

DISTRIBUCION BIOGEOGRAFICA DE SEIS ESPECIES DE FRUTALES NATIVOS EN LA REGION LORETO, PERU. UNA APROXIMACION AL 2020 MEDIANTE MODELAMIENTO Y SIMULACION USANDO DIVA-GIS

José SANJURJO-VÍLCHEZ¹, Manuel SOUDRE-ZAMBRANO², León BENDAYAN¹

- 1 Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Programa de Investigación en Información para la Biodiversidad; Av. Quiñones km 2.5, San Juan Bautista, Maynas, Loreto, Perú. E-mail: jsanjurjo@iiap.org.pe
- 2 Reforestadora Amazónica S.A. (RAMSA). Calle Bolognesi n° 191, Urb. Country Club, San Isidro, Lima. Email: manuel.soudre@ramsa.pe

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue generar mapas de distribución biogeográfica potencial de seis especies de frutales nativos: *Garcinia macrophylla* Mart. (charichuelo liso), *Garcinia madruno* (charichuelo rugoso), *Oenocarpus bataua* Mart (ungurahui), *Plinia clausa* (anihuayo), *Spondias mombin* L. (ubos), *Theobroma subincanum* Mart. (cacahuillo) de la Región Loreto, utilizando 888 registros georeferenciados y ensayando cuatro escenarios climáticos: actual; actual con variables físicas (fisiografía, geología y geomorfología); futuro al año 2020 y futuro con variables físicas. Las variables climáticas actuales corresponden al *WorldClim Global Climate* y las futuras al modelo CCM3. Los registros biológicos proceden de bosques de terrazas bajas de los ríos Tigre, Huallaga, Pastaza, Nanay, Amazonas, Napo, Marañón y Ucayali; y áreas intervenidas en la carretera Iquitos-Nauta. Sobre esta última área, el modelo de distribución espacial exhibe la mayor concentración de registros colectados (33.78 %). Las áreas potenciales, obtenidas por modelamiento y simulación en un escenario climático actual, se reducen hasta en un 54.77 % (*Oenocarpus bataua*) en un escenario futuro. *Garcinia madruno* experimenta un aumento de 17.84 %. Al incluir las variables físicas; en el clima actual subsiste la reducción de áreas; *Oenocarpus bataua* alcanza la mayor pérdida (22.65 %). En el futuro tres especies (*Garcinia macrophylla*, *Plinia clausa* y *Theobroma subincanum*) experimentan aumentos hasta del 8.85 %; *Garcinia madruno*, *Oenocarpus bataua* y *Spondias mombin* soportan pérdidas hasta del 11.96 %. La clasificación de las áreas potenciales confirma los efectos positivos del cambio climático para *Garcinia madruno* y los efectos negativos sobre las restantes.

PALABRAS CLAVE: Modelamiento, simulación, DIVA-GIS, SIG, frutales nativos, Amazonía peruana.

BIOGEOGRAPHIC DISTRIBUTION OF SIX NATIVE FRUIT SPECIES IN LORETO, PERU. A MODELING AND SIMULATION APPROACH TO 2020 USING DIVA-GIS

ABSTRACT

The purpose this study was to generate maps of biogeographic distribution potential in Loreto region, of six native fruit species: *Garcinia macrophylla* Mart. (charichuelo liso), *Garcinia madruno* (charichuelo rugoso), *Oenocarpus bataua* Mart (ungurahui), *Plinia clausa* (anihuayo), *Spondias mombin* L. (ubos), *Theobroma subincanum* Mart. (cacahuillo), using 888 georeferenced records and testing four climatic scenarios: present, present with physical variables (physiography, geology and geomorphology); future to 2020 and future with physical variables. Current climatic variables correspond to *WorldClim Global Climate* and future variables to CCM3 model. The biological registers are from lowland forests of rivers such as Tigre, Huallaga, Pastaza, Nanay, Amazonas, Napo, Marañón and Ucayali; and disturbed along the Iquitos-Nauta road. On this last area, the spatial distribution model shows the highest concentration of collected records (33.78 %). Potential areas, obtained by modeling and simulation in a present climatic scenario are reduced by up to 54.77 % (*Oenocarpus bataua*) in a future scenario. *Garcinia madruno* tolerate increased 17.84 %. By including the physical variables into the current climatic conditions, the reduction of areas is observed; *Oenocarpus bataua* reaches the greatest loss (22.65 %). In the future scenario three species (*Garcinia macrophylla*, *Plinia clausa* y *Theobroma subincanum*) experience increases up 8.85 %; *Garcinia madruno*, *Oenocarpus bataua* y *Spondias mombin* bear losses up 11.96 %. The classification of potential areas confirms the positive effects of climate change on *Garcinia madruno* and negative effects on the remaining.

KEYWORDS: Modeling, simulation, DIVA-GIS, GIS, native fruit, Peruvian Amazon.

INTRODUCCIÓN

Cada especie ocupa una distribución geográfica única sobre nuestro planeta, y que es el lugar donde los miembros de varias poblaciones viven, se alimentan y reproducen. Algunas especies tienen una amplia distribución geográfica que se extiende por varios continentes, en tanto que otras especies pueden tener una distribución geográfica restringida a una pequeña área en un solo continente (Pidwirny, 2006). Reconocer la gran diversidad de especies distribuidas en la Amazonía, requeriría de numerosos inventarios y muestreos para cubrir el mayor espacio posible de los 75 millones de hectáreas que constituyen este territorio; no obstante, llevar a cabo esta tarea es económicamente imposible. Sin embargo, mediante el modelamiento y la simulación es posible generar aproximaciones que permiten analizar e interpretar el comportamiento de las especies y entender la complejidad de las interacciones entre ellas; proporcionando las bases para el diseño de experimentos y muestreos más precisos, eficientes y de mucho menor costo.

La heterogeneidad de los ecosistemas, formaciones vegetales y especies amazónicas son el resultado de las interacciones entre los factores bióticos y abióticