca y facilite la toma de decisiones. Para ello, se requerirá del uso de marcos de evaluación de la adaptación pertinentes, sólidos y de fácil manejo por todos los interesados, profesionales, políticos y científicos.

ANEXOS

Anexo 1. Información general de las especies arbóreas seleccionadas

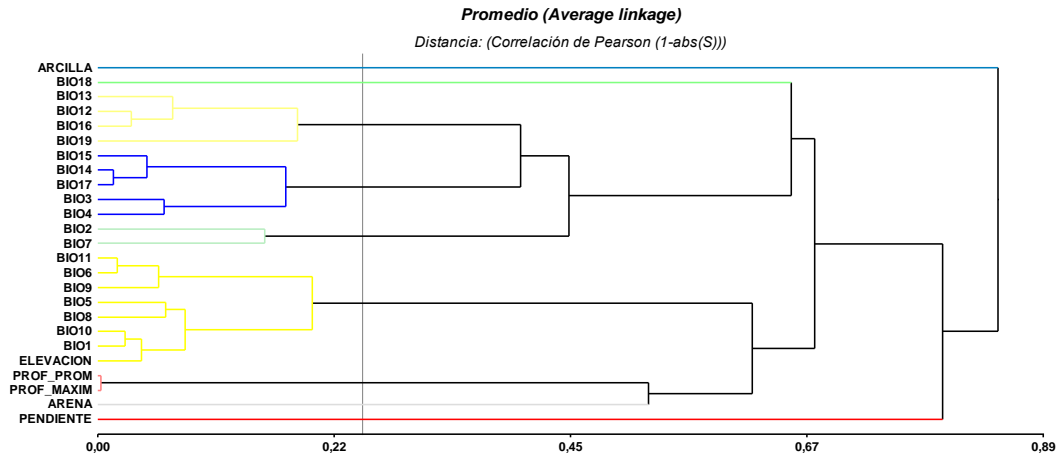
N°	FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	ECO.		VC (criterios UICN)	E	VI	VM	N° DATOS	SINDROME DISPERSIÓN	FISIOLOGIA DE HOJA
				N	S							
1	Opiliaceae	<i>Agonandra macrocarpa</i>	n.n	x		Vulnerable C2a				36	Mamíferos (monos)	D
2	Bignoniaceae	<i>Amphitecna isthmica</i>	n.n		x	Vulnerable A2c				46	Agua	S
3	Caryocaraceae	<i>Caryocar costaricense</i>	Ajo, Ajillo, Ají, Manú, Plátano, Plomillo		x	Vulnerable A1acd				32	Mamíferos	S
4	Lecythidaceae	<i>Couratari guianensis</i>	Amarillón, Burlillón, Cachimbillo, Cachimbo		x	Vulnerable A2bcde				28	Viento	S
5	Fabaceae/Pap.	<i>Dalbergia retusa</i>	Cocobolo, cachimbo, námbar	x	x	Vulnerable A1acd				31	Mamíferos, agua	D
6	Euphorbiaceae	<i>Garcia nutans</i>	n.n	x		En peligro de extinción B1+2c				57		D
7	Zygophyllaceae	<i>Guaiacum sanctum</i>	Guayacán real	x	x	En Peligro de extinción C2a				108	Viento	D
8	Meliaceae	<i>Swietenia humilis</i>	n.n	x		Vulnerable A1cd				82	Viento	D
9	Fabaceae/Pap.	<i>Lonchocarpus phaseolifolius</i>	n.n	x		En Peligro crítico C2b				71	Viento	D
10	Rubiaceae	<i>Tocoyena pittieri</i>	n.n		x	Vulnerable A1c				26	Aves grandes, aves, mamíferos	S
11	Olaceae	<i>Chaunochiton kappleri</i>	Espino amarillo, Manglillo		x		x			25	Viento	S
12	Rubiaceae	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	Colorado, Canchudo, Conejo, Madroño, Sálamo, Sará	x				x		138	Viento	D
13	Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guacimo, capulín, guacimo ardilla, guacimo blanco	x				x		434	Murciélagos, mamíferos	SD
14	Miristicaceae	<i>Otoba novogranatensis</i>	Hoja dorada, Fruta coton, Bogamandi, Bola de oro, Campano, Escobo negro Fruta dorada, Sebo, Yaya, Hoja plateada		x			x		90	Mamíferos	S

15	Flacourtiaceae	<i>Tetrathylacium macrophyllum</i>	n.n		x			x		51	Aves	S
16	Apocynaceae	<i>Aspidosperma spruceanum</i>	Manglillo, Amargo, Cara de tigre		x				x	32	Viento	S
17	Meliaceae	<i>Carapa guianensis</i>	Caobilla, Bateo, Bogamani		x				x	47	Mamíferos	S
18	Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro amargo, Cedro, Cedro bateo, Cedro blanco, Cedro cebolla, Cedro colorado, Cedro del Atlántico, Cedro del Pacífico, Cedro dulce, Cedro maría, Cedro real, Cóbano	x	x	Vulnerable			x	150	Viento	SD
19	Boraginaceae	<i>Cordia alliodora</i>	Laurel, Laurel negro, Molenito, Onión, Yawé	x	x				x	214	Viento	SD
20	Euphorbiaceae	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	Pilón, Zapatero	x	x				x	62	Aves, mamíferos	SD
21	Fabaceae/Mim.	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Guanacaste	x	x				x	127	Mamíferos	SD
22	Fabaceae/Mim.	<i>Myroxylon balsamum</i>	Balsamo		x				x	28	Viento	S
23	Fabaceae/Pap.	<i>Platymiscium pinnatum</i>	Cristobal, Cachimbo, Coyote, Granadillo, Guayacán chiricano		x				x	27	Viento	S
24	Fabaceae/Mim.	<i>Samanea saman</i>	Cenízaro, Caña fístula, Cañafistol	x					x	102	Viento	D
25	Fabaceae/Caes.	<i>Schizolobium parahyba</i>	Gallinazo	x					x	42	Viento	D
26	Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i>	Roble sabana	x	x				x	262	Viento	D

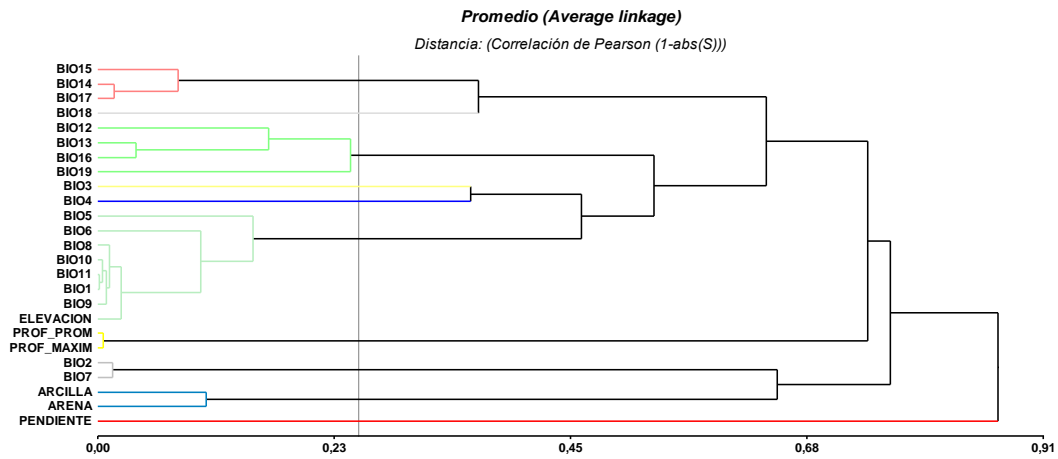
Fuente: SINAC 2012, 2010; Smithsonian Institute 2012; Jiménez et al. 2011

Donde: N=Ecorregión Bosques secos del lado Pacífico de América Central; S= Ecorregión Bosques húmedos del lado Pacífico del Istmo de Panamá-Costa Rica; VC= valor de conservación/c riterios por categoría: En peligro crítico, en peligro, vulnerable (UICN 2001); E= Endémica; VI= Valor de importancia; VM= Valor maderable; D= Decidua; SD= Semidecidua; S= Siempreverde

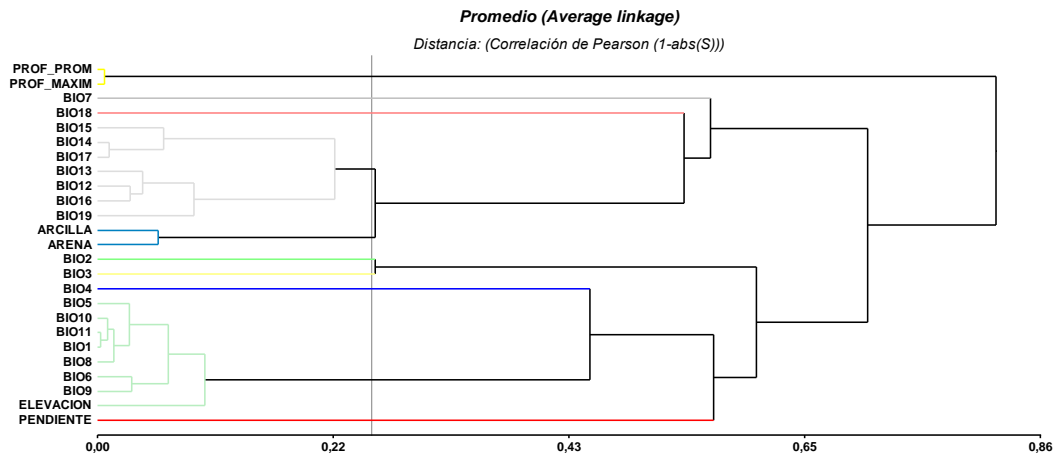
Anexo 2 Análisis de conglomerados para cada especie



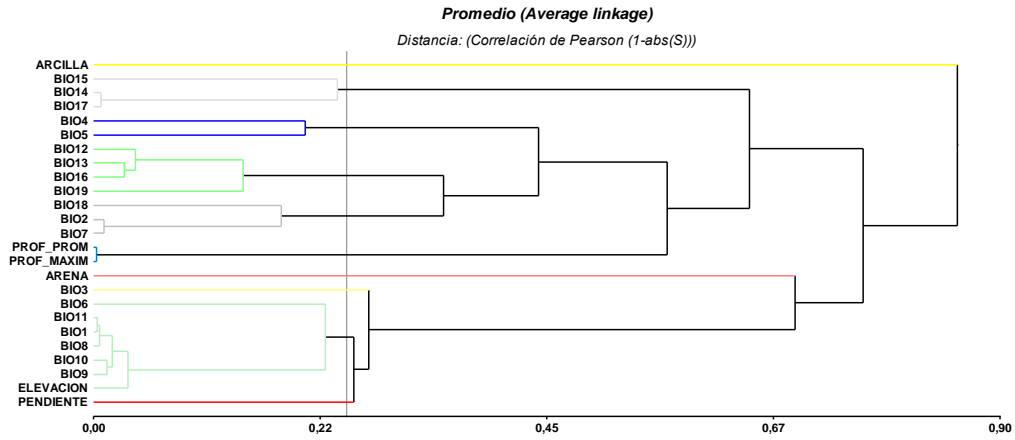
Análisis en *Agonandra macrocarpa*



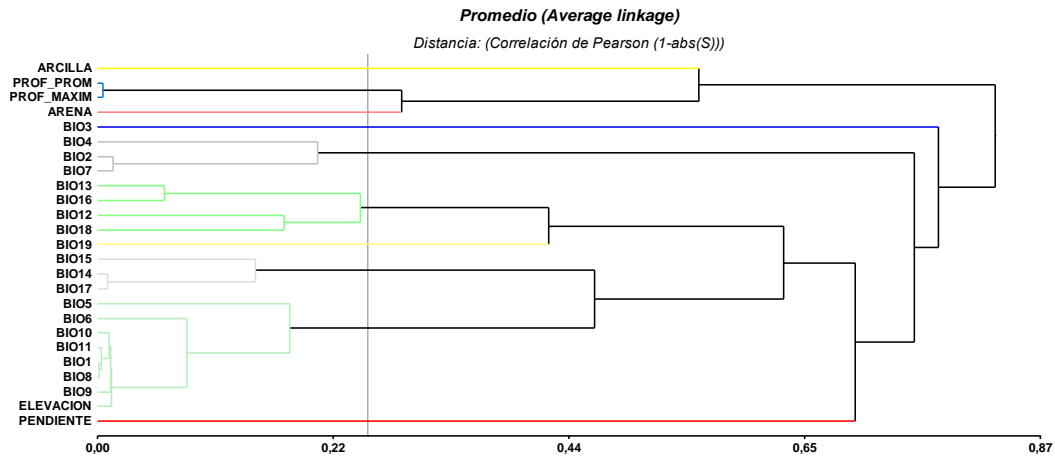
Análisis en *Amphitecna isthmica*



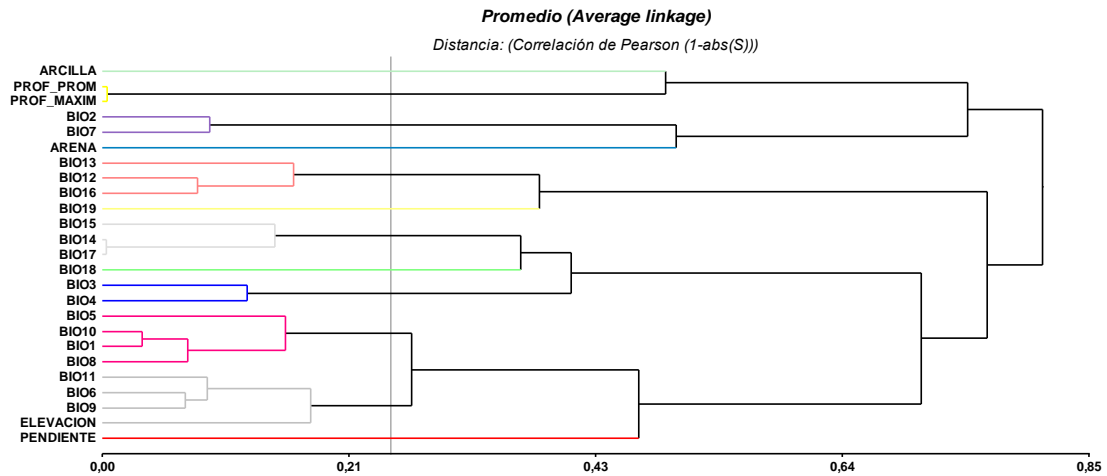
Análisis en *Caryocar costarricense*



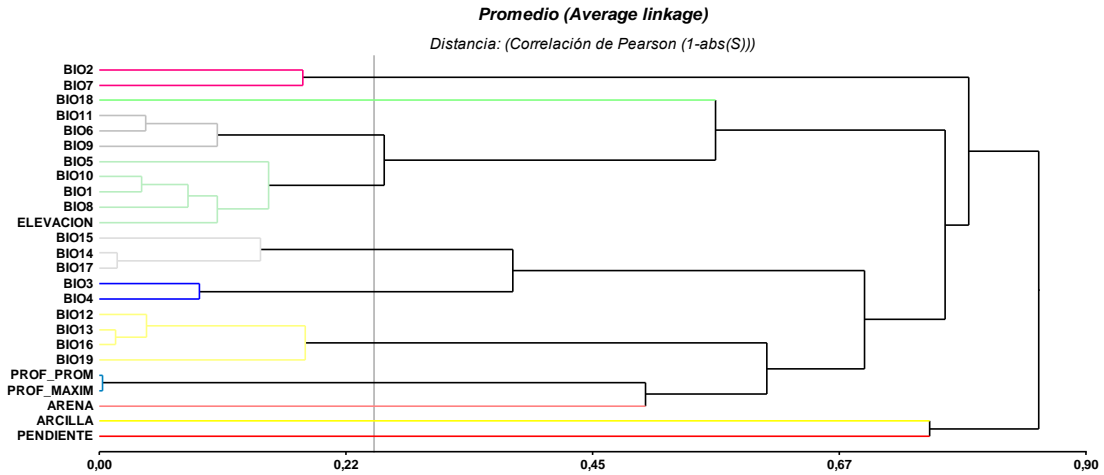
Análisis en *Couratari guianensis*



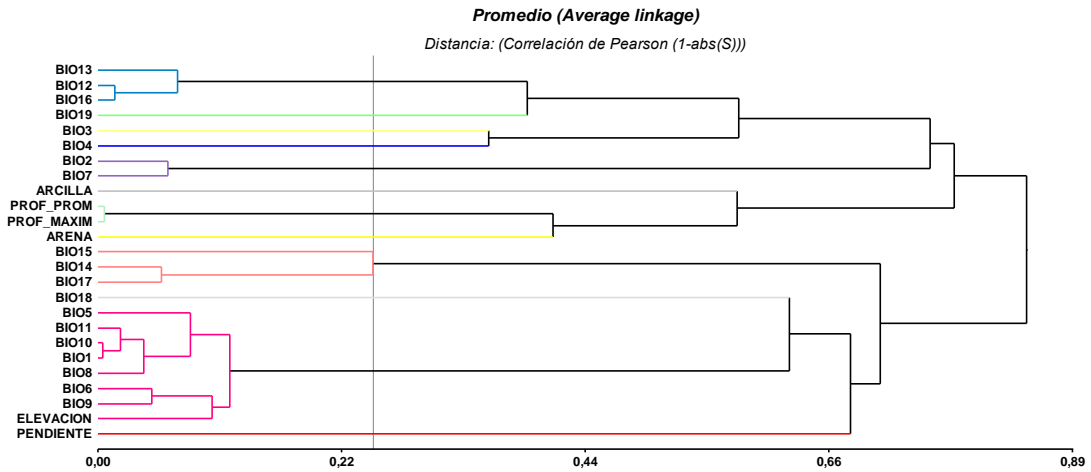
Análisis en *Dalbergia retusa*



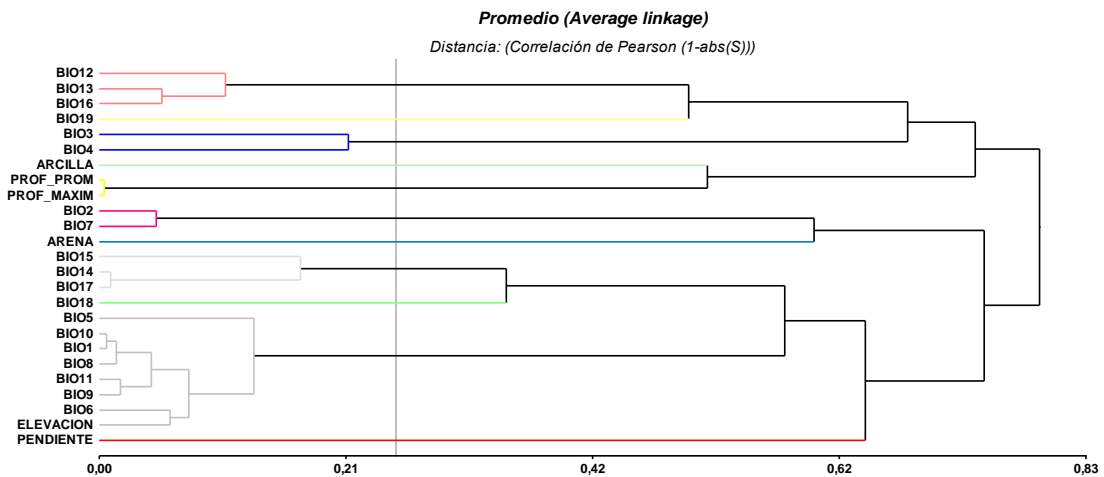
Análisis en *Garcia nutans*



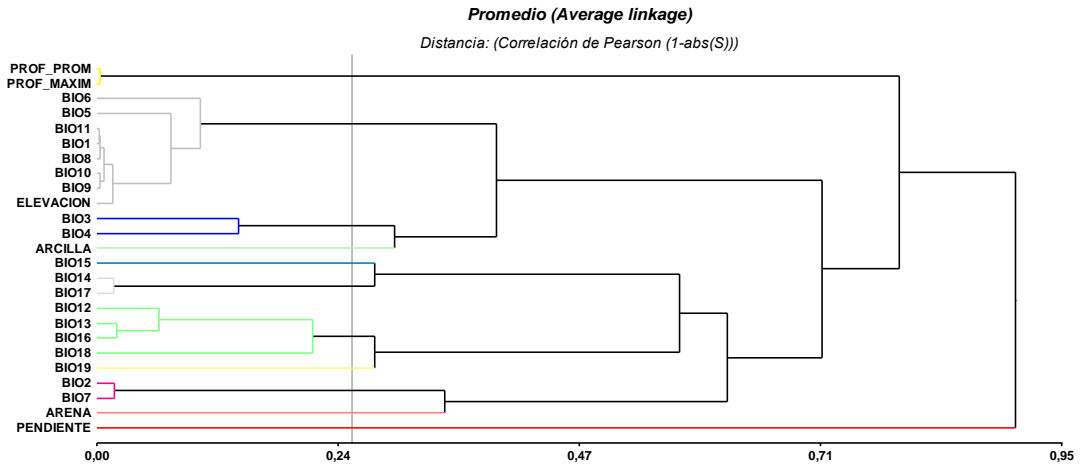
Análisis en *Guaiacum sanctum*



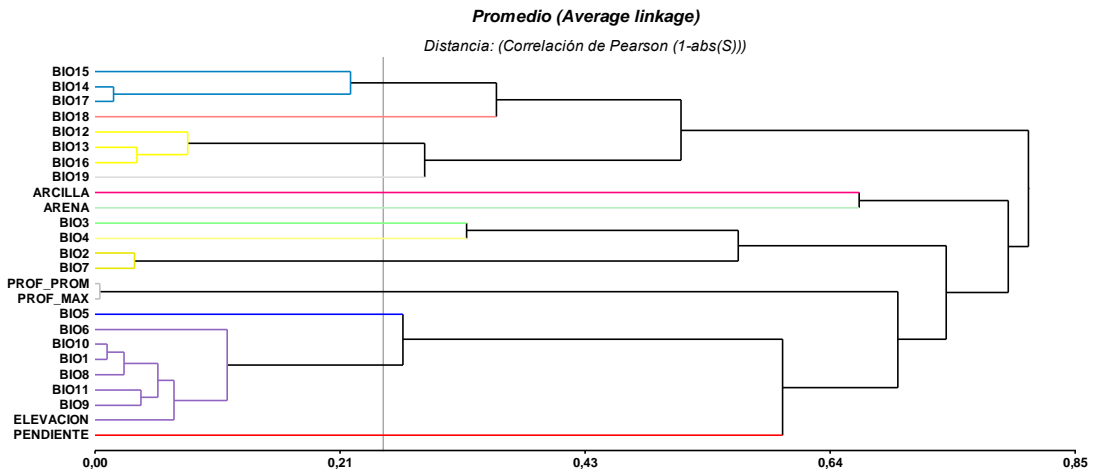
Análisis en *Lonchocarpus phaseolifolius*



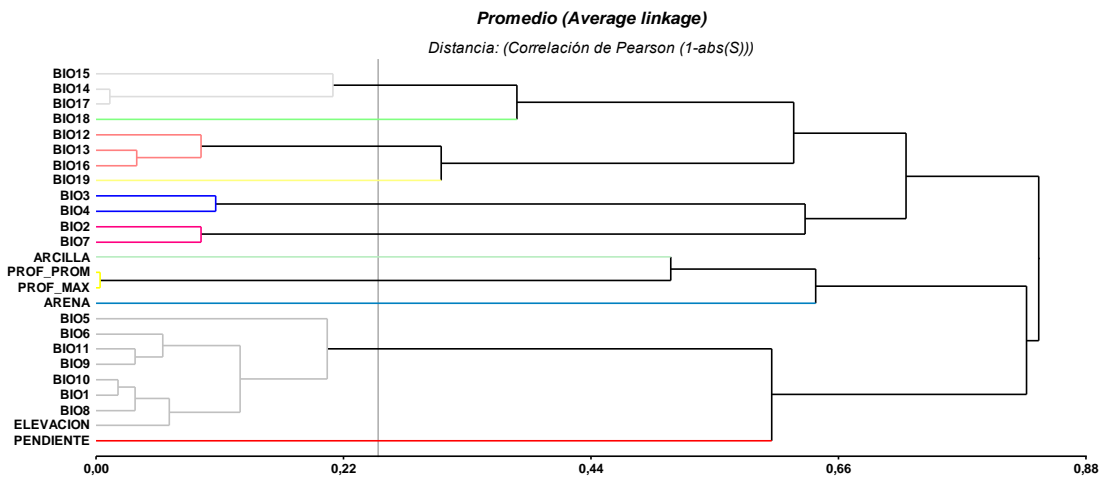
Análisis en *Swietenia humilis*



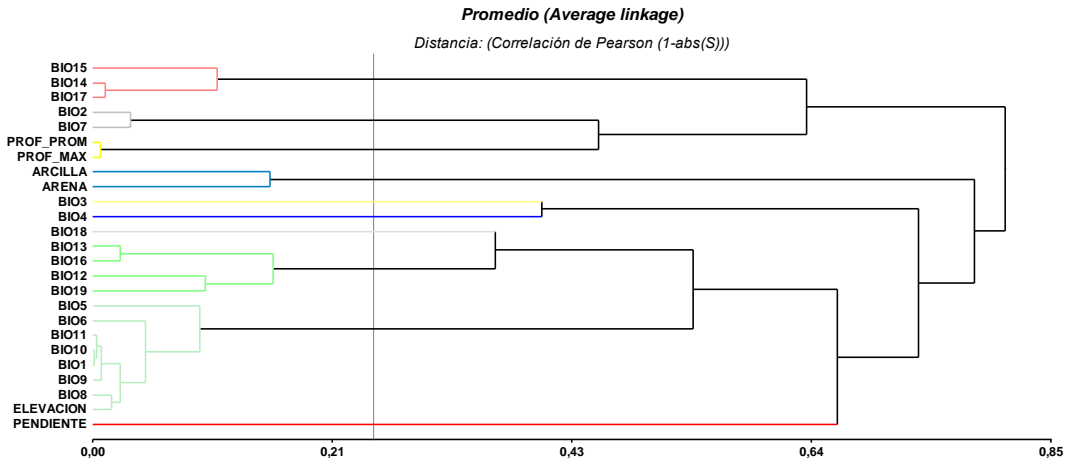
Análisis en *Tocoyena pittieri*



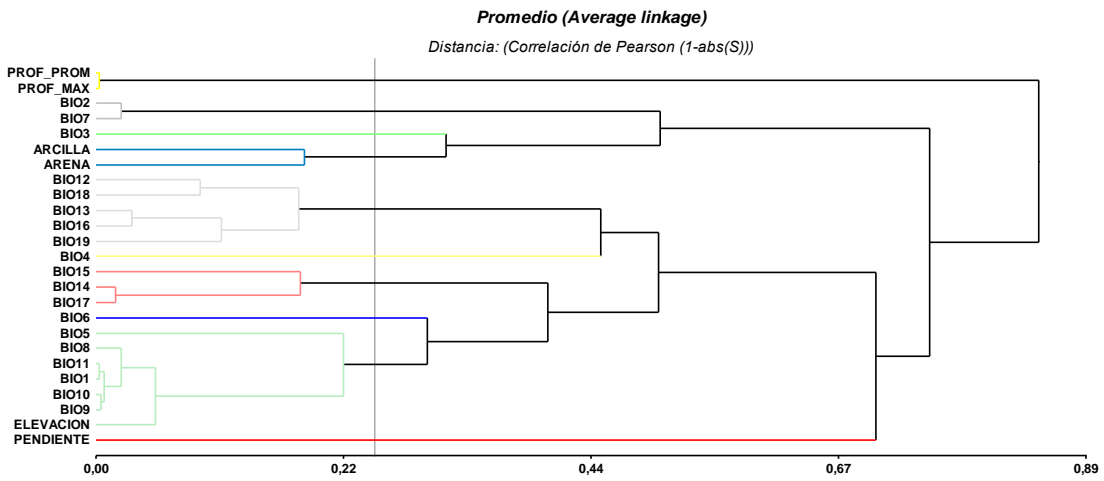
Análisis en *Calycophyllum candidissimum*



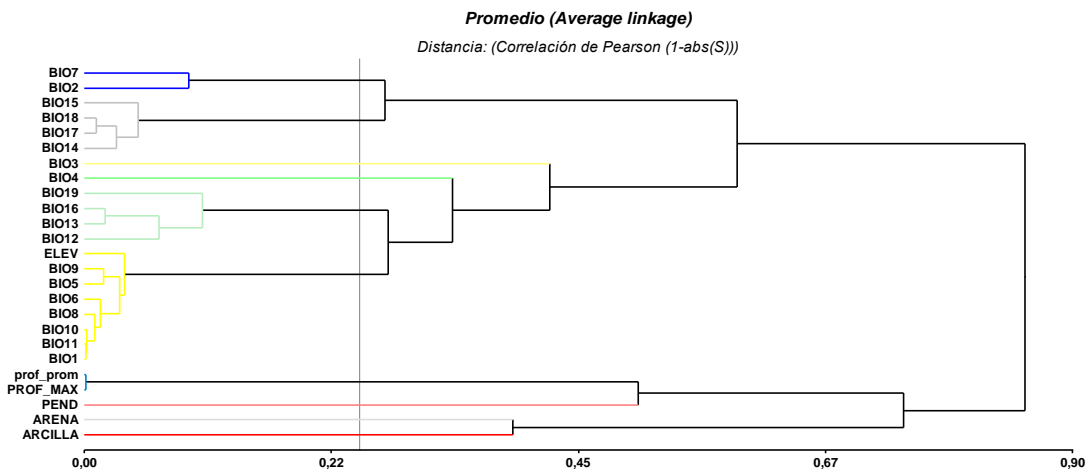
Análisis en *Guazuma ulmifolia*



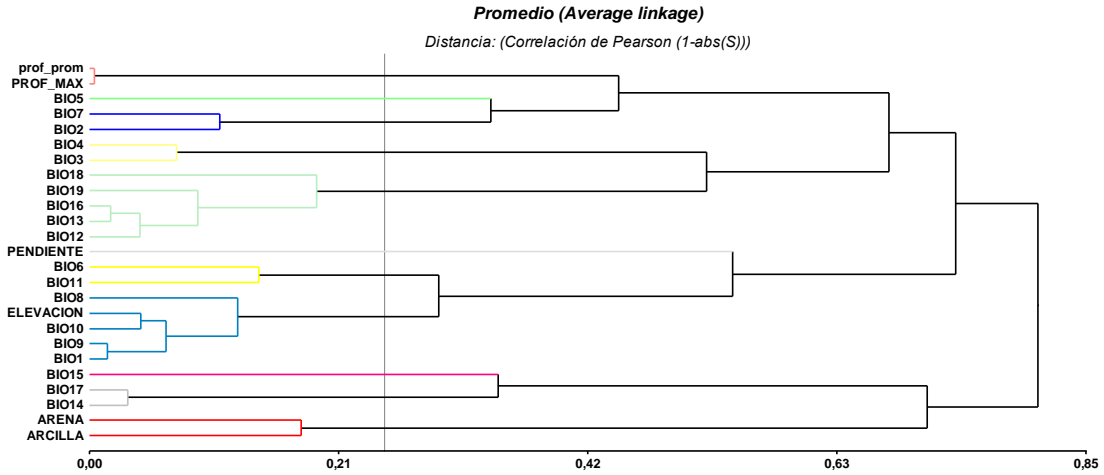
Análisis en *Otopa novogranatensis*



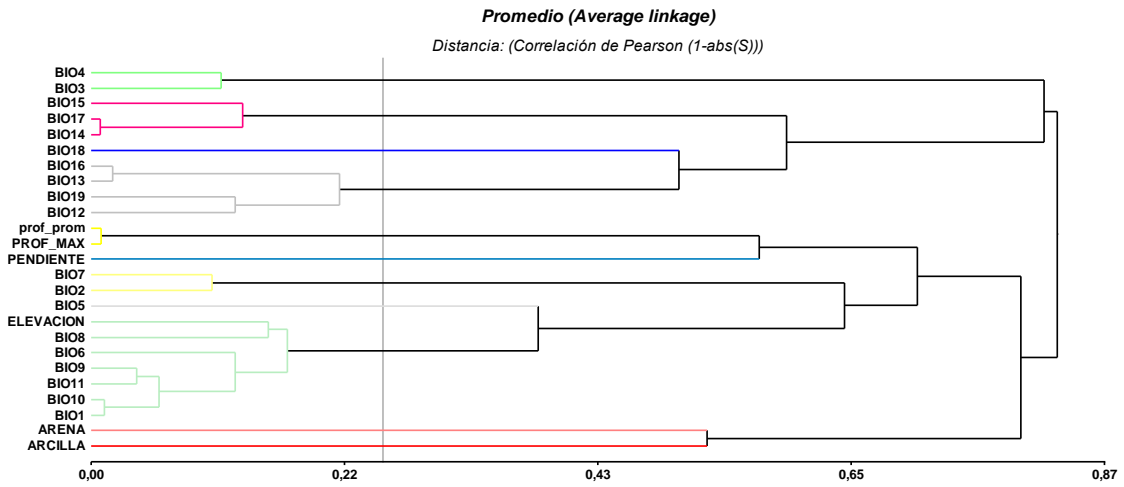
Análisis en *Tetrathylacium macrophyllum*



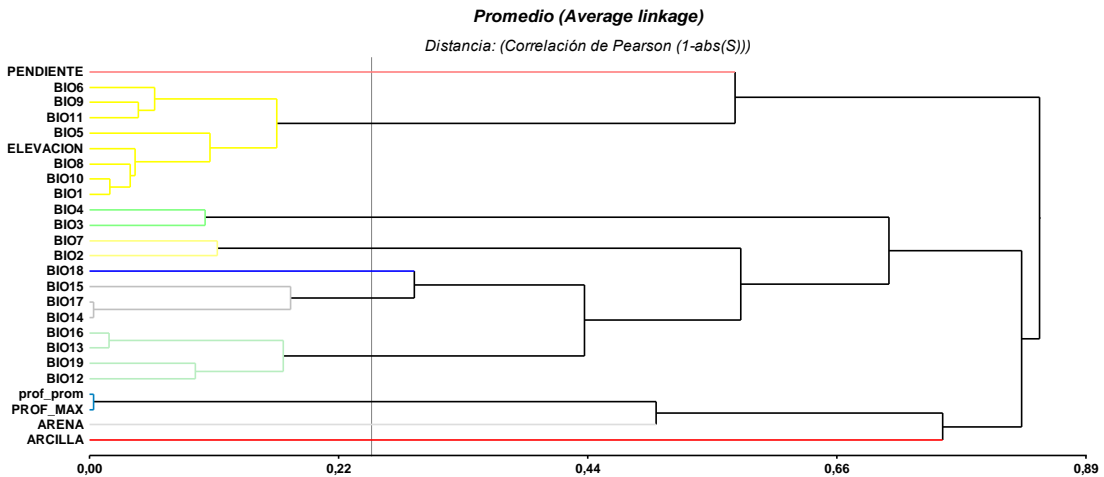
Análisis en *Chaunochiton kappleri*



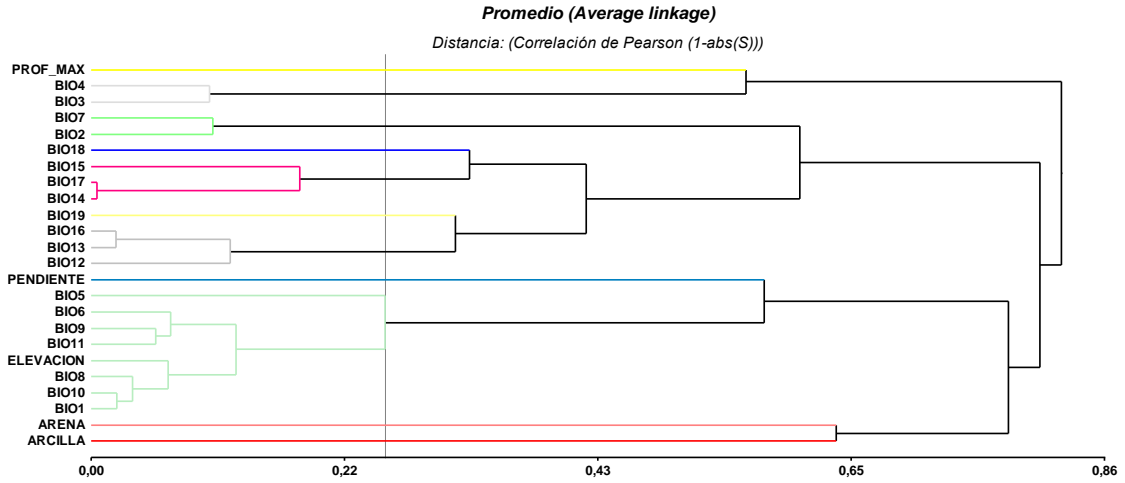
Análisis en *Aspidosperma spruceanum*



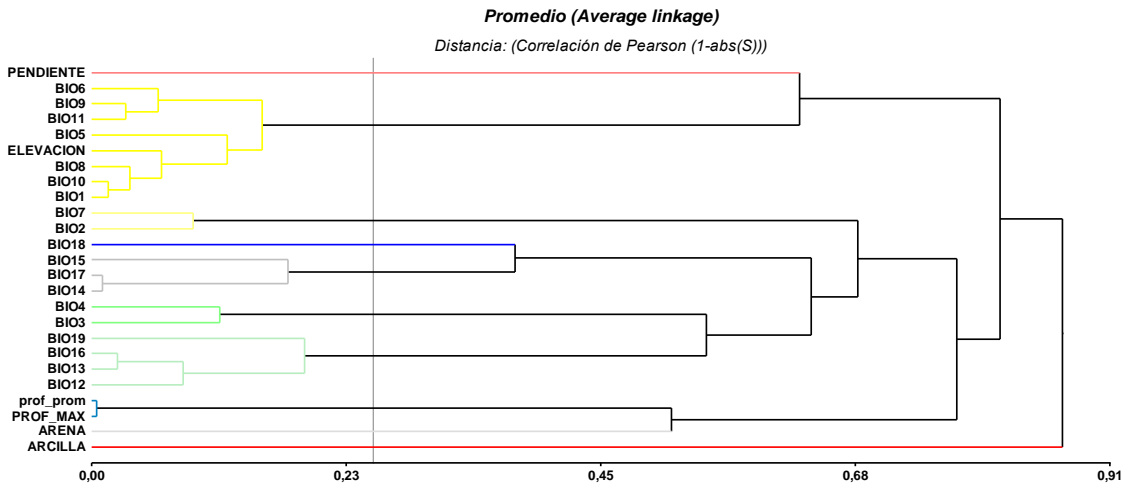
Análisis en *Carapa guianensis*



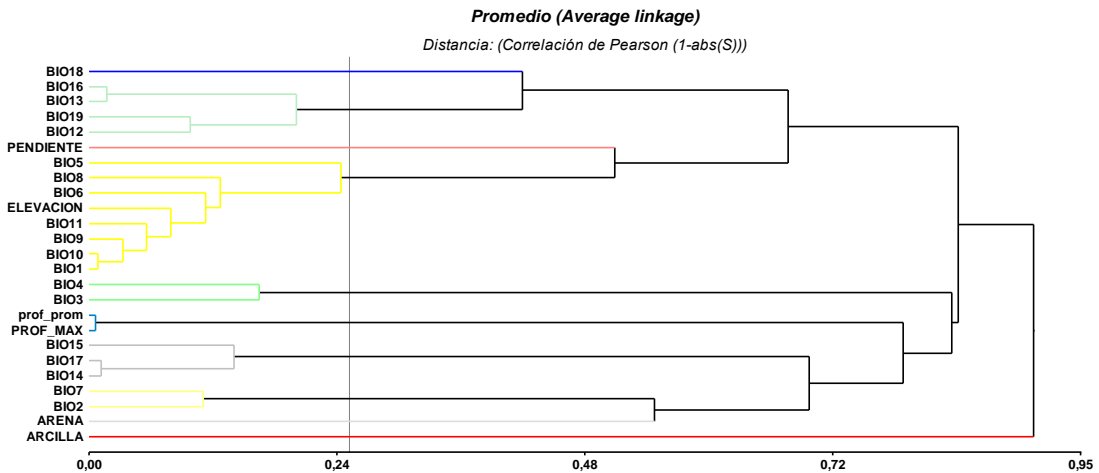
Análisis en *Cedrela odorata*



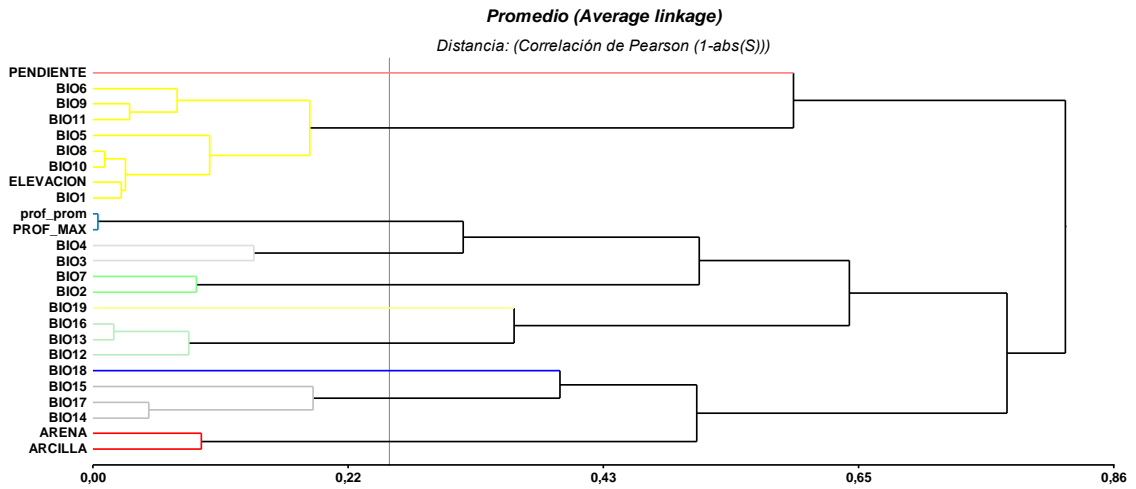
Análisis en *Cordia alliodora*



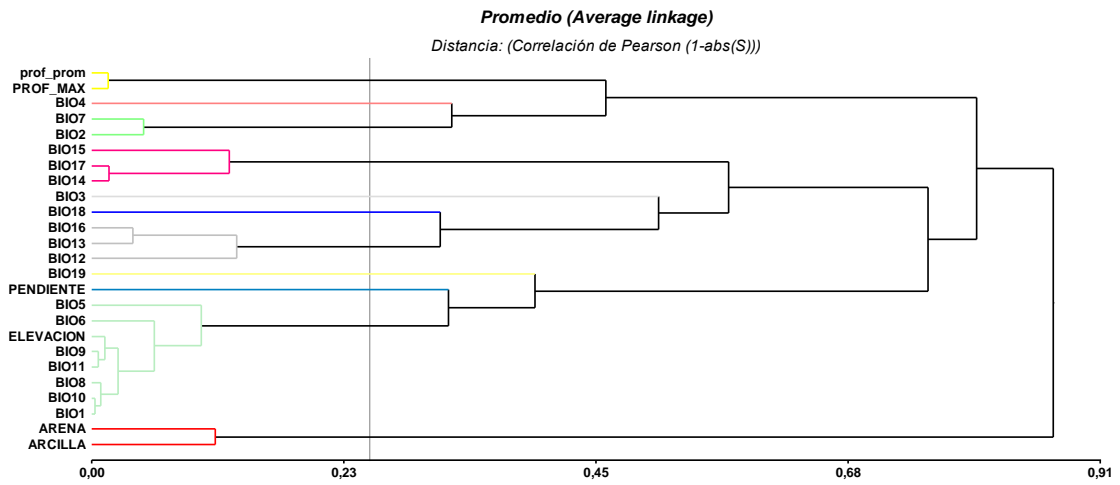
Análisis en *Enterolobium cyclocarpum*



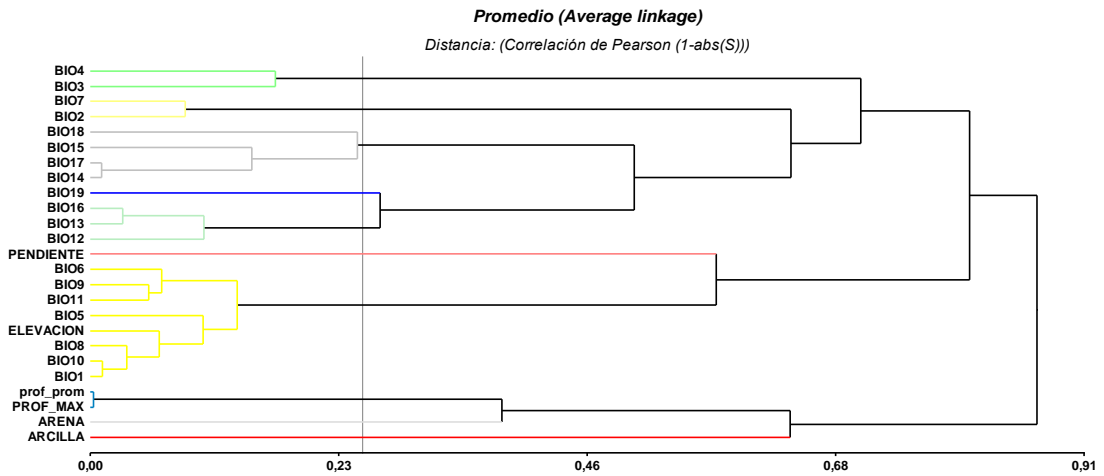
Análisis en *Hyeronima alchorneoides*



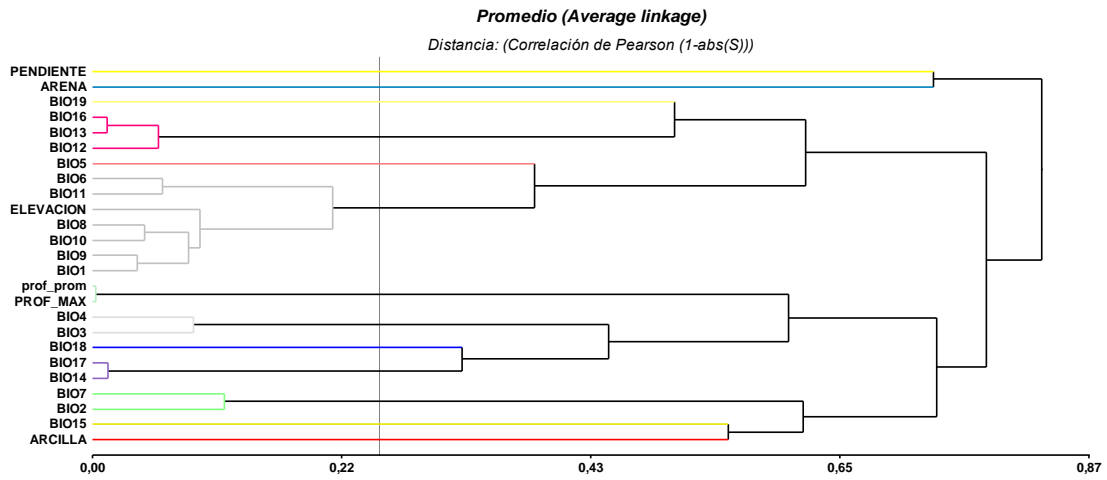
Análisis en *Myroxylon balsamum*



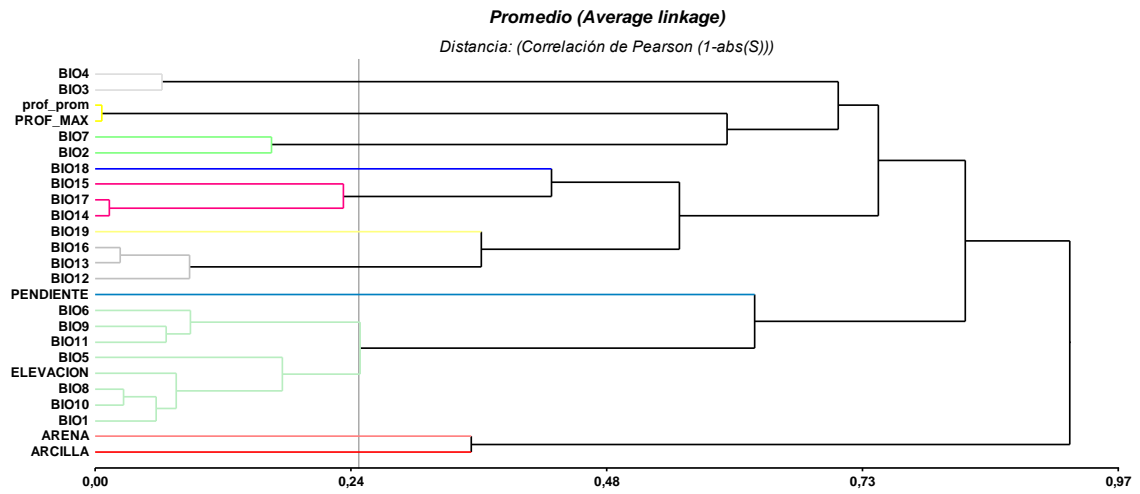
Análisis en *Platymiscium pinnatum*



Análisis en *Samanea saman*



Análisis en *Shizolobium parahyba*



Análisis en *Tabebuia rosea*

Anexo 3 Contribución porcentual de las variables al modelo por especie

<i>Agonandra macrocarpa</i>		<i>Amphitecna isthmica</i>		<i>Caryocar costaricense</i>		<i>Couratari guianensis</i>	
Variable	%	Variable	%	Variable	%	Variable	%
bio14	41.3	bio19	54.9	bio18	24.9	bio19	75.5
bio19	26.4	pendiente	19.7	bio4	20.5	bio15	13.6
bio18	10	bio3	7.5	bio2	18.5	bio18	5.4
arcilla	8.4	bio14	6.4	elevación	11.1	bio4	1.5
bio2	8.2	prof_prom	4.4	bio3	9	arcilla	1.4
elevación	2.9	arena	2.7	pendiente	8.5	pendiente	0.9
arena	1.9	bio4	2	bio17	4.7	bio3	0.8
pendiente	0.9	bio2	1.7	arcilla	1.7	elevación	0.6
		bio18	0.6	bio7	0.7	arena	0.2
prof_prom	0	elevación	0	prof_prom	0.5	prof_prom	0.1
<i>Dalbergia retusa</i>		<i>Garcia nutans</i>		<i>Guaiacum sanctum</i>		<i>Swietenia humilis</i>	
Variable	%	Variable	%	Variable	%	Variable	%
bio19	43.3	bio19	19.6	bio18	29.3	bio14	49.5
bio14	31	bio4	16.3	bio7	29	bio4	11.4
arena	7.2	bio14	15.4	bio14	8.6	bio7	10.4
prof_prom	4.9	bio2	11	elevación	8.5	bio18	8.9
bio4	4.4	pendiente	9.7	bio12	8.2	bio19	8.3
bio3	4.2	elevación	9.3	bio4	6.9	elevación	7.9
arcilla	2.7	prof_max	7.6	arcilla	3.4	arcilla	1.6
bio16	1.5	bio18	5.3	pendiente	2	pendiente	1.3
bio8	0.7	arcilla	4.4	bio11	1.9	arena	0.4
		bio16	1.1	arena	1.8	prof_prom	0.3
pendiente	0	arena	0.2	prof_max	0.4	bio13	0
		<i>Lonchocarpus phaseolifolius</i>		<i>Tocoyena pittieri</i>			
		Variable	%	Variable	%		
		bio14	52.7	bio19	64.9		
		bio7	20.3	arcilla	9.3		
		bio19	5.7	bio14	7.9		
		bio4	5.5	bio3	7.9		
		elevación	5.1	bio15	2.9		
		pendiente	4	arena	2.6		
		bio3	2.3	bio13	2.4		
		arcilla	2.1	pendiente	1.1		
		bio13	1.6	elevación	1		
		arena	0.6	prof_prom	0		
		bio18	0.2				
		prof_max	0.1				

Especies con valor de importancia (IVI)

<i>Calycophyllum candidissimum</i>		<i>Guazuma ulmifolia</i>		<i>Otoba novogranatensis</i>		<i>Tetrathylacium macrophyllum</i>	
Variable	%	Variable	%	Variable	%	Variable	%
bio4	34.6	bio14	24.2	bio19	53.1	bio19	72.2
bio14	15.2	bio4	19	bio3	17.1	bio2	10.1
bio7	12.7	elevación	17.9	bio18	8.9	bio17	9.4
bio18	8	bio7	17.7	arcilla	4.5	pendiente	3.8
elevación	6.4	arcilla	7.7	bio14	4.4	bio4	2.1
bio19	6.2	bio16	4.5	bio2	3.7	bio3	1.3
arcilla	3.9	arena	3.5	pendiente	3.5	elevación	0.9
bio3	3.3	bio19	3.3	prof_prom	2.5	bio6	0.1
bio5	3.3	bio18	1.5	bio4	2	arena	0.1
arena	3	prof_max	0.5	elevación	0.3	prof_prom	0
bio16	1.4	pendiente	0.2				
prof_prom	1.2						
pendiente	0.8						

Especie endémica

<i>Chaunochiton kappleri</i>	
Variable	%
bio19	57.6
bio2	21.3
pendiente	9.4
bio14	6.5
bio4	2.2
arena	1.5
elevación	1
arcilla	0.5
prof_max	0
bio3	0

Especies con valor maderable

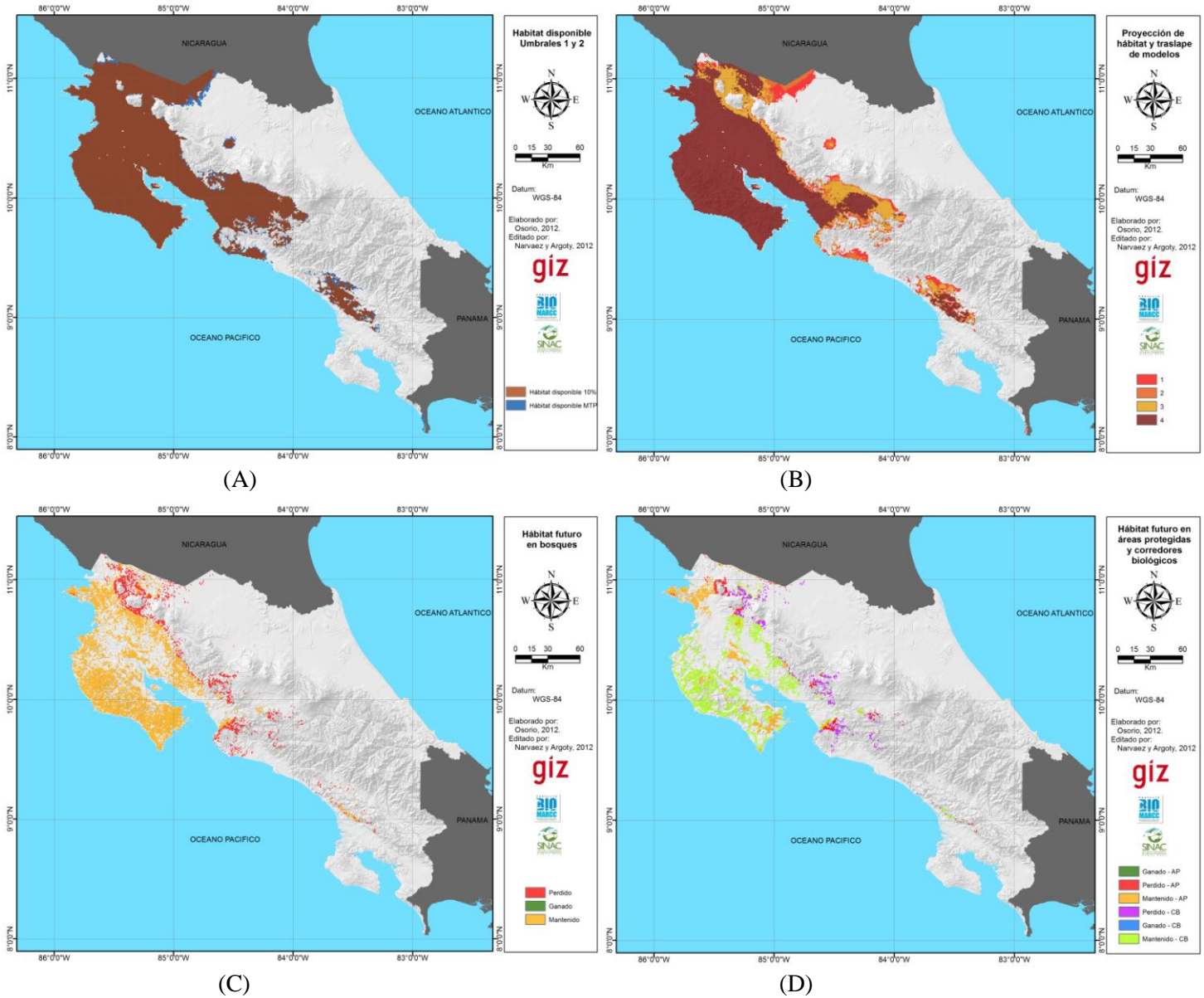
<i>Aspidosperma spruceanum</i>		<i>Carapa guianensis</i>		<i>Cedrela odorata</i>		<i>Cordia alliodora</i>	
Variable	%	Variable	%	Variable	%	Variable	%
bio19	64.3	bio19	49.8	bio4	34.8	bio4	22.4
bio14	11.8	bio4	22.2	bio2	18.9	elevación	16.8
bio15	9	bio17	14.1	arcilla	9.7	bio7	15
pendiente	6.4	arena	5.9	bio8	7.8	arcilla	12.7
bio3	2.4	elevación	5.2	bio16	7.7	pendiente	11.7
prof_prom	2.2	bio7	1.4	bio18	5.9	bio15	6.7
elevación	1.9	arcilla	0.8	arena	4.3	arena	4.8
bio7	1	pendiente	0.7	bio15	4.2	bio19	3.1
arcilla	0.8	bio18	0	pendiente	4	bio18	3
bio6	0.2	prof_max	0	prof_prom	2.7	bio12	2.5
bio5	0	bio5	0			prof_prom	1.2
<i>Enterolobium macrocarpon</i>		<i>Hyeronima alchornoides</i>		<i>Myroxylon balsamum</i>		<i>Platymiscium pinnatum</i>	
Variable	%	Variable	%	Variable	%	Variable	%
bio7	25	bio19	55.9	bio4	55.2	bio19	47.2
bio4	18.8	bio3	16.3	pendiente	16.7	bio3	22.1
bio17	18.6	bio17	13.8	bio14	7.4	bio2	10.3
arcilla	12.1	bio7	7.7	bio19	5.8	bio17	10.2
elevación	6.4	elevación	4.9	arena	4.5	bio4	7.3
bio19	6.2	arcilla	0.6	bio12	4.3	prof_prom	1.6
bio18	5.2	bio18	0.3	prof_prom	3	bio18	1.3
arena	4.3	pendiente	0.2	bio18	2	bio16	0.2
prof_prom	2.1	arena	0.2	bio8	0.8	elevación	0
pendiente	1.3	prof_prom	0.1	bio7	0.3	arcilla	0
<i>Samanea saman</i>		<i>Schizolobium parahyba</i>		<i>Tabebuia rosea</i>			
Variable	%	Variable	%	Variable	%		
bio7	31.2	bio19	42.1	bio7	21.1		
bio14	24.6	elevación	21.9	bio14	16.3		
bio4	19	bio2	9.8	elevación	15.9		
bio19	12.6	arcilla	9.5	bio4	11.6		
elevación	6	arena	4.5	arcilla	10.4		
arcilla	4	prof_prom	3.5	bio12	7.1		
arena	1.5	bio4	3.4	arena	5.8		
bio12	0.9	bio15	2.7	pendiente	5.5		
pendiente	0.1	bio18	2.2	prof_max	3.2		
prof_prom	0	pendiente	0.4	bio19	2.6		
		bio16	0	bio18	0.6		
		bio12	0				
		bio5	0				

Anexo 4 Variación superficial (km²) del hábitat futuro (4 modelos) contrastado con la cobertura de bosque, áreas protegidas (AP) y corredores biológicos (CB) diferenciando entre hábitat perdido, mantenido y ganado

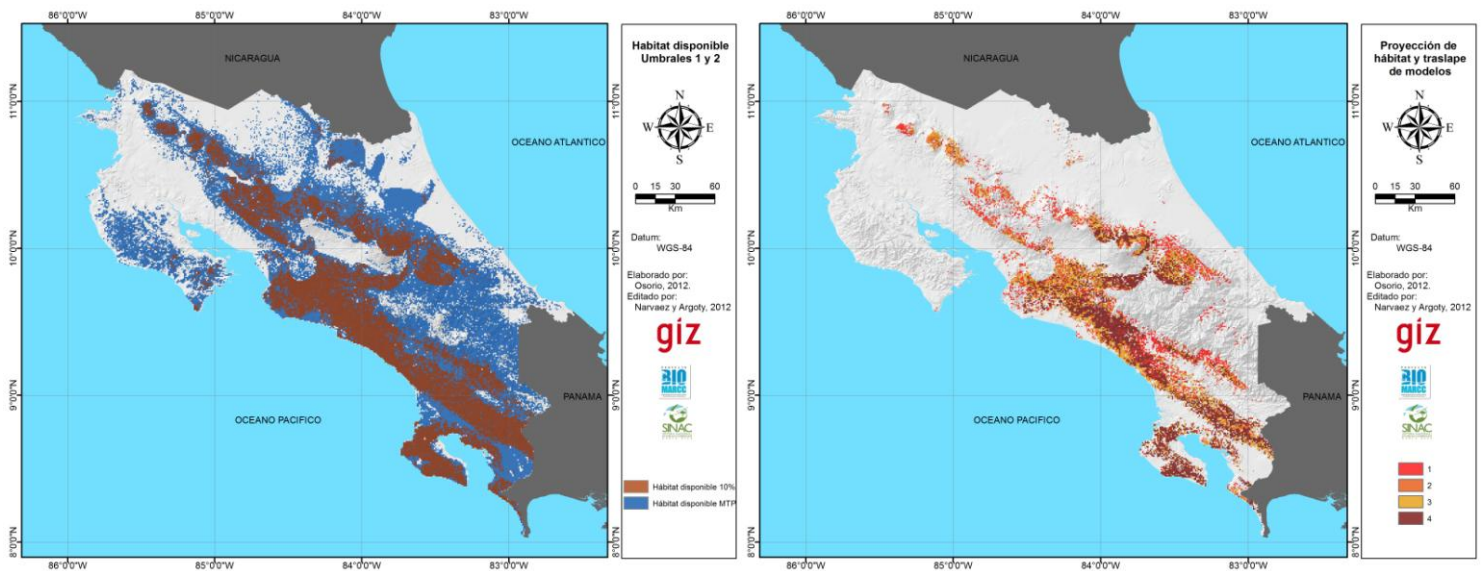
HÁBITAT EN BOSQUE Y ÁREAS CONSERVADAS																			
		Actual (Km ²)		Futuro (Km ² y %)															
Nº	Especie	Cat.	Eco.		Actual		Perdido				Mantenido				Ganado				
			N	S	AP	CB	AP	%	CB	%	AP	%	CB	%	AP	%	CB	%	
1	<i>Agonandra macrocarpa</i>	V. C	x		1356	3629	316.0	23.3	695.0	19.2	1040.0	76.7	2934.0	80.8	0.0	0.0	0.0	0.0	
2	<i>Amphitecna isthmica</i>			x		4432	3447	2960.0	66.8	2088.0	60.6	1472.0	33.2	1359.0	39.4	0.0	0.0	0.0	0.0
3	<i>Caryocar costarricense</i>			x		1780	2015	491.0	27.6	490.0	24.3	1289.0	72.4	1525.0	75.7	18.0	1.0	28.0	1.4
4	<i>Couratari guianensis</i>			x		1785	2354	491.0	27.5	1082.0	46.0	1294.0	72.5	1272.0	54.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	<i>Dalbergia retusa</i>			x	x	2271	4861	1420.0	62.5	3374.0	69.4	851.0	37.5	1487.0	30.6	6.0	0.3	4.0	0.1
6	<i>Garcia nutans</i>			x		2548	4601	1296.0	50.9	1365.0	29.7	1252.0	49.1	3236.0	70.3	12.0	0.5	31.0	0.7
7	<i>Guaiacum sanctum</i>			x	x	956	2393	409.0	42.8	1622.0	67.8	547.0	57.2	771.0	32.2	0.0	0.0	1.0	0.0
8	<i>Swietenia humilis</i>			x		1219	3410	70.0	5.7	319.0	9.4	1149.0	94.3	3091.0	90.6	3.0	0.2	3.0	0.1
9	<i>Lonchocarpus phaseolifolius</i>			x		1493	4067	155.0	10.4	223.0	5.5	1338.0	89.6	3844.0	94.5	97.0	6.5	325.0	8.0
10	<i>Tocoyena pittieri</i>				x	2307	2378	1862.0	80.7	2041.0	85.8	445.0	19.3	337.0	14.2	0.0	0.0	0.0	0.0
11	<i>Chaunochiton kappleri*</i>				x	1682	1546	688.0	40.9	891.0	57.6	994.0	59.1	655.0	42.4	0.0	0.0	0.0	0.0
	\bar{X}				1984.5	3154.6	923.5	39.9	1290.0	43.2	1061.0	60.1	1864.6	56.8	12.4	0.8	35.6	0.9	
	s				945.9	1091.9	882.9	23.8	945.4	27.0	330.0	23.8	1196.0	27.0	28.7	1.9	96.7	2.4	
12	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	IVI	x		1804	4622	294.0	16.3	640.0	13.8	1510.0	83.7	3982.0	86.2	16.0	0.9	58.0	1.3	
13	<i>Guazuma ulmifolia</i>			x		3706	6302	535.0	14.4	636.0	10.1	3171.0	85.6	5666.0	89.9	92.0	2.5	64.0	1.0
14	<i>Otoba novogranatensis</i>				x	12464	7329	8836.0	70.9	5578.0	76.1	3628.0	29.1	1751.0	23.9	5.0	0.0	3.0	0.0
15	<i>Tetrathylacium macrophyllum</i>				x	2041	1840	734.0	36.0	931.0	50.6	1307.0	64.0	909.0	49.4	0.0	0.0	0.0	0.0
	\bar{X}				5003.8	5023.3	2599.8	34.4	1946.3	37.7	2404.0	65.6	3077.0	62.3	28.3	0.9	31.3	0.6	
	s				5045.0	2397.6	4161.4	26.2	2425.1	31.5	1167.5	26.2	2158.7	31.5	43.0	1.2	34.5	0.7	
16	<i>Aspidosperma spruceanum</i>	V. M		x	8287	5342	3362.0	40.6	1939.0	36.3	4925.0	59.4	3403.0	63.7	3.0	0.0	0.0	0.0	
17	<i>Carapa guianensis</i>				x	5560	4474	492.0	8.8	296.0	6.6	5068.0	91.2	4178.0	93.4	34.0	0.6	47.0	1.1
18	<i>Cedrela odorata</i>			x	x	8887	9360	2486.0	28.0	2271.0	24.3	6401.0	72.0	7089.0	75.7	11.0	0.1	26.0	0.3
19	<i>Cordia alliodora</i>			x	x	7128	8606	1538.0	21.6	1192.0	13.9	5590.0	78.4	7414.0	86.1	43.0	0.6	19.0	0.2
20	<i>Hyeronima alchorneoides</i>			x	x	8469	6165	3270.0	38.6	1991.0	32.3	5199.0	61.4	4174.0	67.7	0.0	0.0	3.0	0.0
21	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>			x	x	5788	6803	2202.0	38.0	1141.0	16.8	3586.0	62.0	5662.0	83.2	21.0	0.4	20.0	0.3
22	<i>Myroxylon balsamum</i>				x	7829	7117	2281.0	29.1	958.0	13.5	5548.0	70.9	6159.0	86.5	0.0	0.0	0.0	0.0
23	<i>Platymiscium pinnatum</i>				x	9747	5779	6801.0	69.8	4044.0	70.0	2946.0	30.2	1735.0	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	<i>Samanea saman</i>				x	3329	6439	1179.0	35.4	1342.0	20.8	2150.0	64.6	5097.0	79.2	114.0	3.4	35.0	0.5
25	<i>Schizolobium parahyba</i>				x	2745	5611	1178.0	42.9	2704.0	48.2	1567.0	57.1	2907.0	51.8	43.0	1.6	314.0	5.6
26	<i>Tabebuia rosea</i>			x	3147	5537	261.0	8.3	423.0	7.6	2886.0	91.7	5114.0	92.4	34.0	1.1	51.0	0.9	
	\bar{X}				6446.9	6475.7	2277.3	32.8	1663.7	26.4	4169.6	67.2	4812.0	73.6	27.5	0.7	46.8	0.8	
	s				2494.6	1445.0	1813.5	17.1	1086.6	19.2	1602.2	17.1	1748.0	19.2	33.5	1.0	90.5	1.6	

Donde: N = Cat.= Categoría; VC= Valor de conservación; IVI= Índice de valor de importancia; VM= Valor maderable; Ecorregión Bosques secos del lado Pacífico de América Central; S = Ecorregión Bosques húmedos del lado Pacífico del Istmo de Panamá-Costa Rica; Actual = Hábitat actual (km²); Futuro = Hábitat futuro con traslape de 4 modelos (km²); Estadística descriptiva: \bar{X} = promedio, s = desviación estándar; *endémica; AP = Hábitat en Áreas Protegidas (asegurado); CB = Hábitat en Corredores Biológicos

Anexo 5 Información espacial de las 26 especies arbóreas

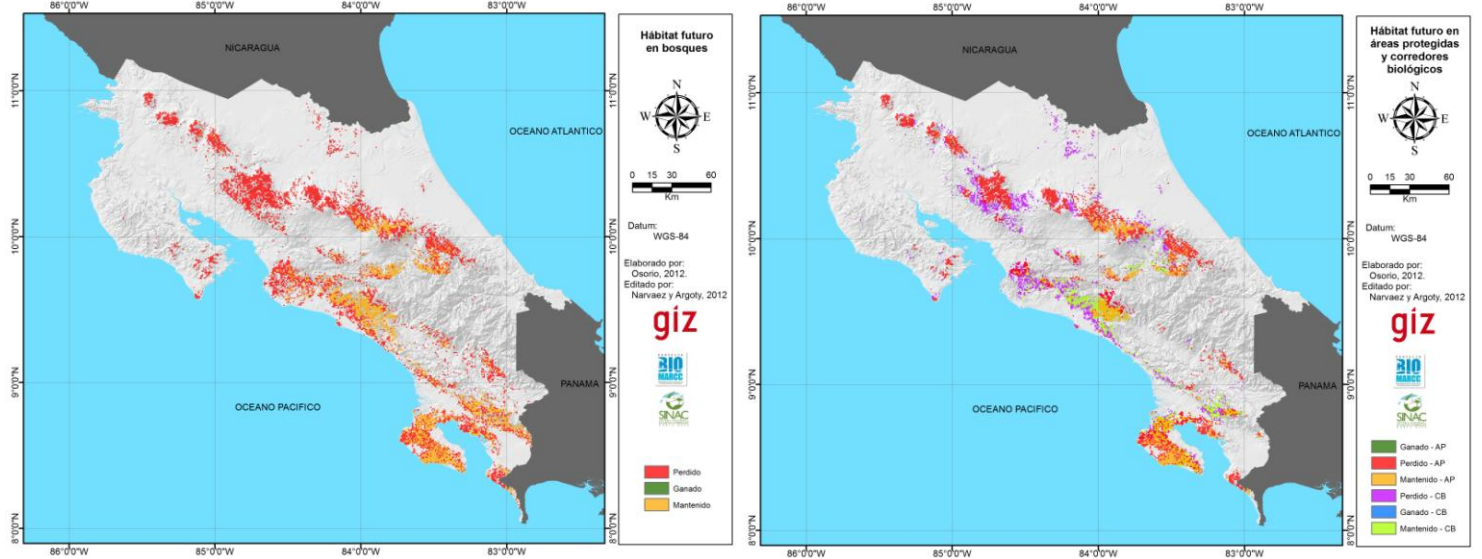


Agonandra macrocarpa. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



(A)

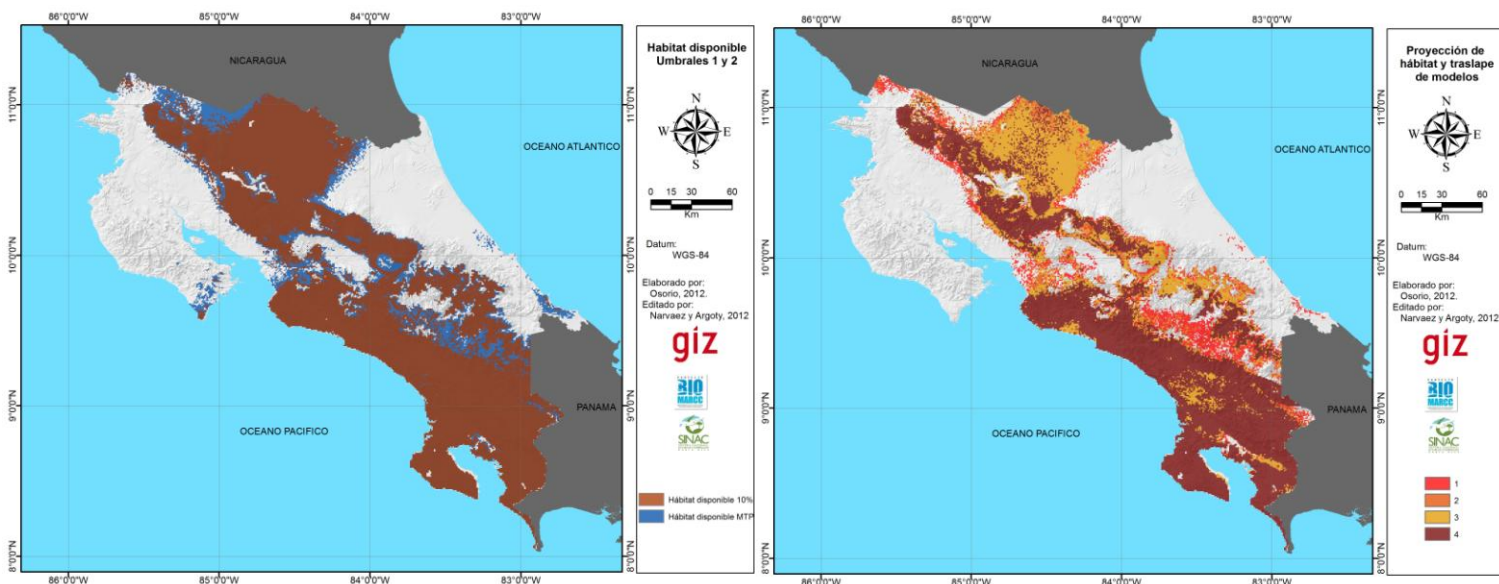
(B)



(C)

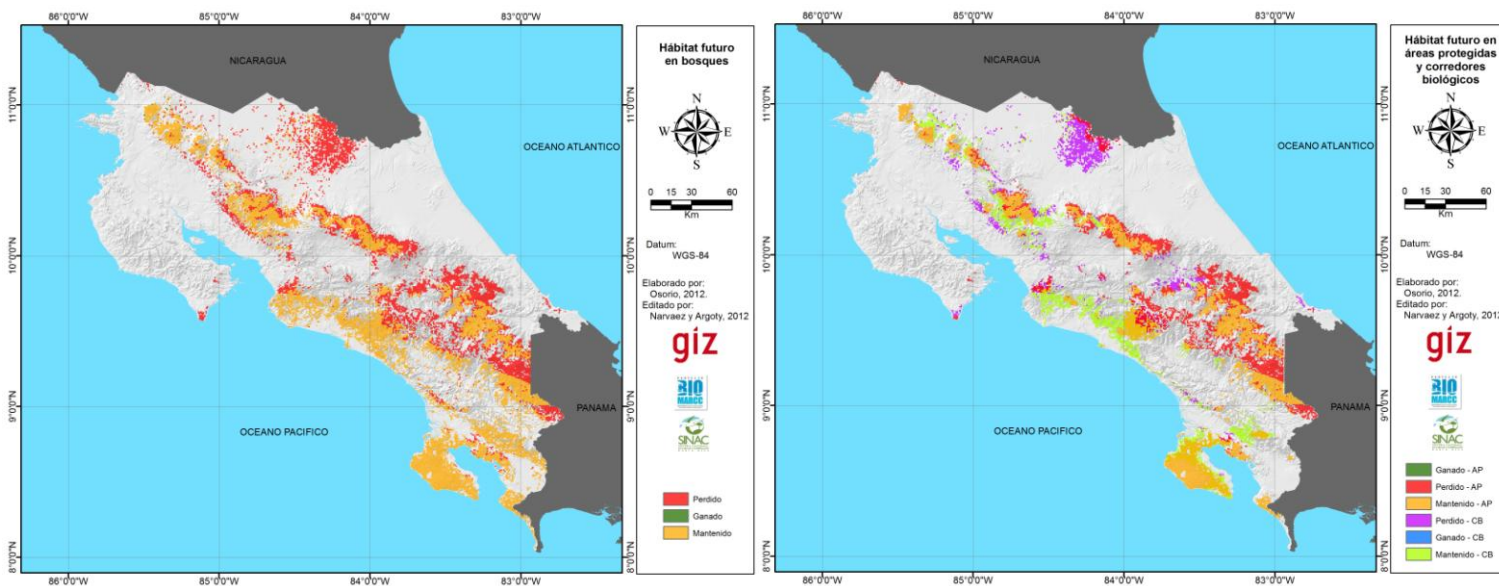
(D)

Amphitecna isthmica. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



(A)

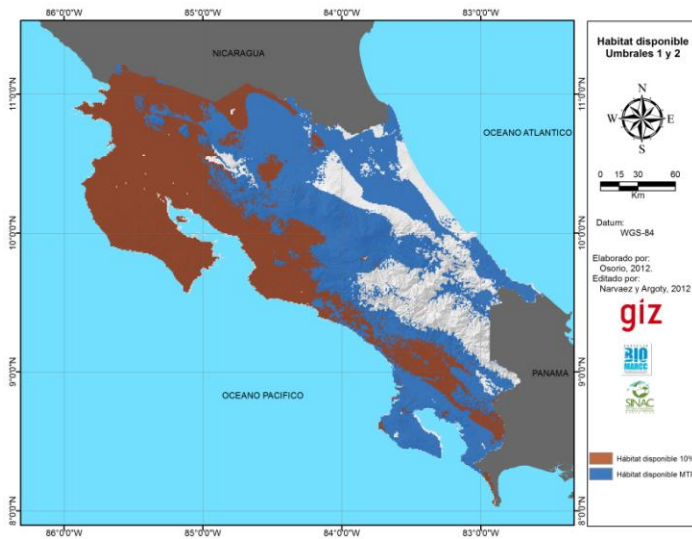
(B)



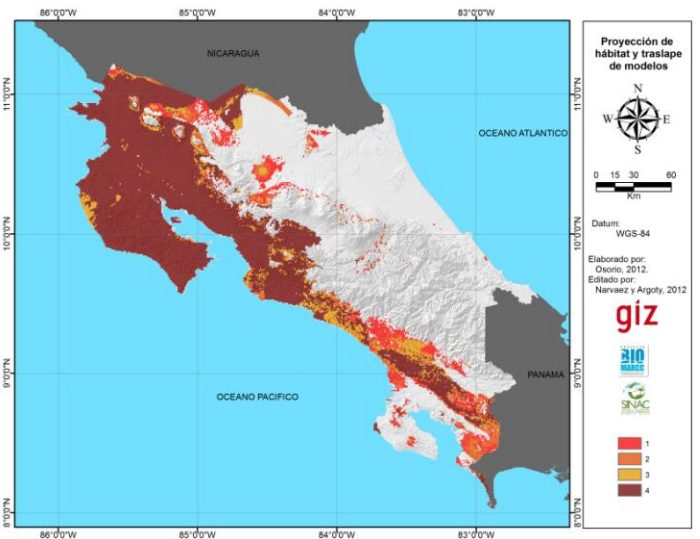
(C)

(D)

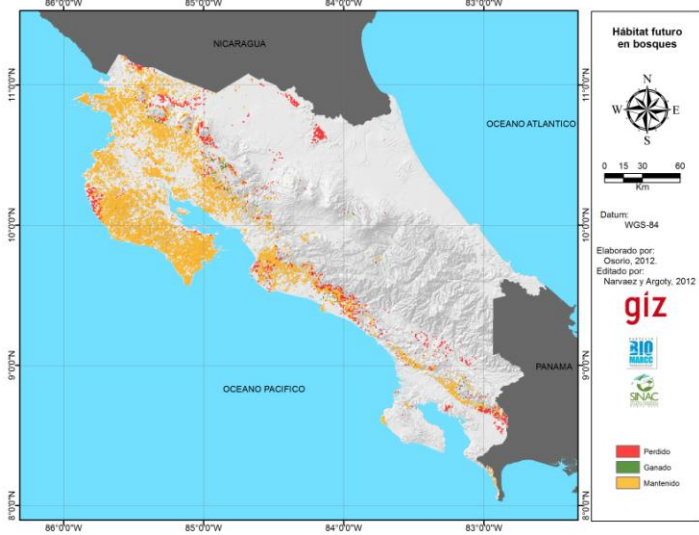
Aspidosperma spruceanum. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



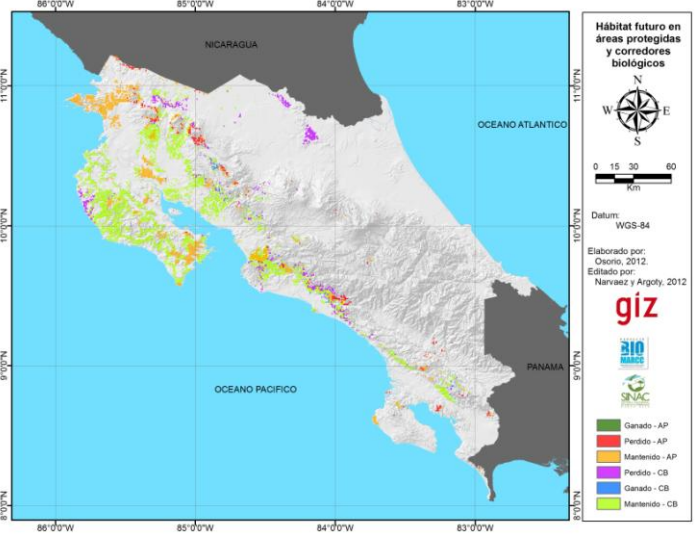
(A)



(B)

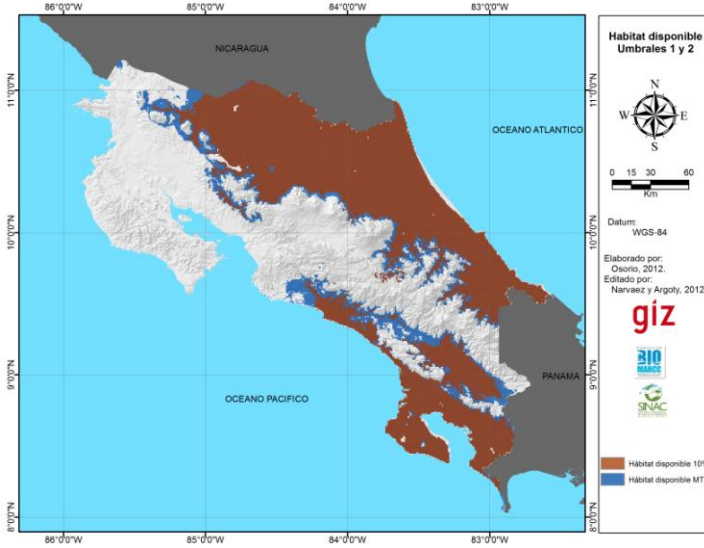


(C)

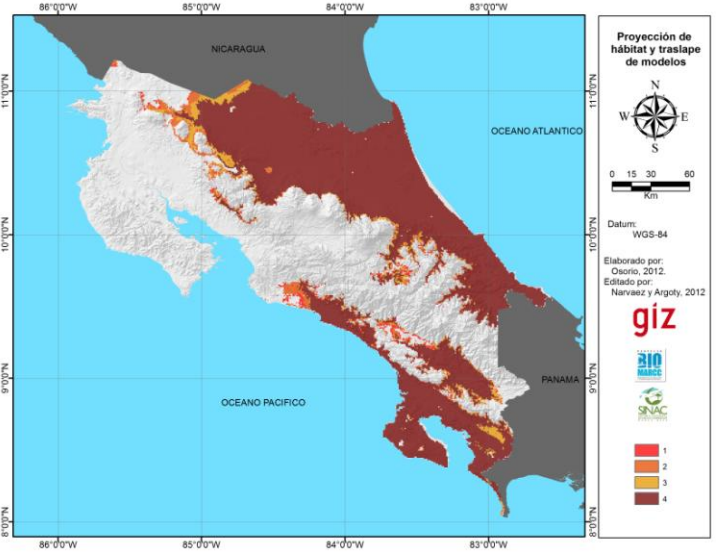


(D)

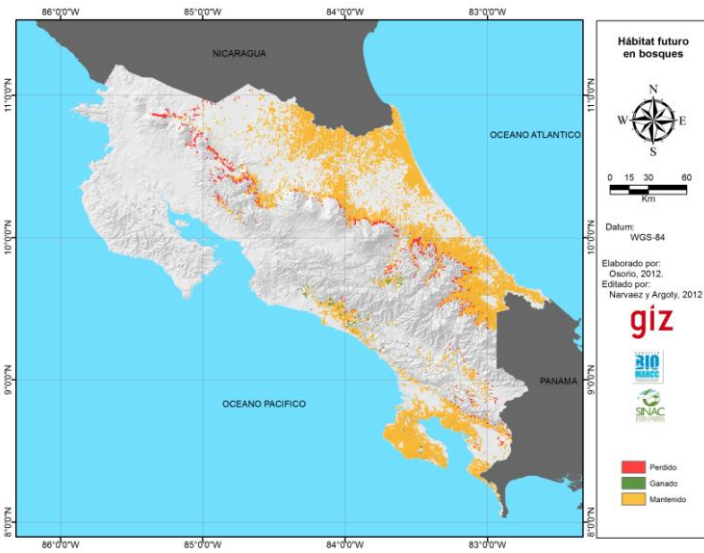
Calycophyllum candidissimum. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



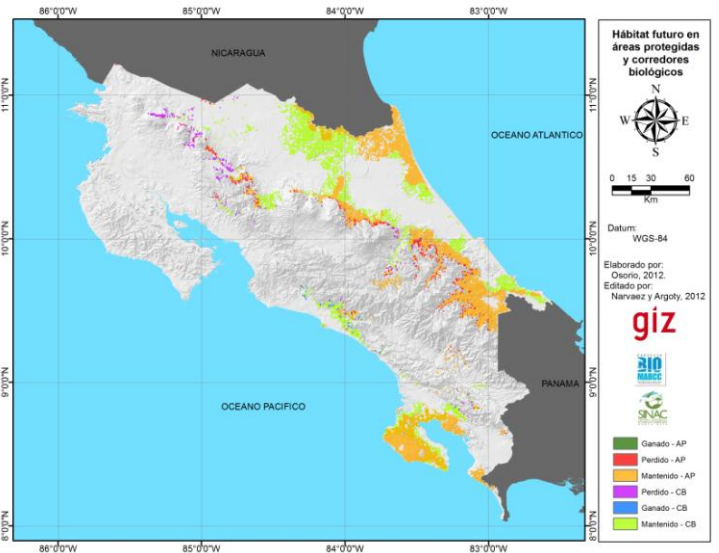
(A)



(B)

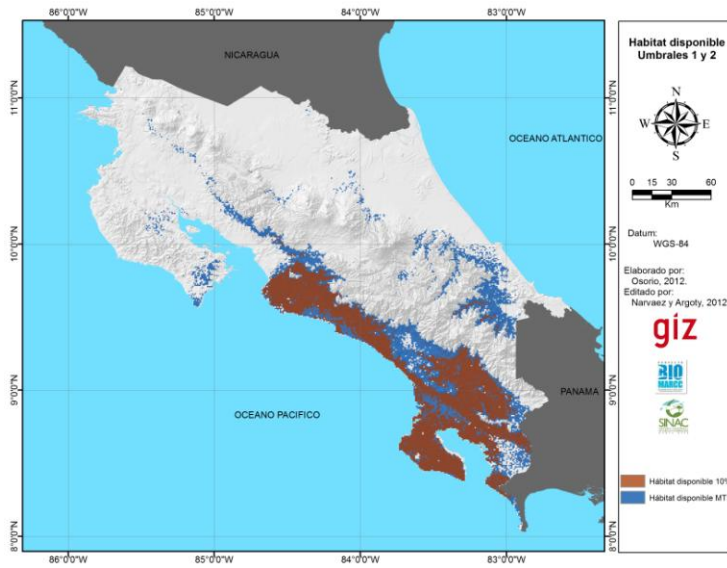


(C)

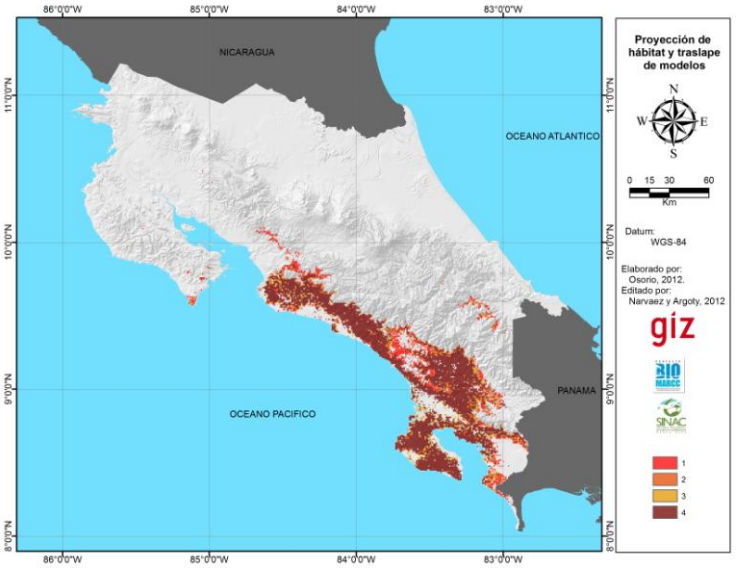


(D)

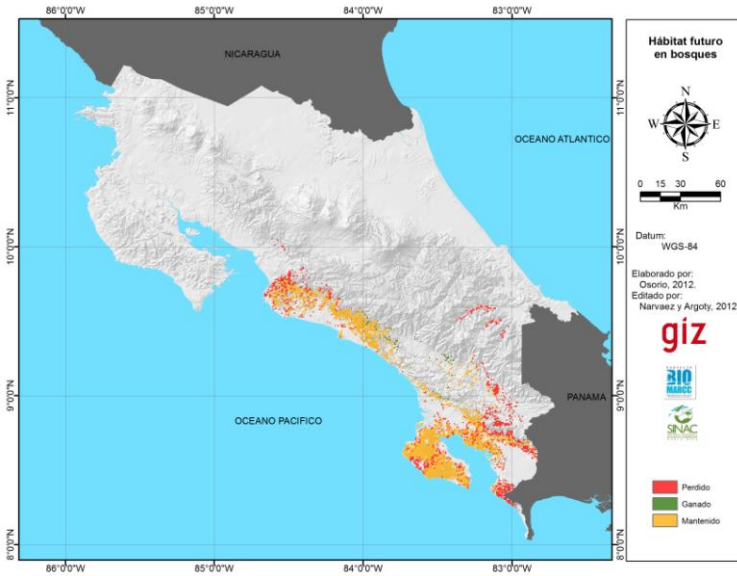
Carapa guianensis. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



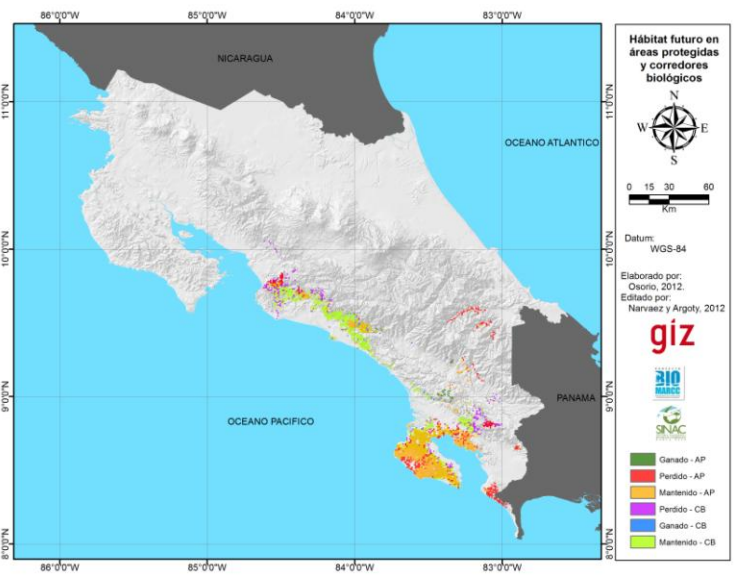
(A)



(B)

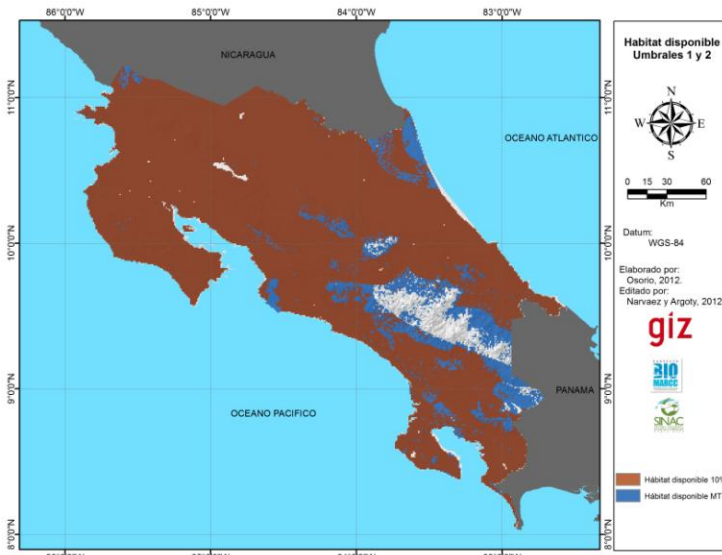


(C)

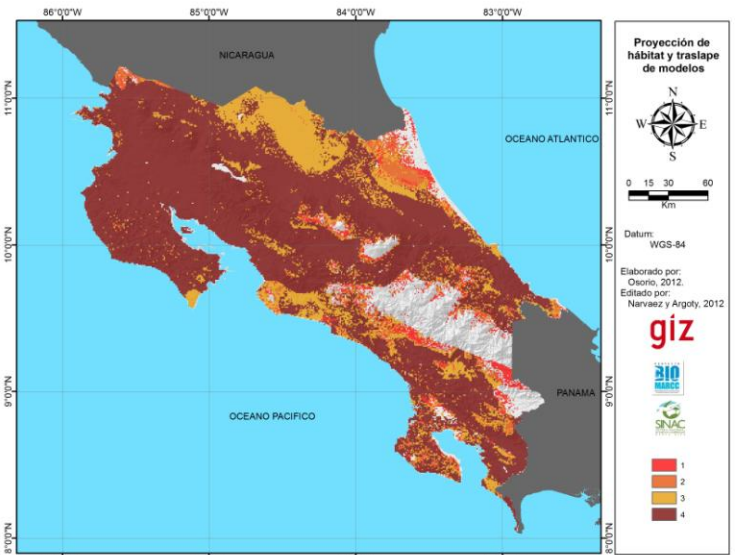


(D)

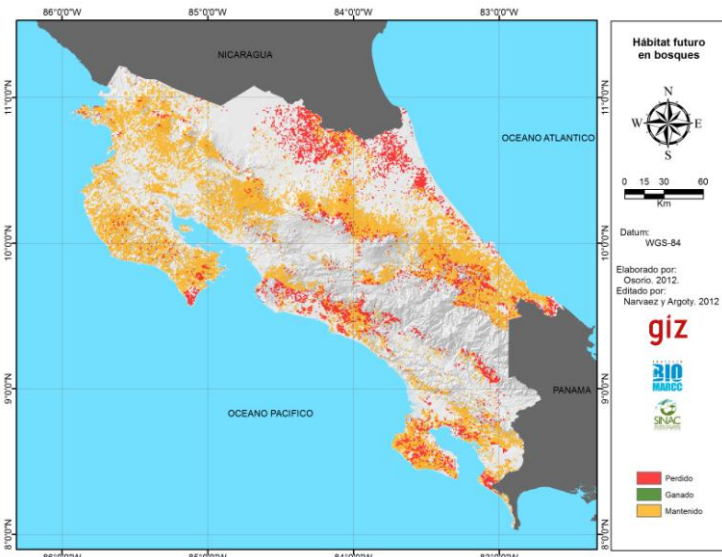
Caryocar costaricense. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



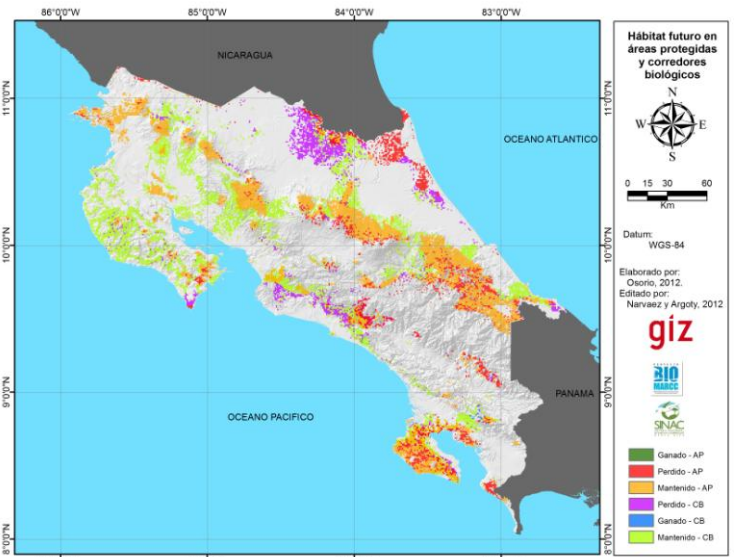
(A)



(B)

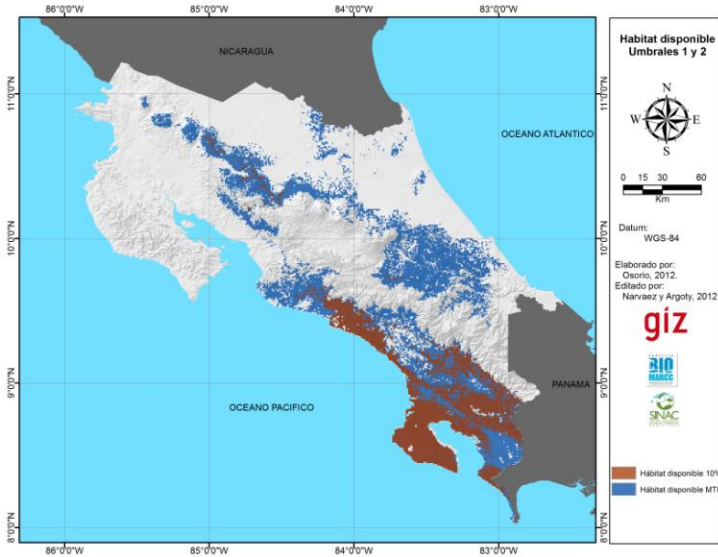


(C)

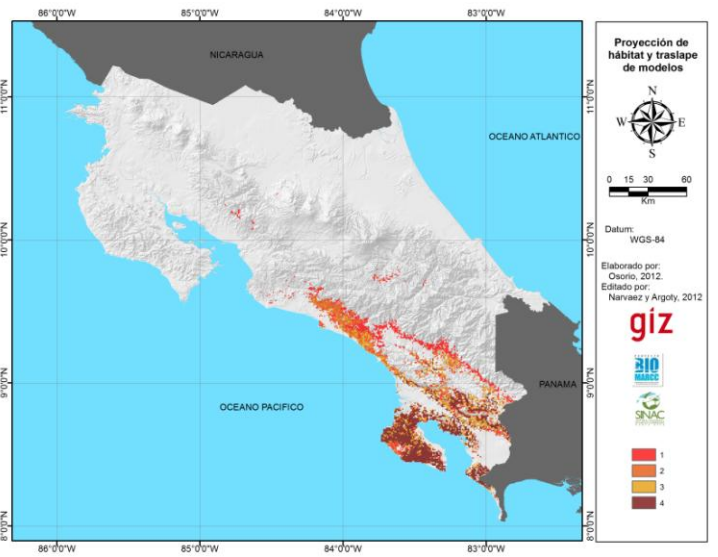


(D)

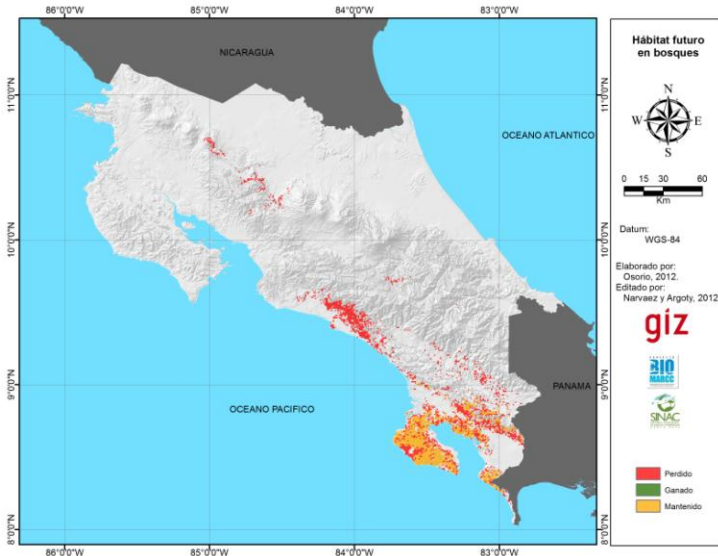
Cedrela odorata. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



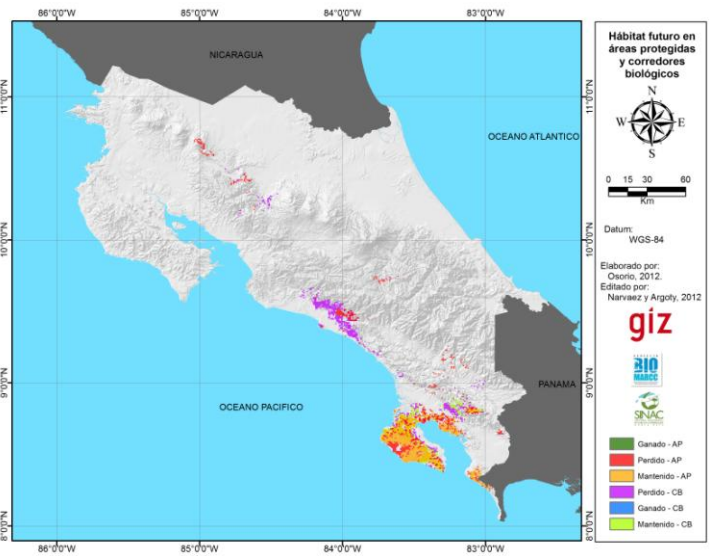
(A)



(B)

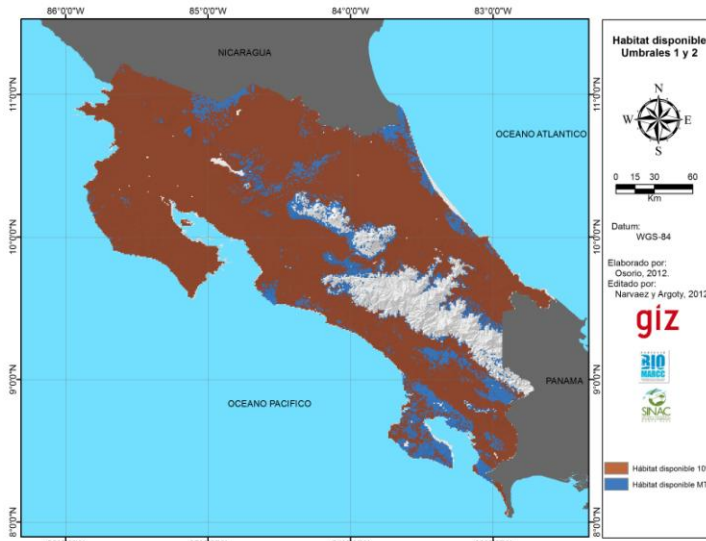


(C)

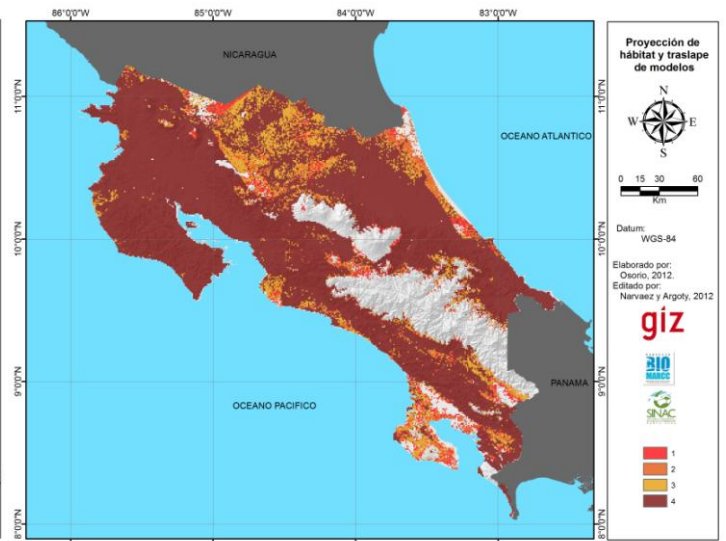


(D)

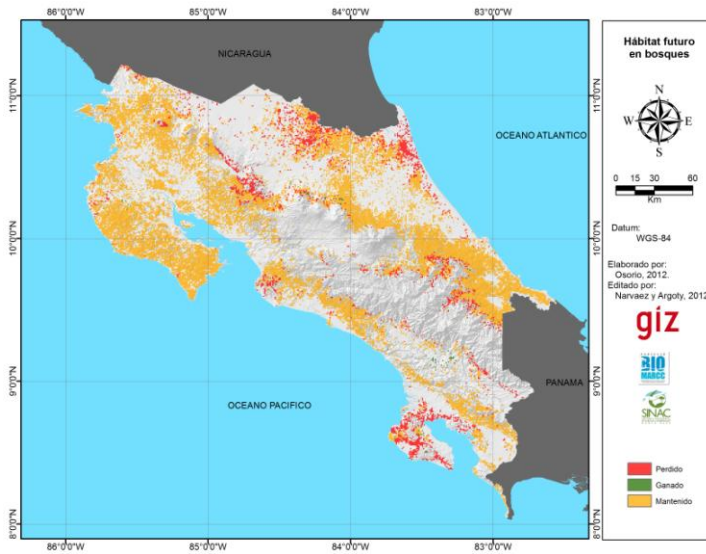
Chaunochiton kappleri. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



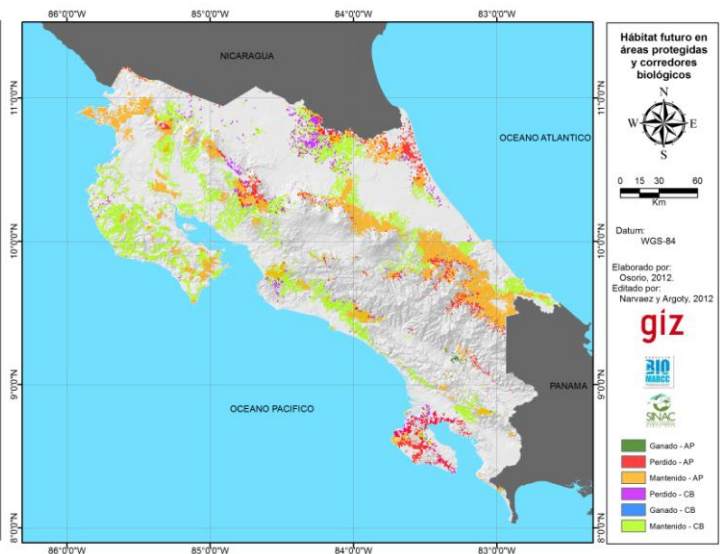
(A)



(B)

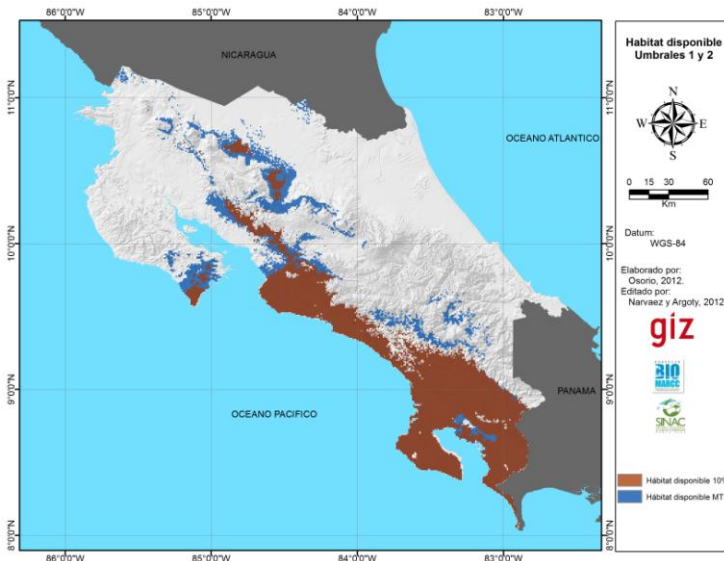


(C)

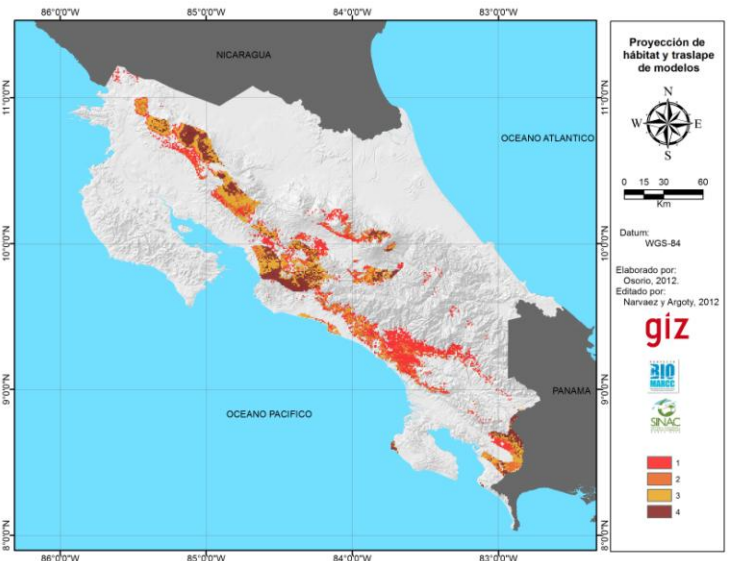


(D)

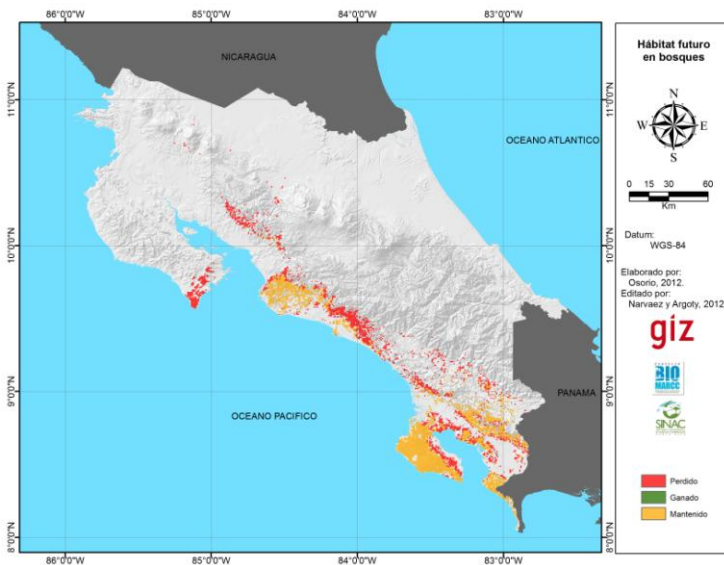
Cordia alliodora. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



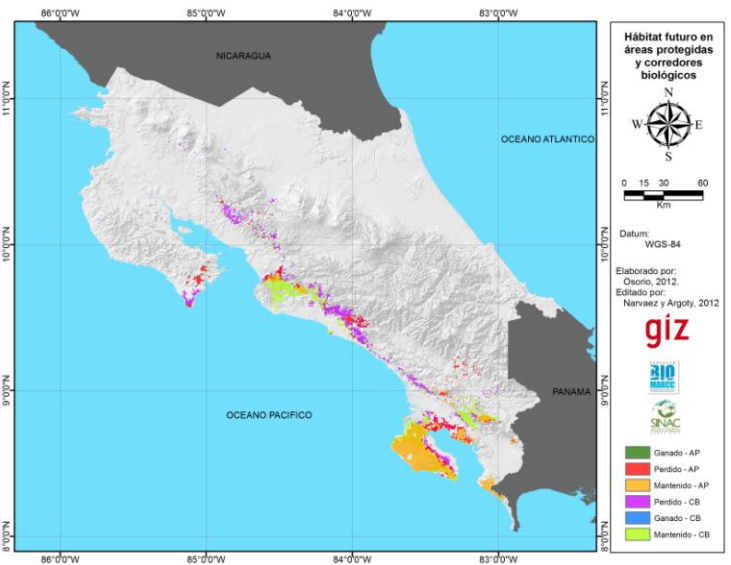
(A)



(B)

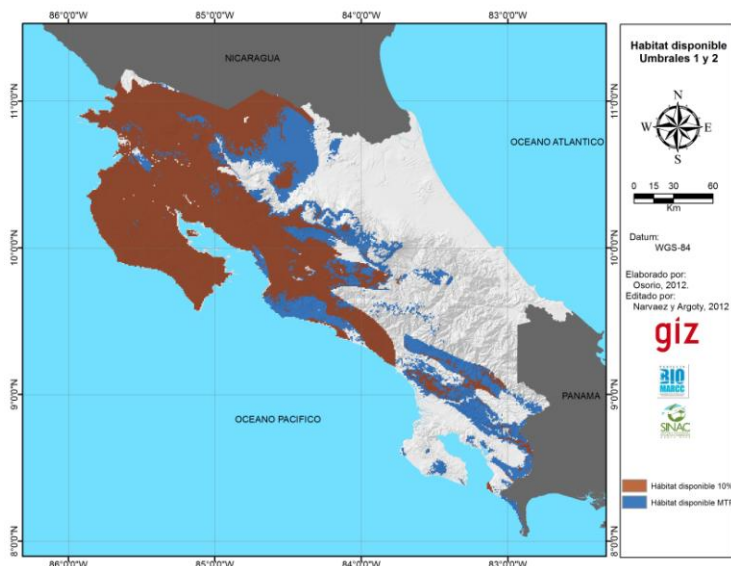


(C)

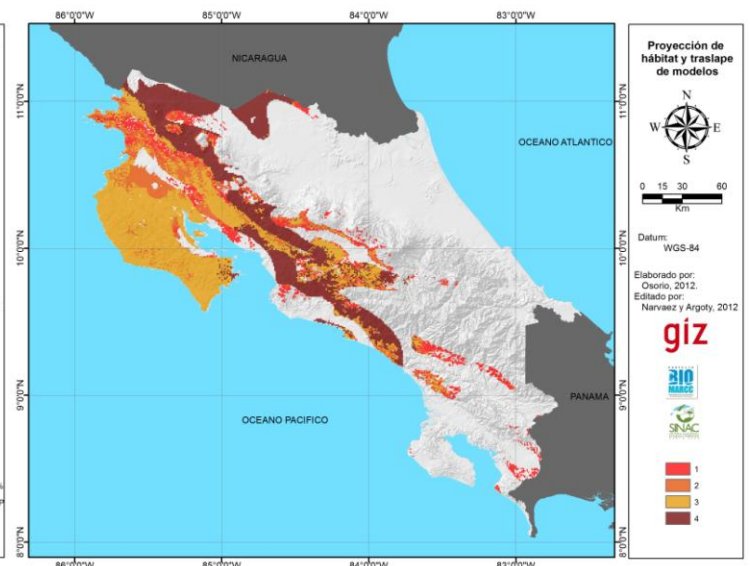


(D)

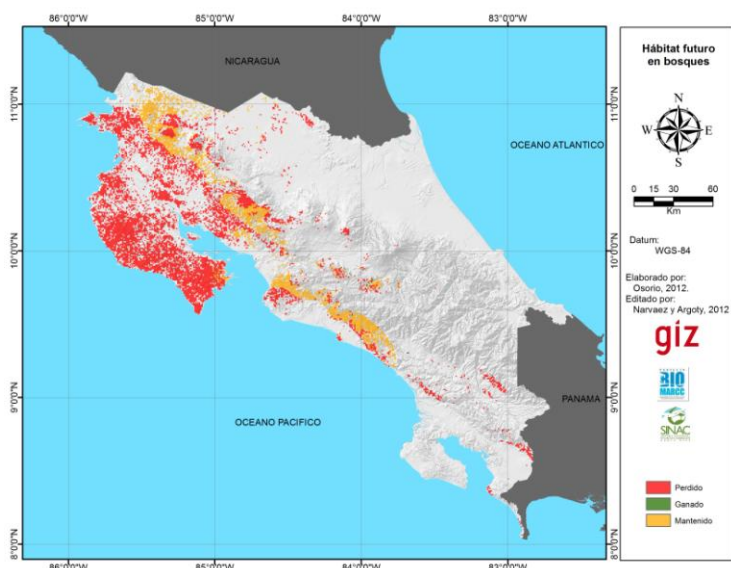
Couratari guianensis. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



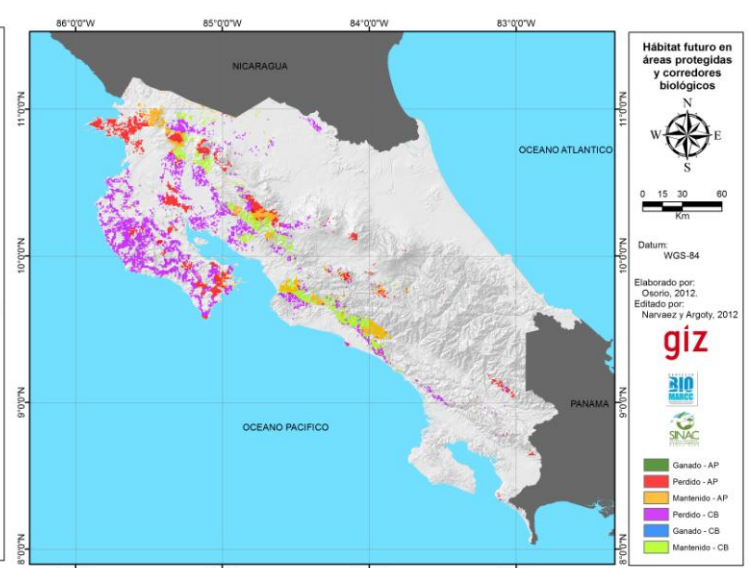
(A)



(B)

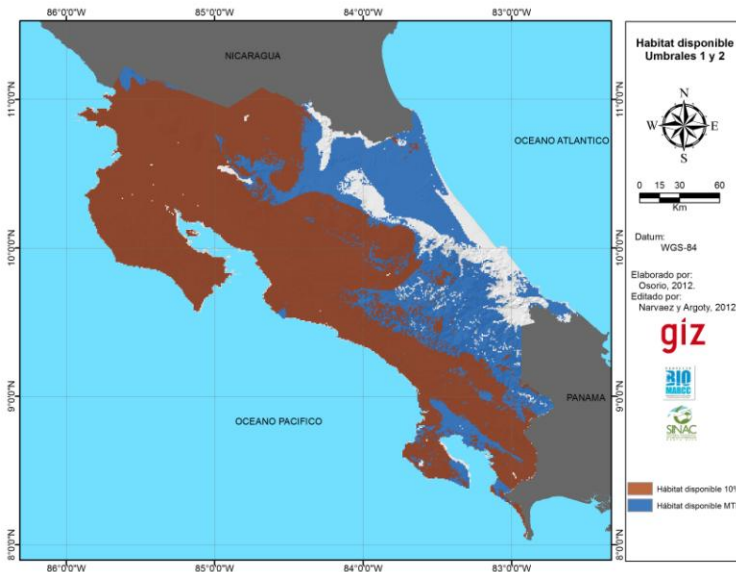


(C)

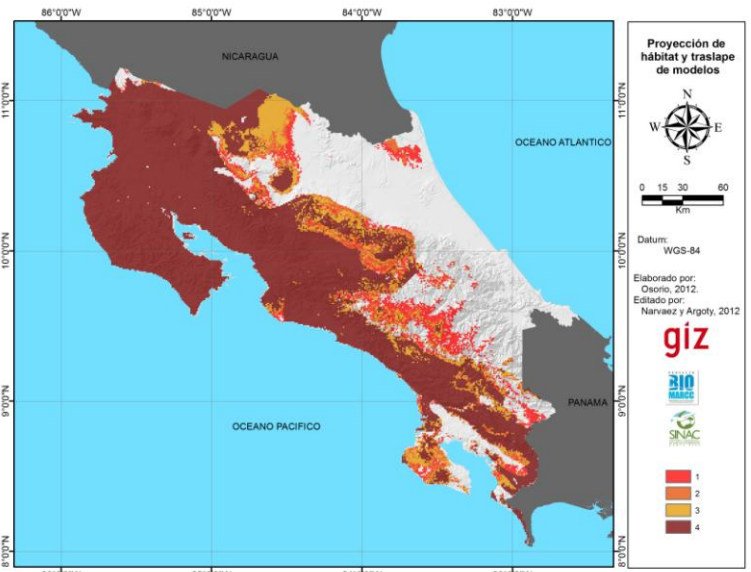


(D)

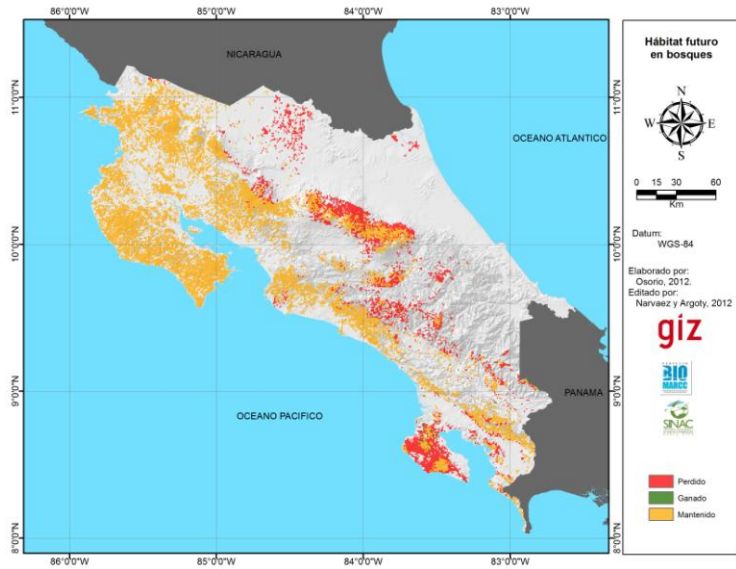
Dalbergia retusa. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



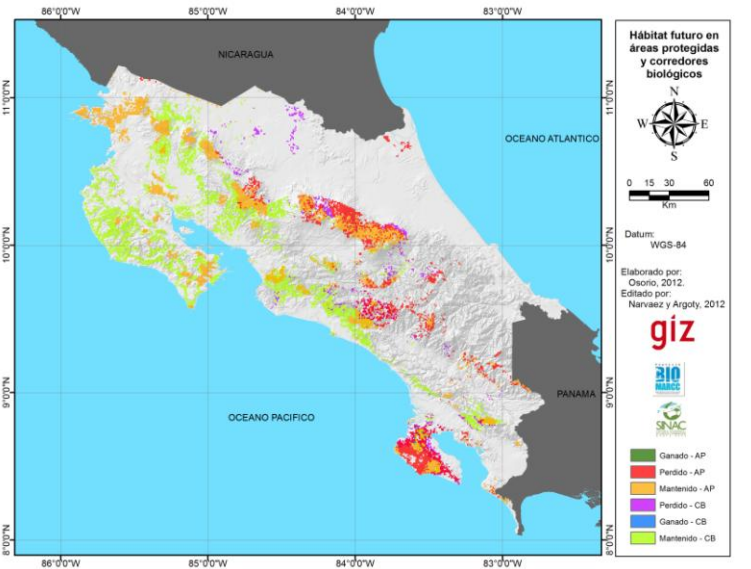
(A)



(B)

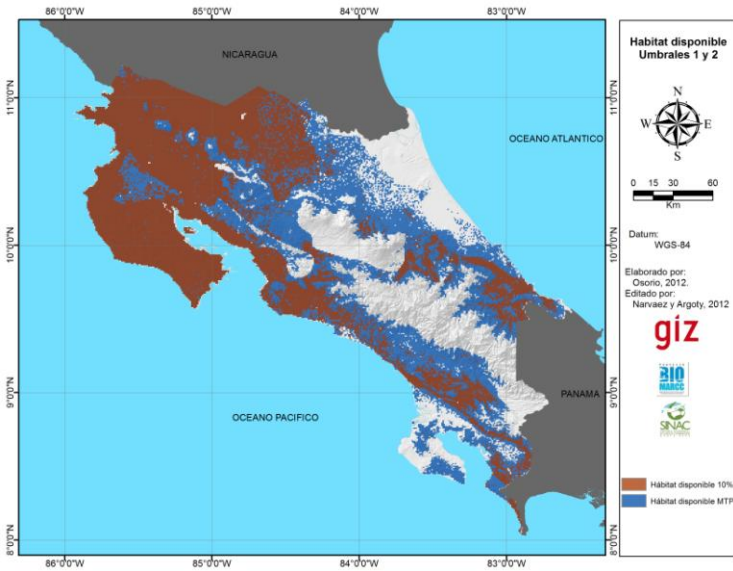


(C)

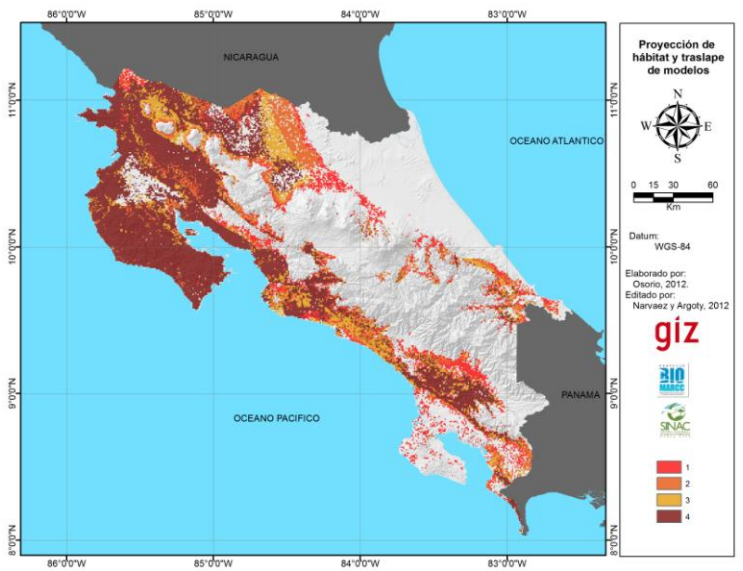


(D)

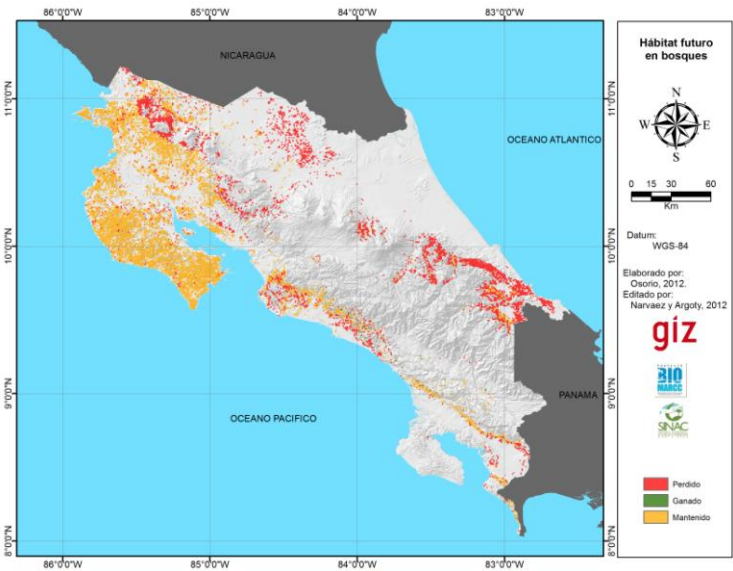
Enterolobium cyclocarpum. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



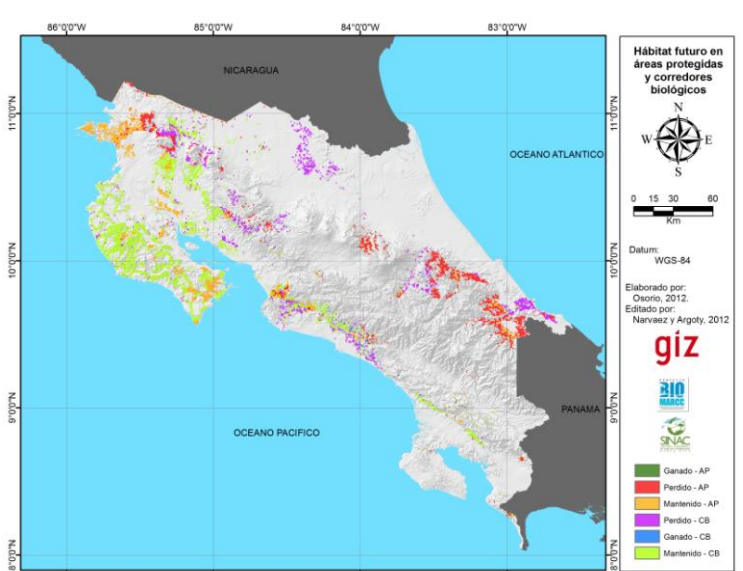
(A)



(B)

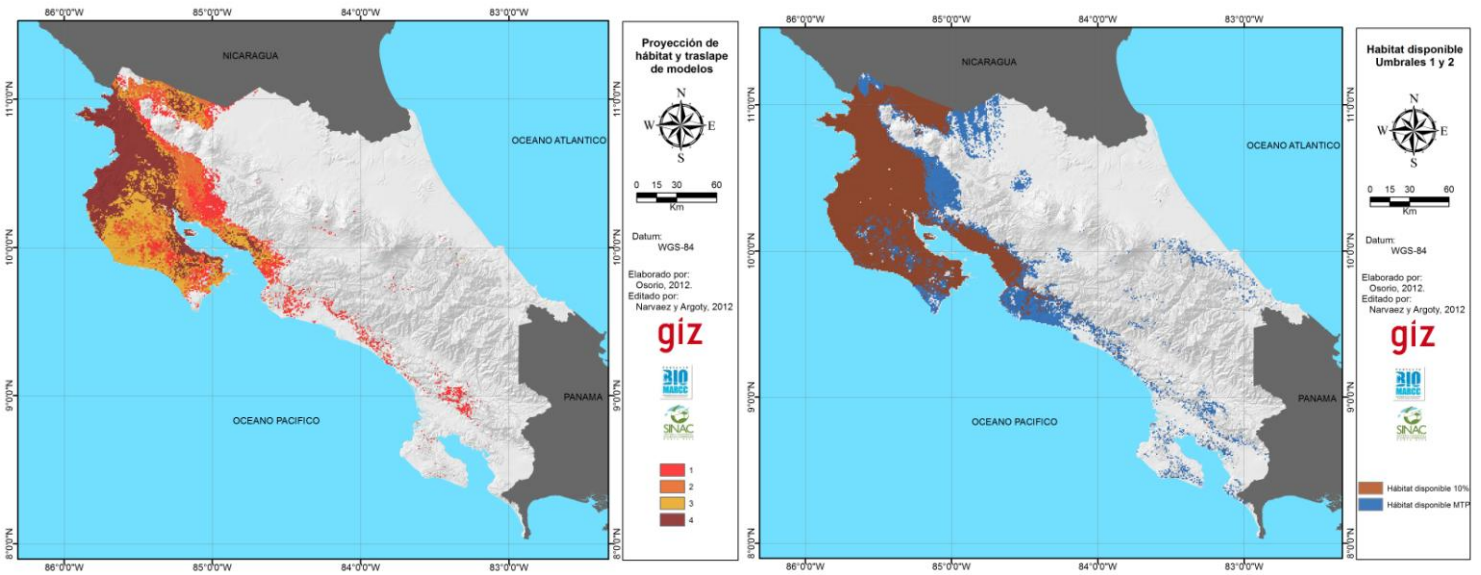


(C)



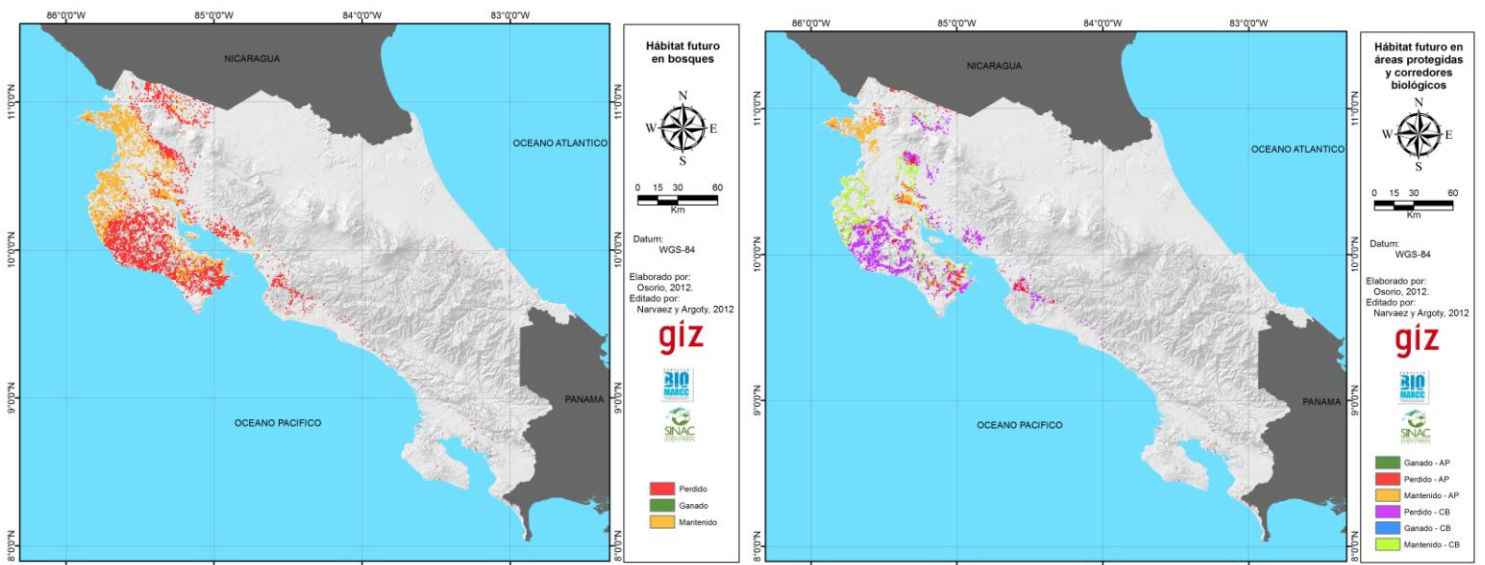
(D)

Garcia nutans. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



(A)

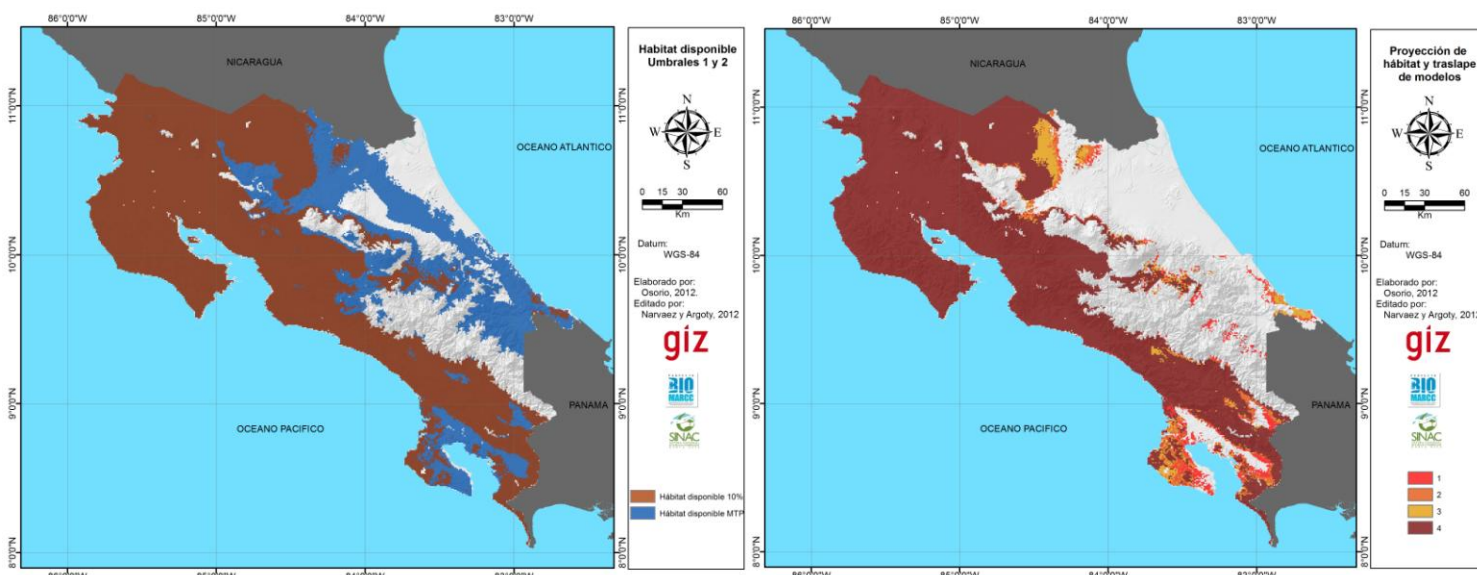
(B)



(C)

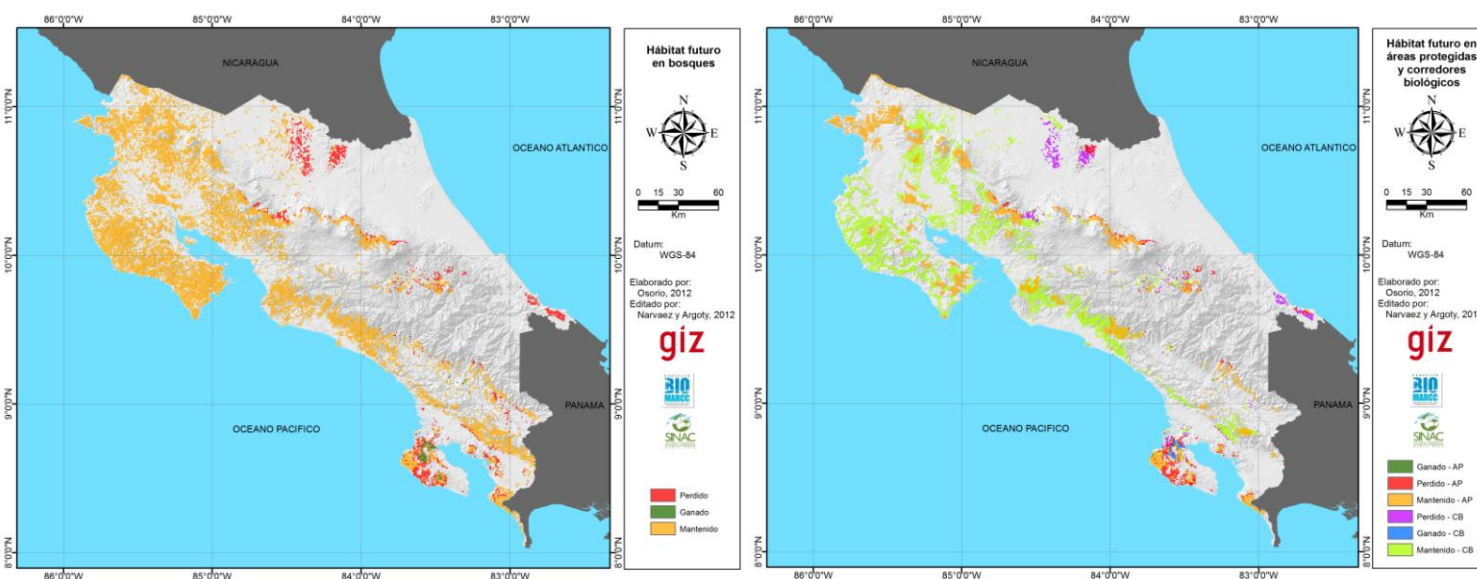
(D)

Guaiacum sanctum. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



(A)

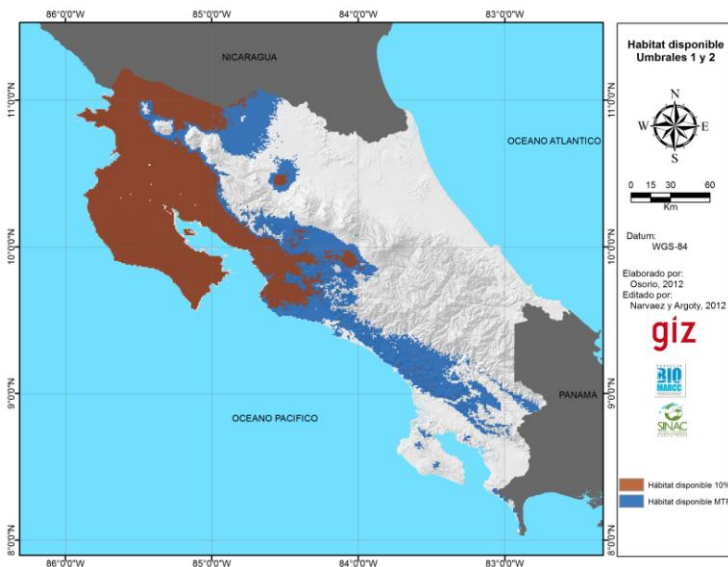
(B)



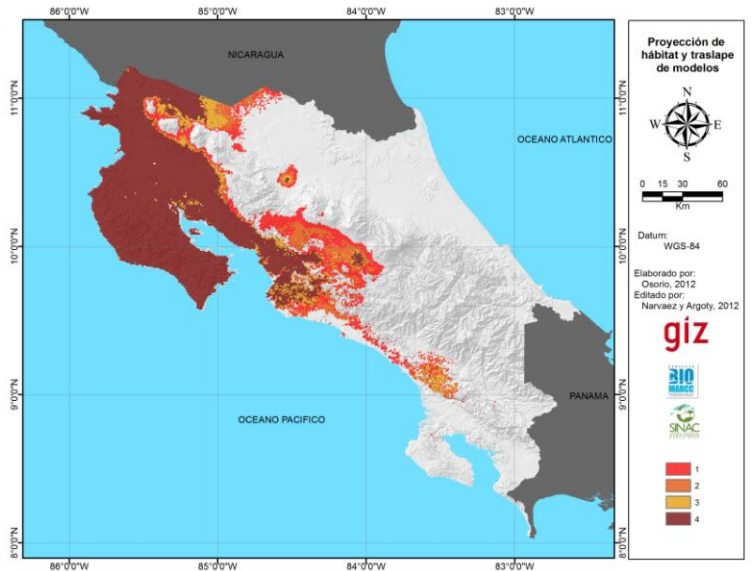
(C)

(D)

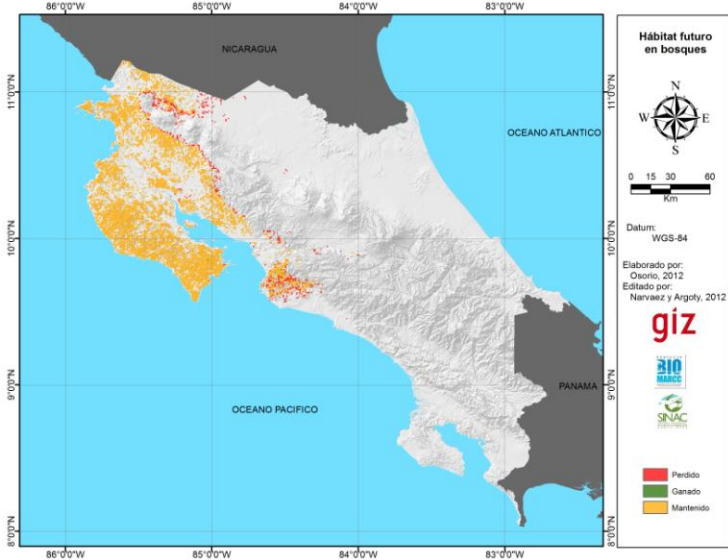
Guazuma ulmifolia. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



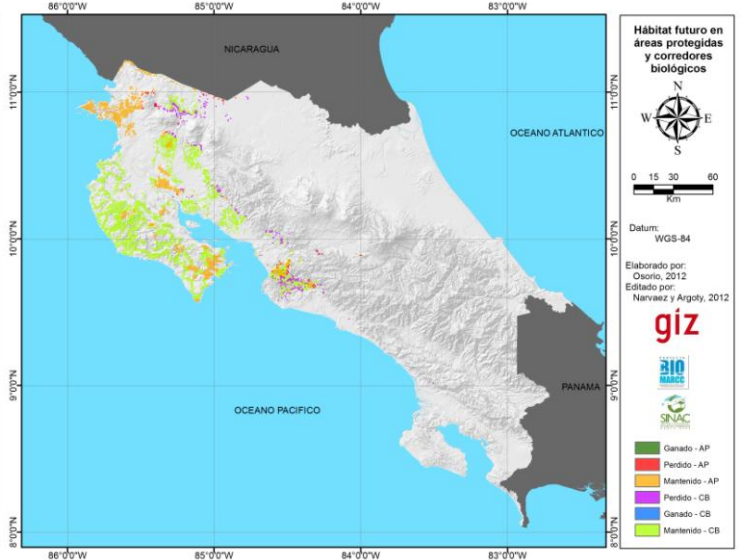
(A)



(B)

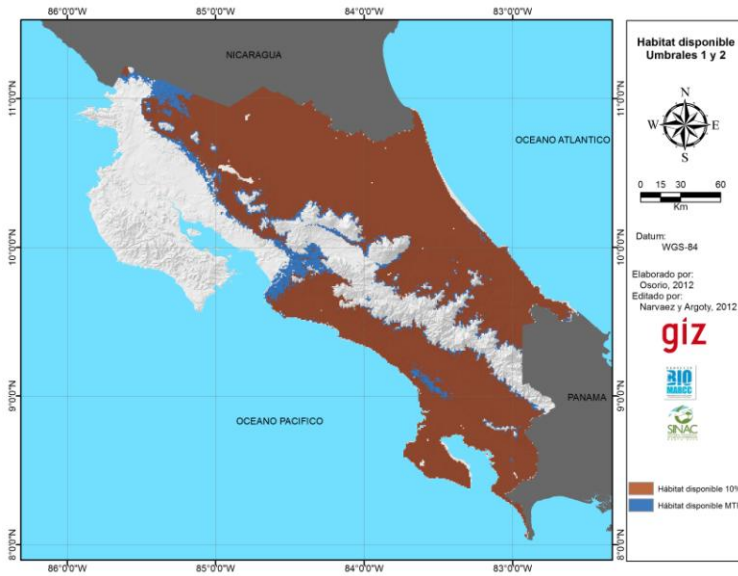


(C)

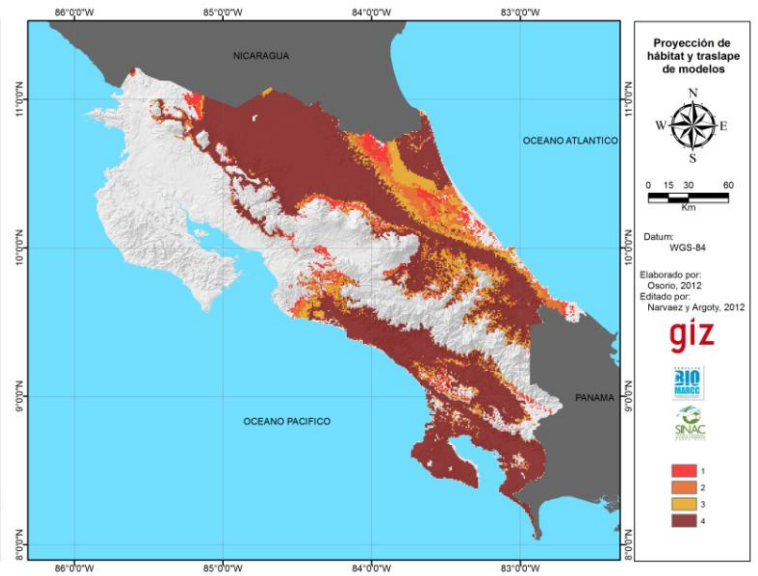


(D)

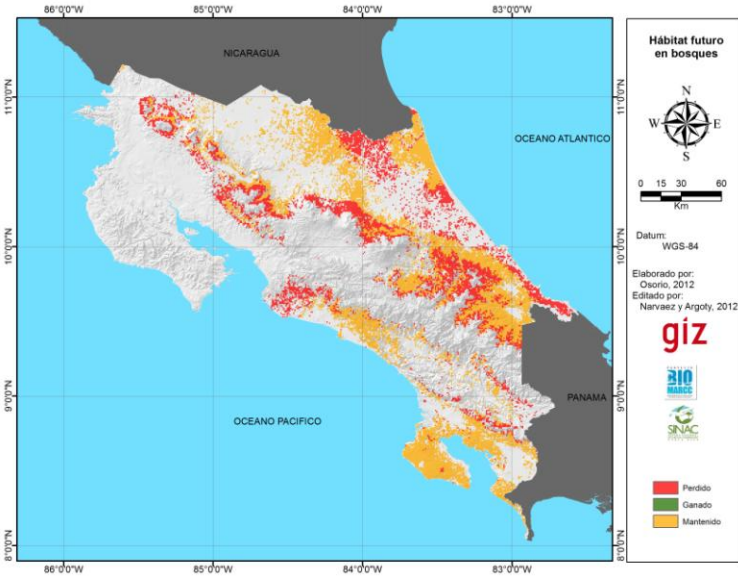
Swietenia humilis. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



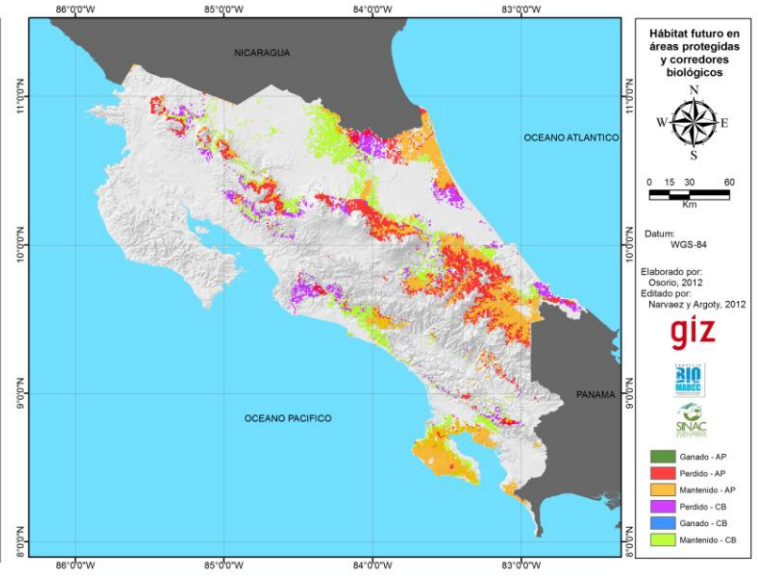
(A)



(B)

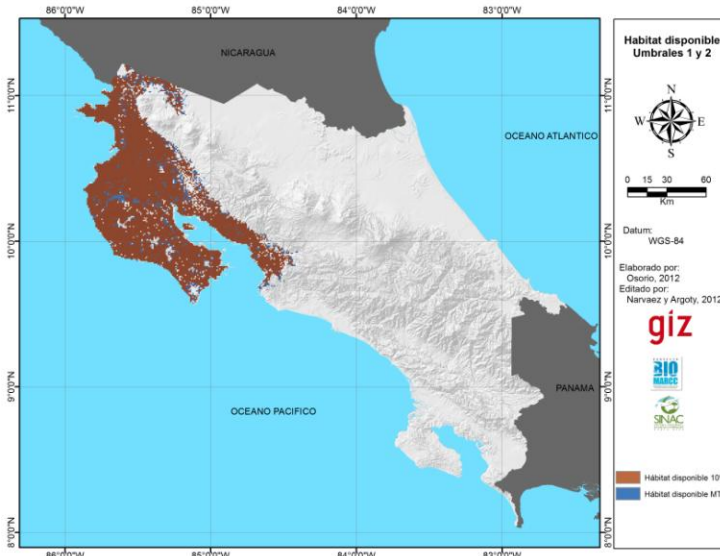


(C)

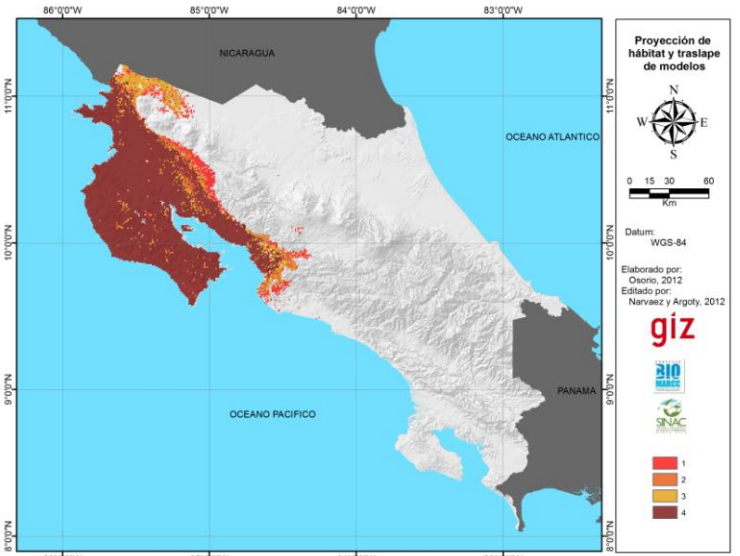


(D)

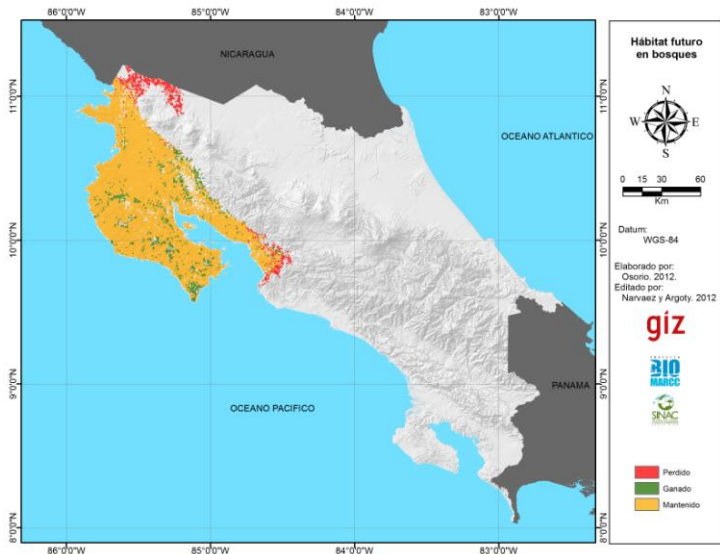
Hyeronima alchorneoides. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



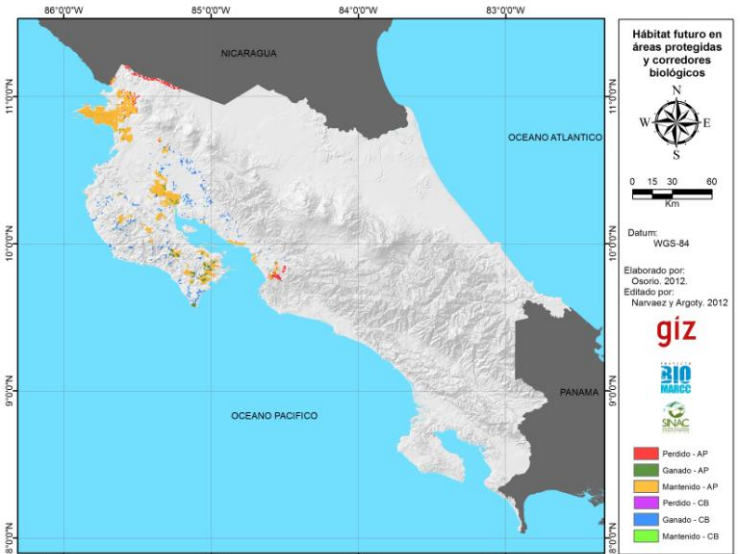
(A)



(B)

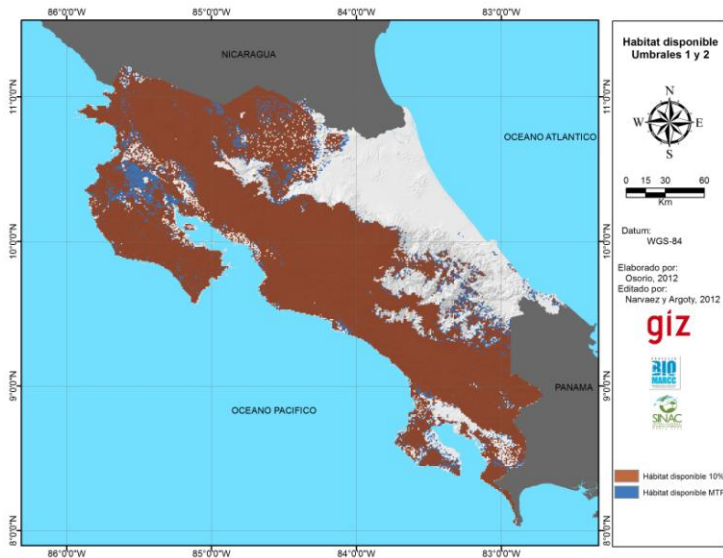


(C)

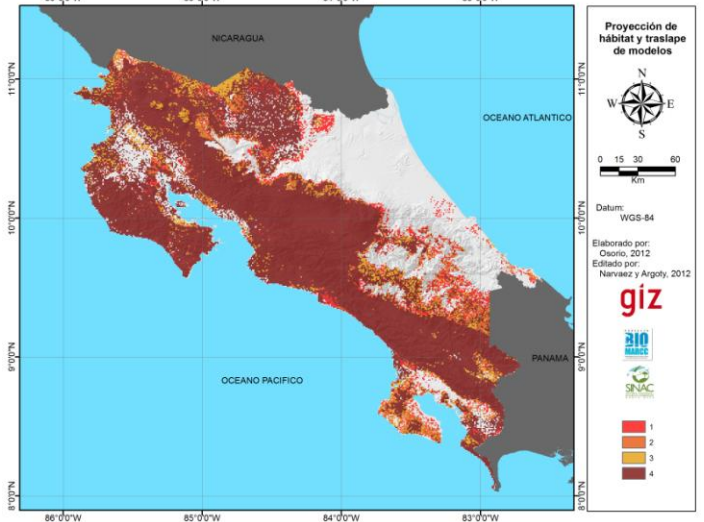


(D)

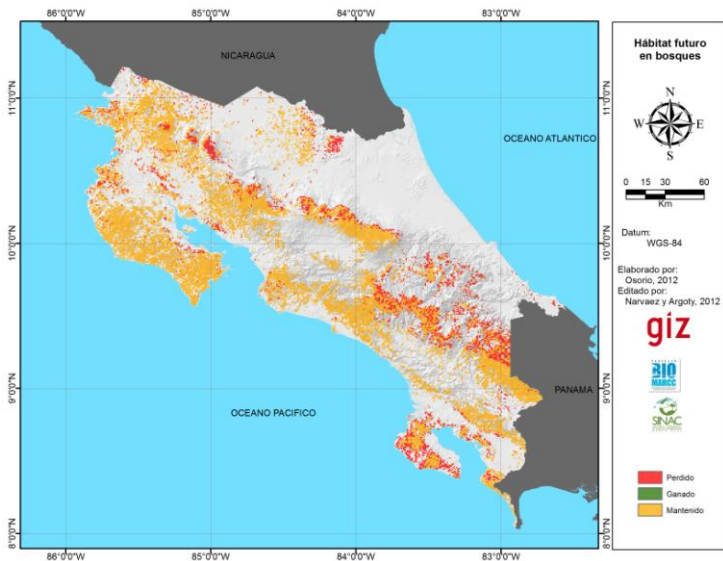
Lonchocarpus phaseolifolius. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



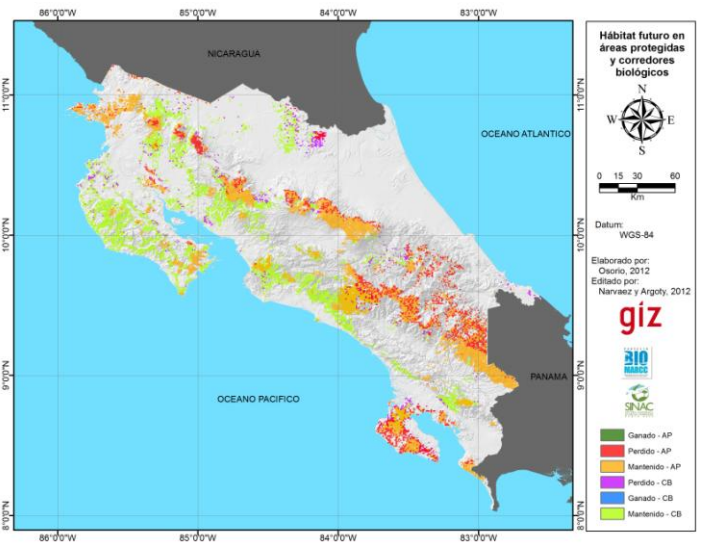
(A)



(B)

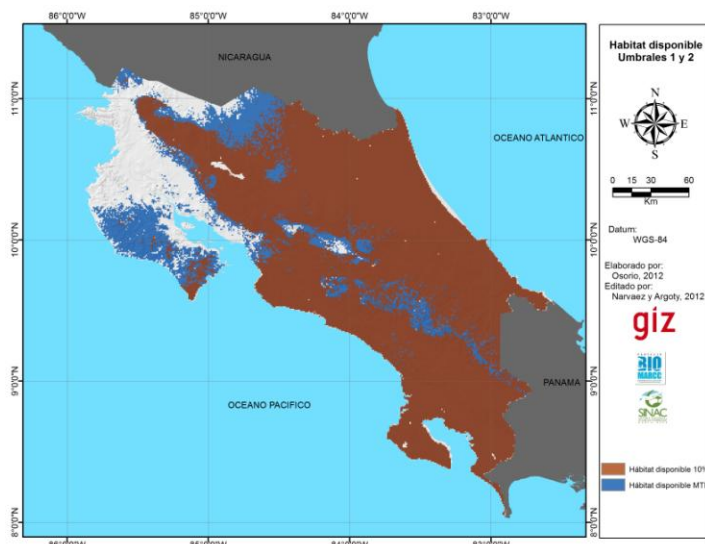


(C)

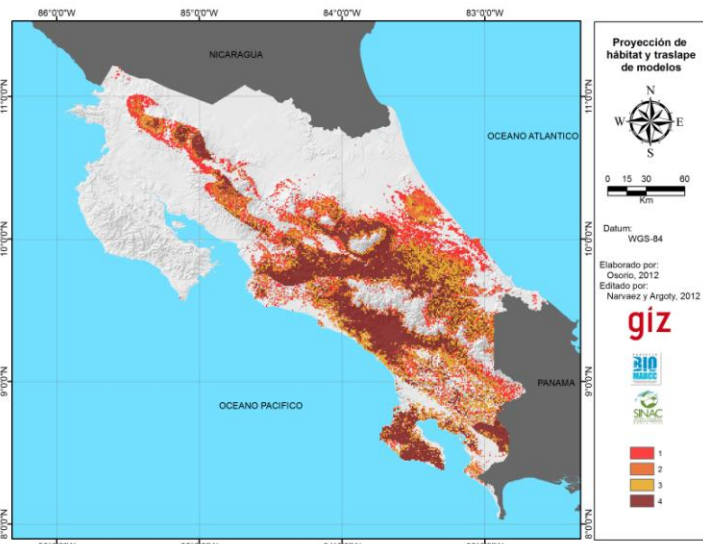


(D)

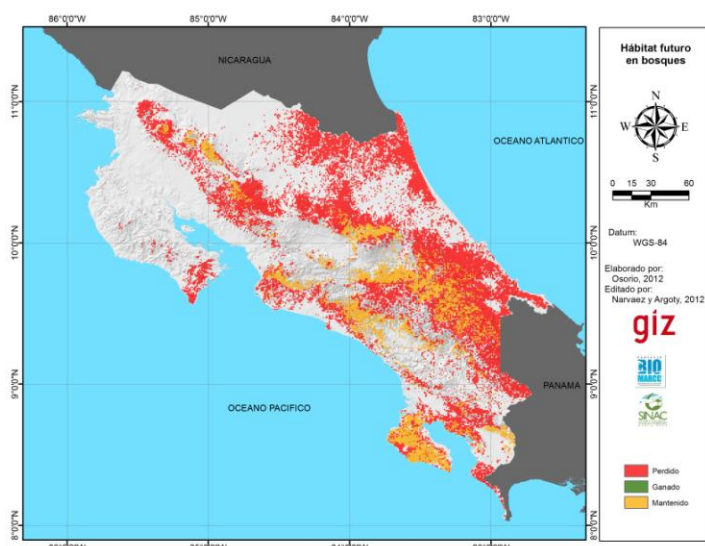
Myroxylon balsamum. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



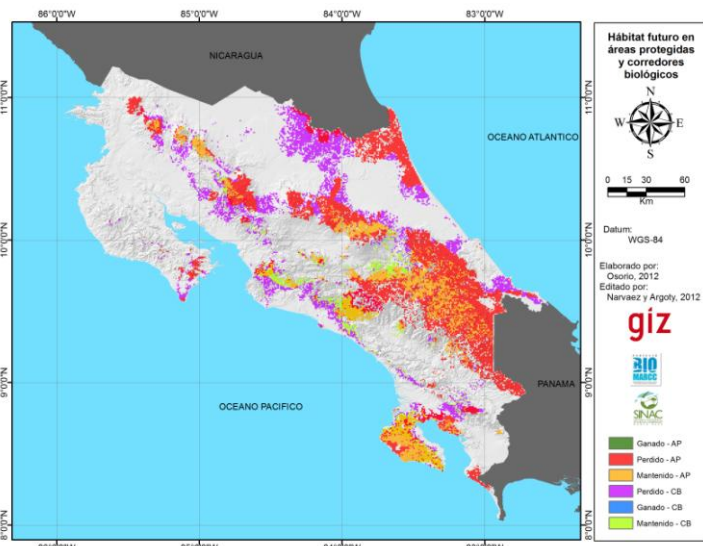
(A)



(B)

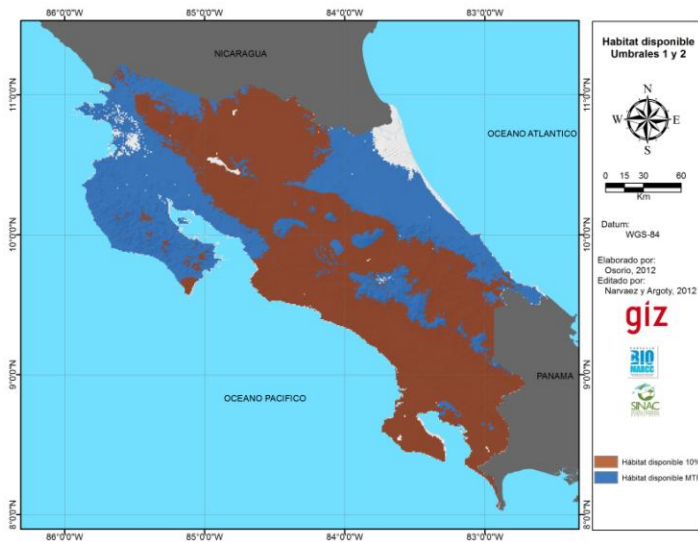


(D)

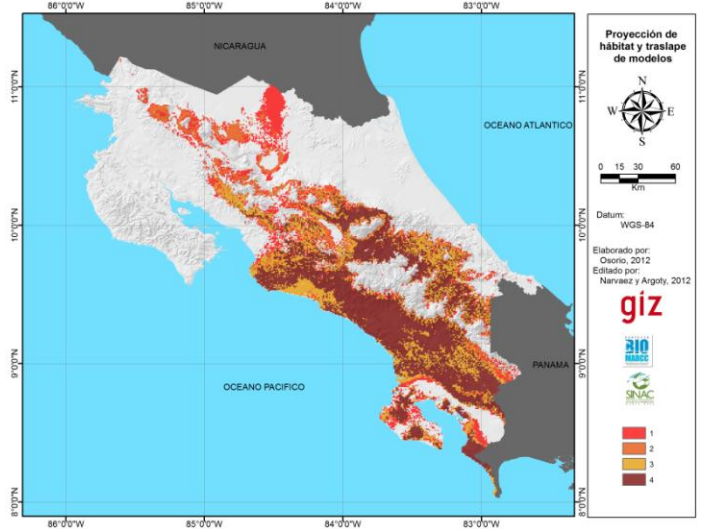


(C)

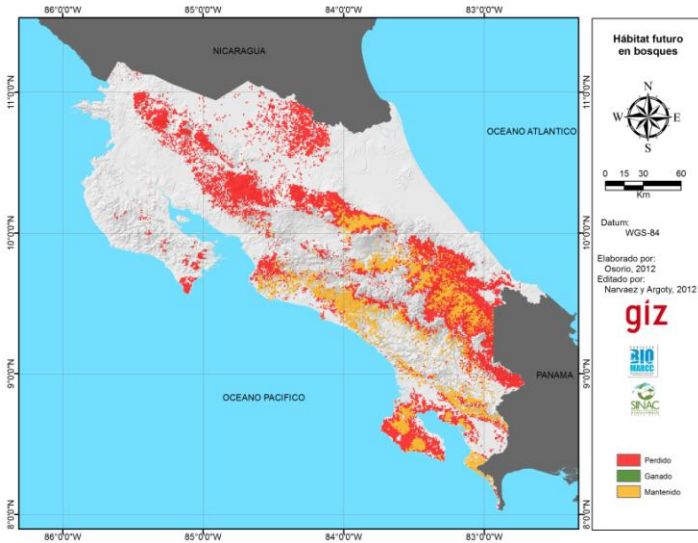
Otoba novogranatensis. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



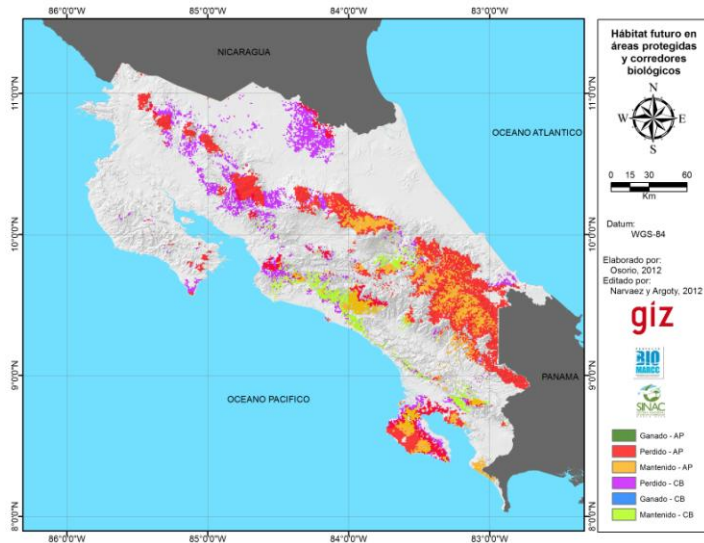
(A)



(B)

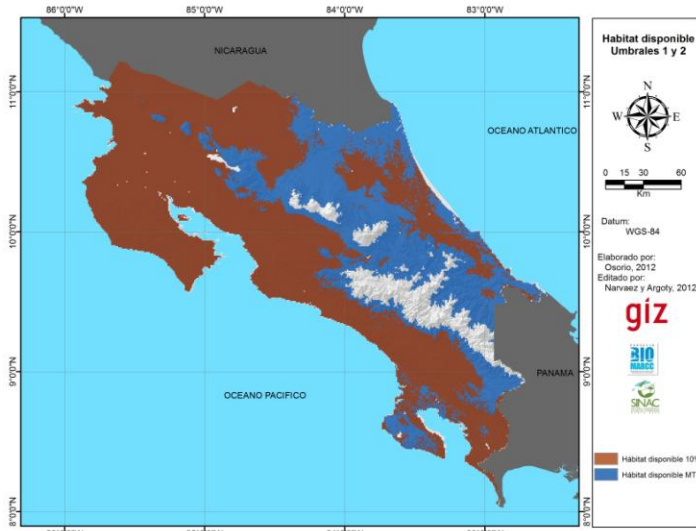


(C)

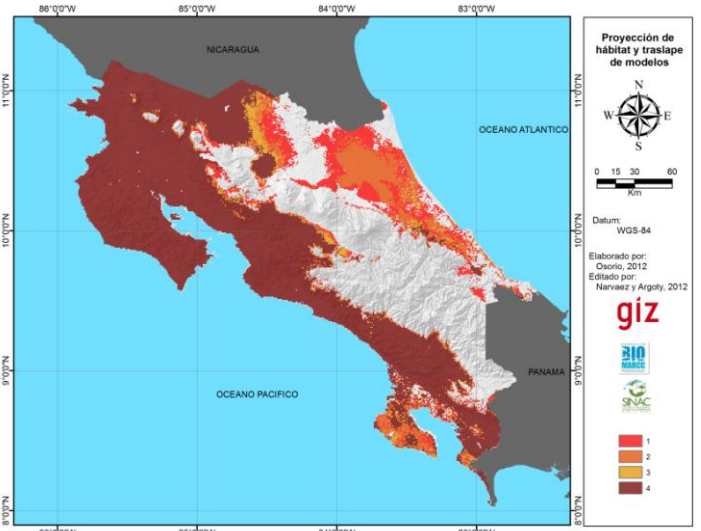


(D)

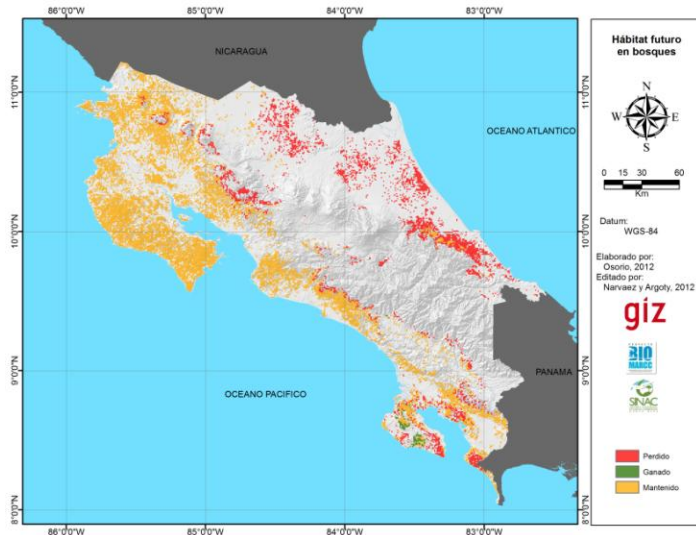
Platymiscium pinnatum. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



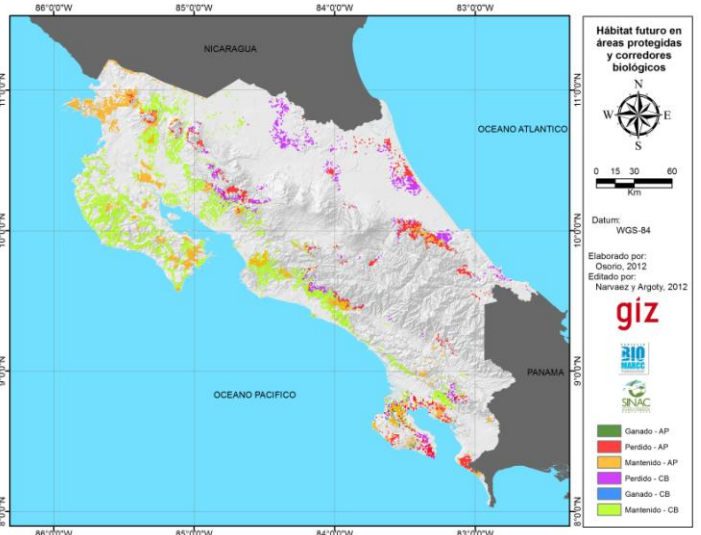
(A)



(B)

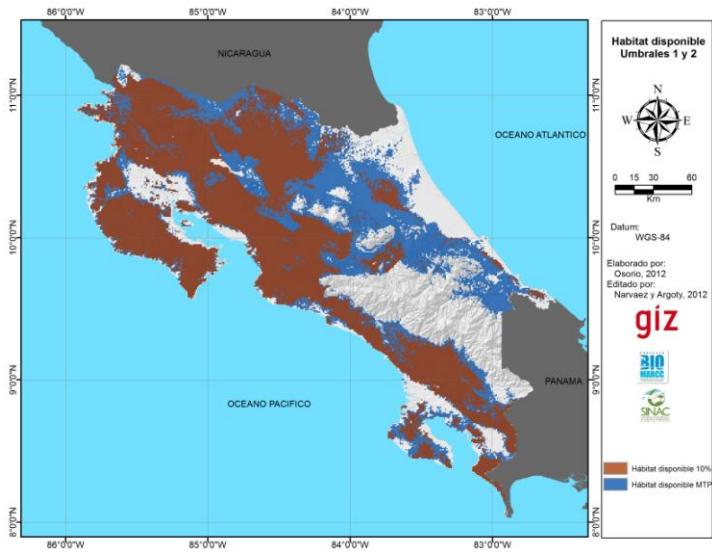


(C)

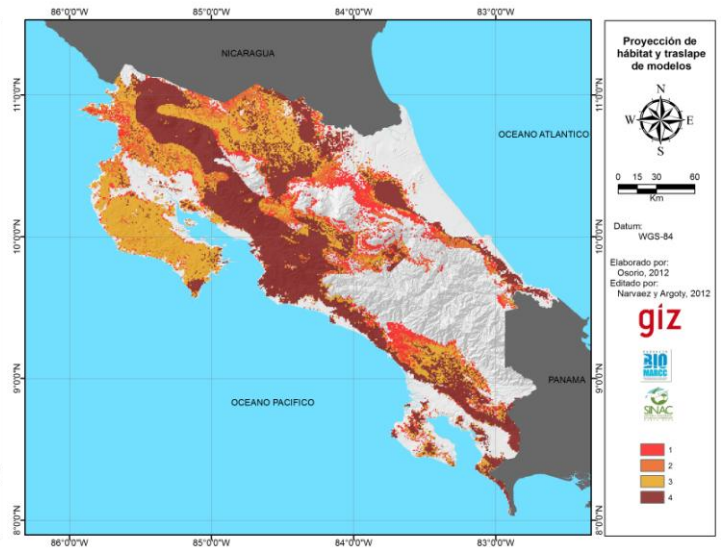


(D)

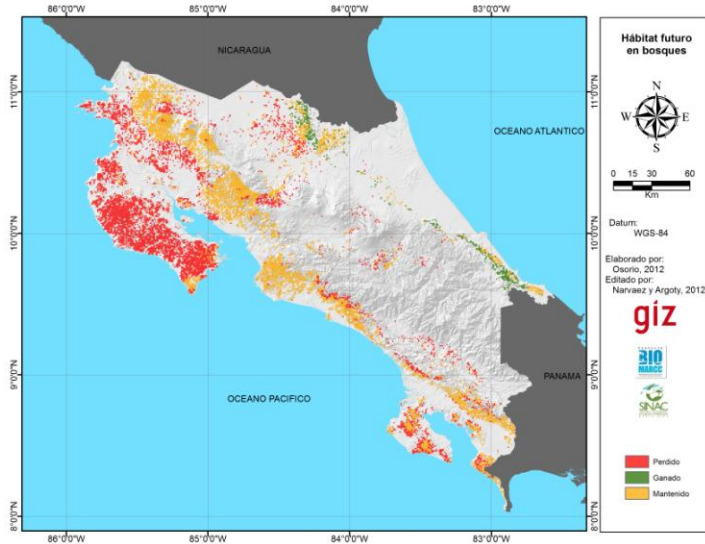
Samanea saman. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



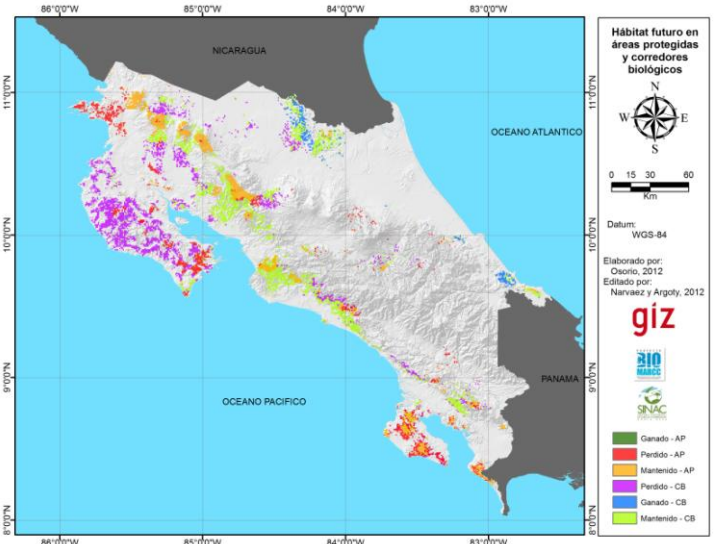
(A)



(B)

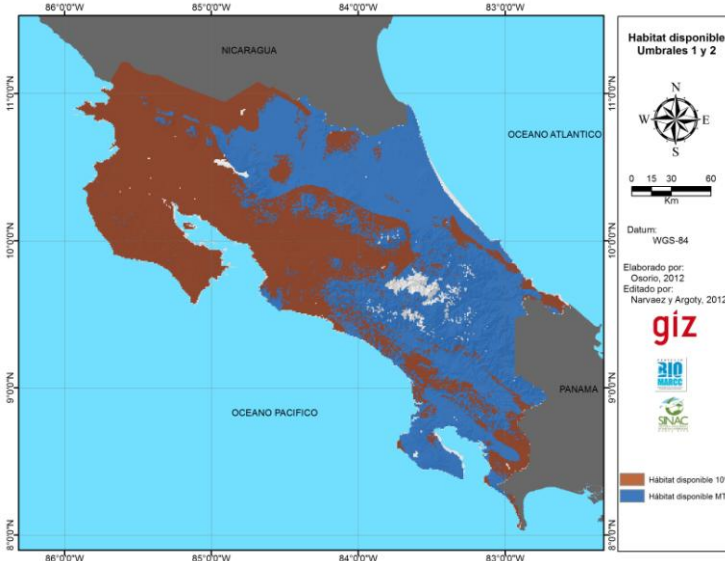


(C)

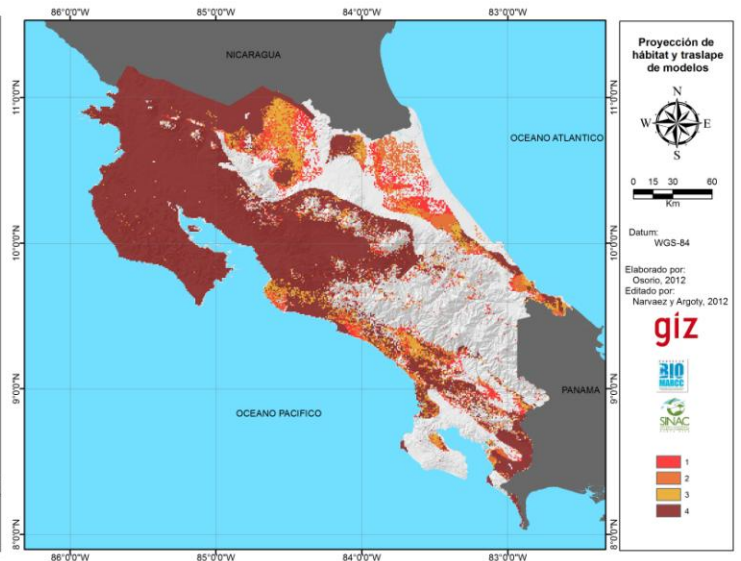


(D)

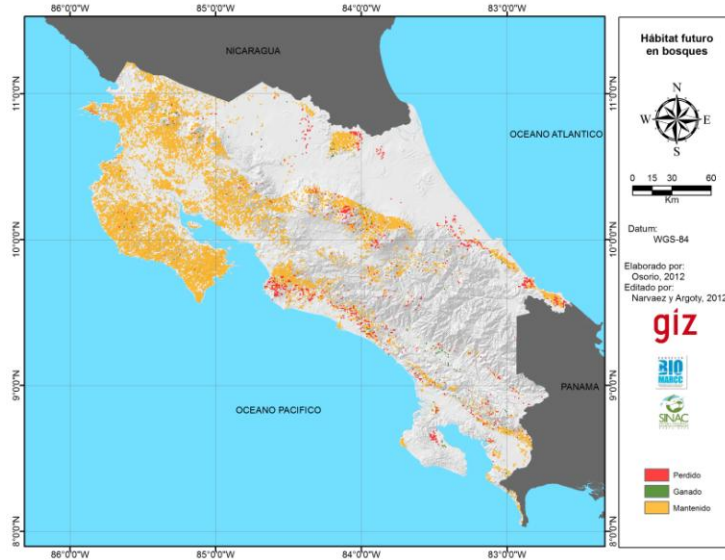
Schizolobium parahyba. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



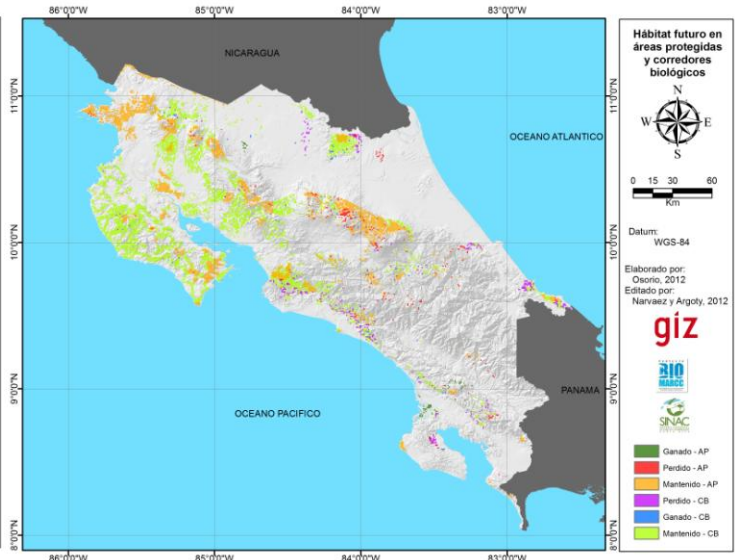
(A)



(B)

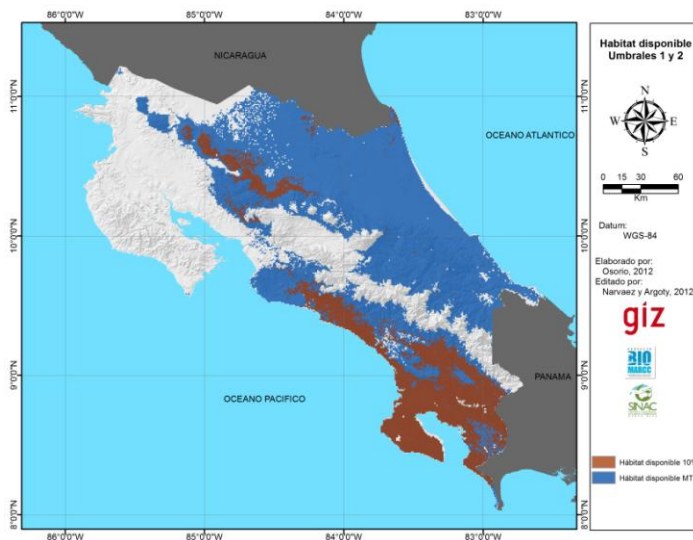


(C)

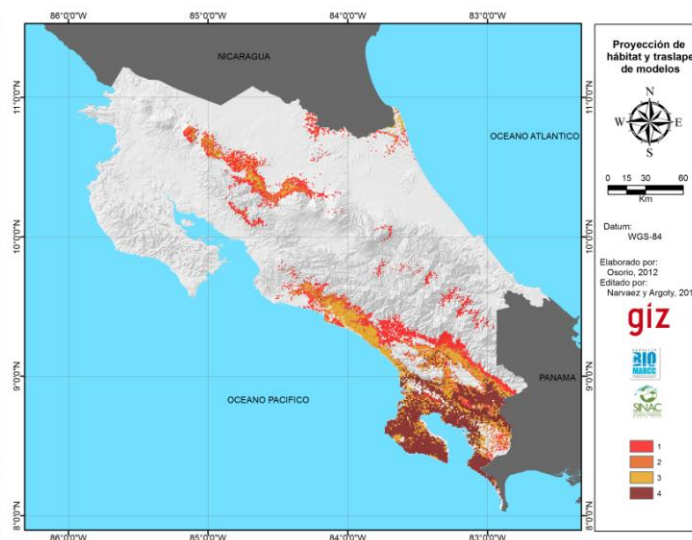


(D)

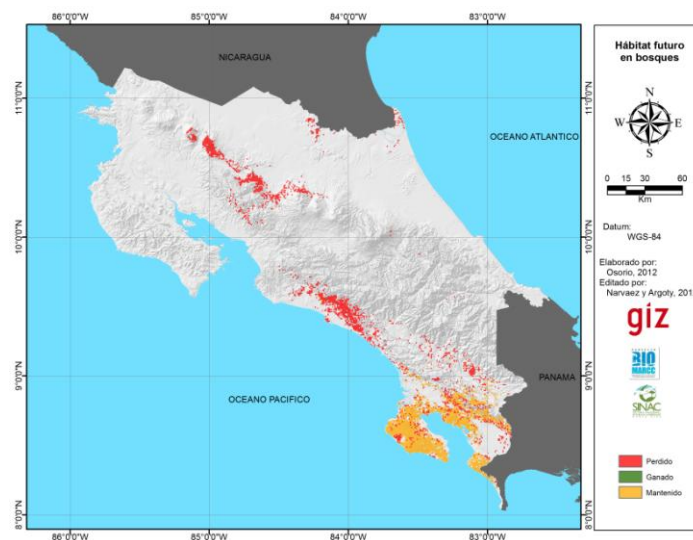
Tabebuia rosea. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



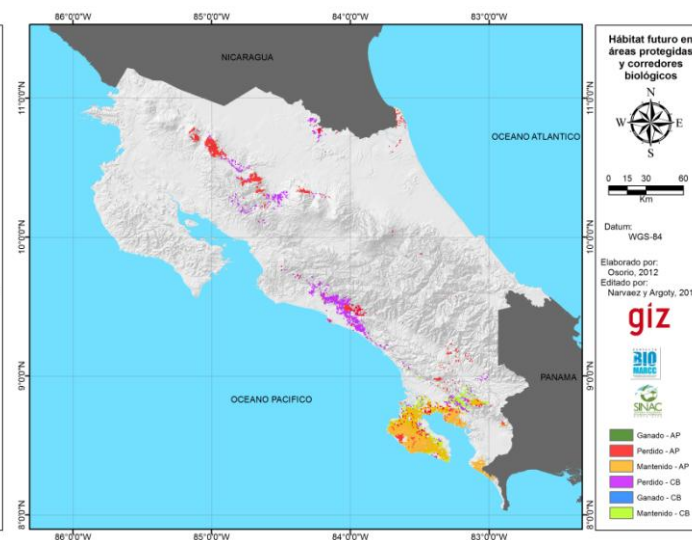
(A)



(B)

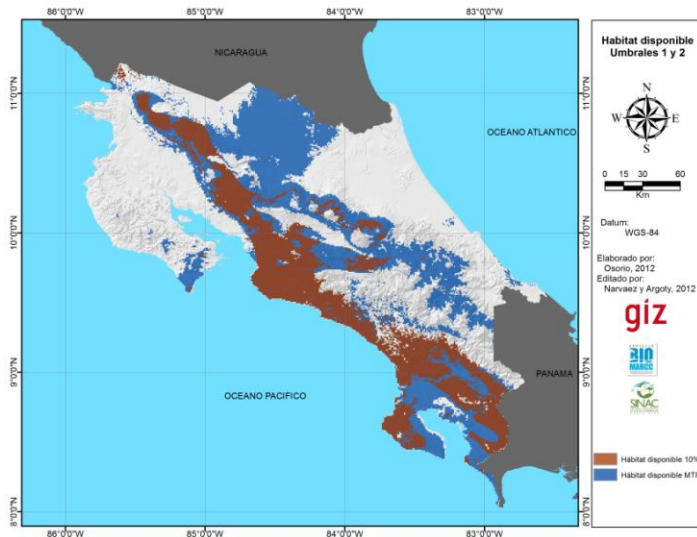


(C)

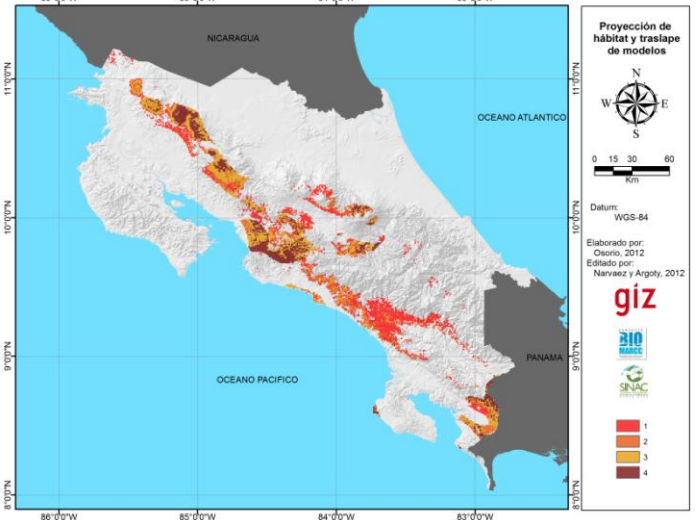


(D)

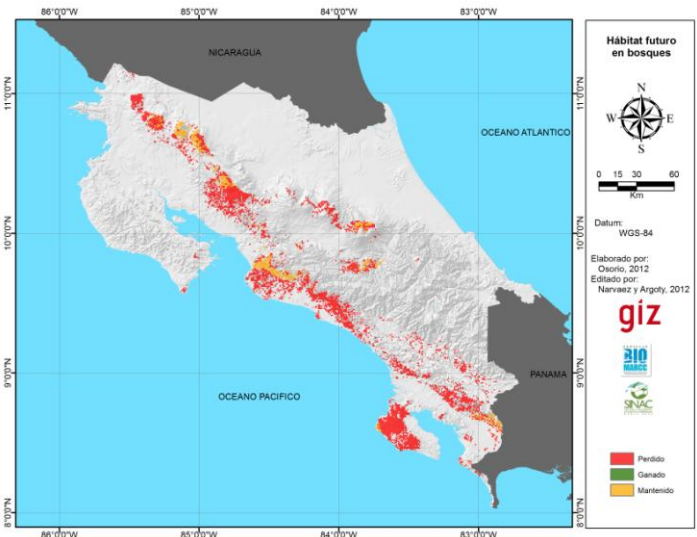
Tetrathylacium macrophyllum. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.



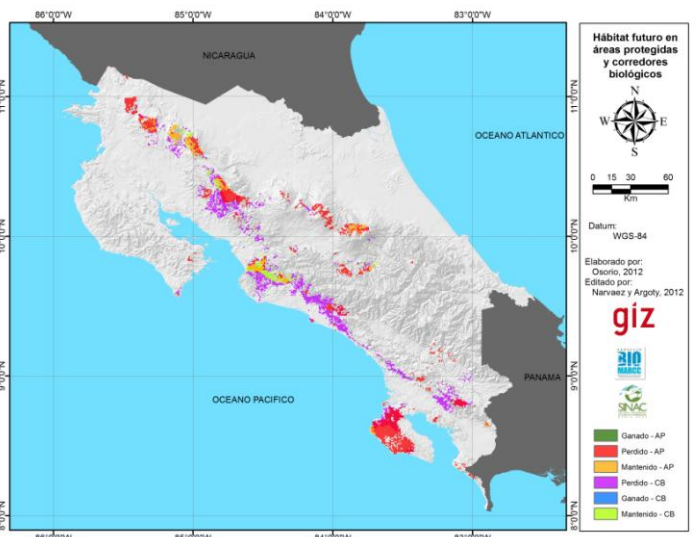
(A)



(B)



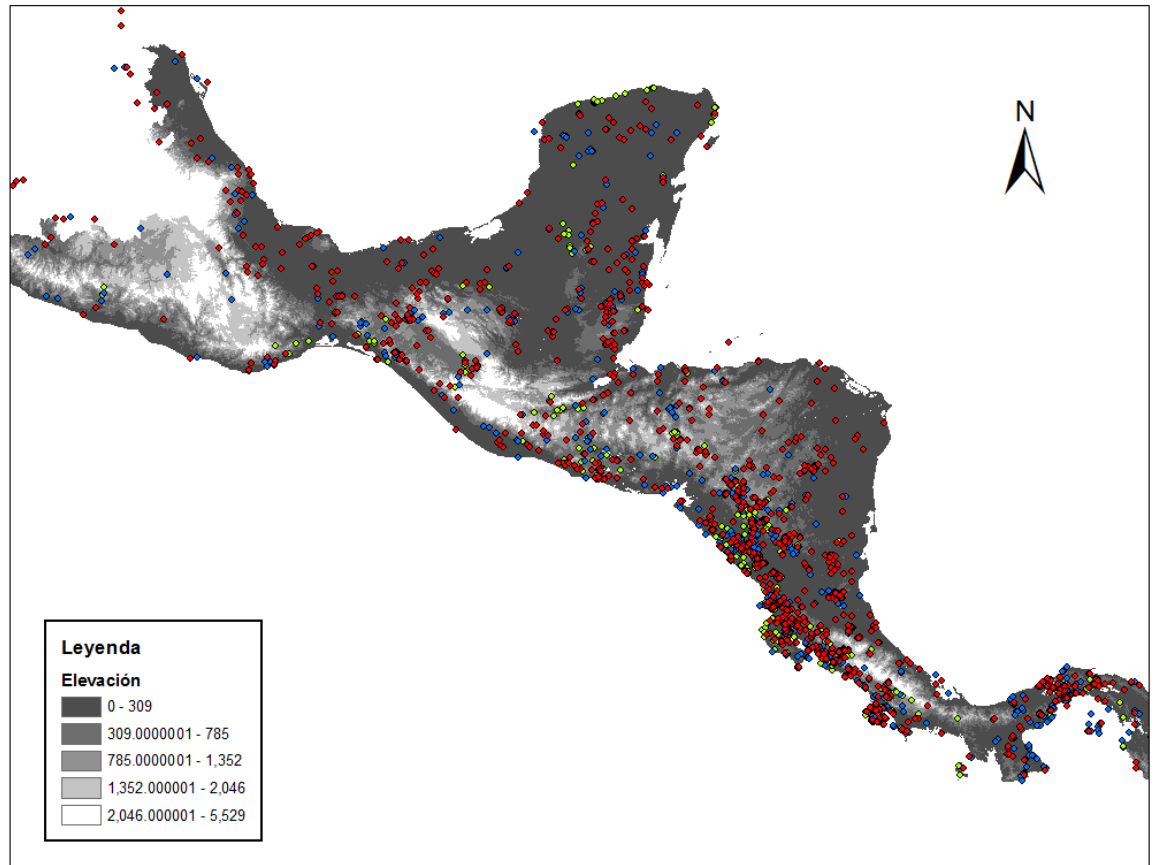
(C)



(D)

Tocoyena pittieri. Hábitat disponible actual con un umbral conservador (MTP) y liberal (10%) (A). Hábitat proyectado y su relación con la cantidad de modelos globales de clima superpuestos (B), donde 1=un modelo y 4=cuatro modelos. Mapas C y D muestran el hábitat proyectado con el traslape de cuatro modelos globales de clima (áreas con más certeza) en bosque y en áreas conservadas, respectivamente; nótese los espacios con ganancia parcial, pérdida y donde la especie se mantiene a futuro.

Anexo 6 Registros de las especies arbóreas seleccionadas a nivel de Mesoamérica



Distribución espacial de los registros de las especies por categoría según la elevación a nivel de Mesoamérica: valor de conservación (puntos azules); valor de importancia (puntos verdes); valor maderable (puntos rojos).

Anexo 7 Formato de entrevista sobre la percepción de las familias respecto a los servicios ecosistémicos provenientes de los árboles en un escenario de cambio climático

PROTOCOLO

Saludo y presentación personal

Consideraciones:

Anonimato, confidencialidad, consentimiento y voluntariedad

Explicación del porqué y para qué será la información obtenida de la entrevista

Informar y pedir la aceptación para activar una grabadora digital de voz para registrar la conversación.

FORMACIÓN GENERAL

1.- Género: Hombre () Mujer ()

2.- Edad: _____

3.- Rol familiar: _____

4.- N° integrantes por familia: _____

5.- Nivel educacional (del entrevistado):

No estudió () Primaria incompleta () Primaria completa () Secundaria incompleta ()

Secundaria completa () Bachillerato () Universidad ()

MEDIOS DE VIDA

6.- ¿A qué se dedica?

Agricultura () _____

Ganadería () _____

Comercio () _____

Jornalero () _____

Forestería () _____

Otro () _____

7.- El terreno donde vive es:

Propio () Alquilado () Prestado () No especifica ()

8.- Enumere la cantidad de fincas que tiene, el área y tipo de vegetación de cada una

N° Finca	Área (ha)	Tipo de vegetación
		() Plantación () Plantación-potrero () Potrero () Árboles-potrero () Bosque natural
		() Plantación () Plantación-potrero () Potrero () Árboles-potrero () Bosque natural

9.- ¿Recibe o ha recibido pago por servicios ambientales-PSA por su bosque? (por conservación o por manejo?

¿Cuánta área aproximadamente?

Si () _____ No ()

IMPORTANCIA DE LOS ARBOLES EN LOS MEDIOS DE VIDA

10.- Para usted ¿cuál es la importancia de los árboles?

11.- ¿Qué árboles utiliza y qué beneficios obtiene de ellos?

Árbol	Beneficios								
	Construcción	Construcción-Ebanistería	Embalaje	Ebanistería	Construcción-Embalaje	LLeña	Sombra ganado	Troza caída	Otros
MANGLILLO									
NAZARENO									
CRISTÓBAL									
CAOBILLA									
SÁNDALO									

12.- De las especies anteriores ¿cuál es la importancia que usted le da?

_____ Nada () Poco () Regular () Mucho () Demasiado ()
 _____ Nada () Poco () Regular () Mucho () Demasiado ()
 _____ Nada () Poco () Regular () Mucho () Demasiado ()

CAMBIO CLIMÁTICO PERCIBIDO SOBRE LOS ARBOLES

13.- En los últimos cinco años ¿Usted siente que el clima ha cambiado? ¿De qué forma?

Sí () _____
 No () _____

14.- ¿Desde cuándo usted percibe el cambio climático?

Desde 5 a 10 años () Hace más de 10 años () Desde 15 a 20 años () Hace más de 20 años ()

15.- De los siguientes fenómenos naturales ¿cuál (es) usted considera que tiene más consecuencia? ¿Por qué?

() Tormentas _____
 () Sequías _____
 () Inundaciones _____
 () El Fenómeno El Niño _____
 () Otros _____

16.- ¿Considera que el cambio climático es bueno o malo? ¿Por qué?

() Bueno _____
 () Malo _____

17.- ¿De qué forma afectan estos cambios a los árboles? ¿Qué ha notado usted?

No les afecta ()
 Mayor pérdida de hojas ()
 Crecen más lento ()
 Diámetro más delgado ()
 Menos individuos ()
 Más enfermedades ()
 Más plagas ()
 Más o menos frutos y flores ()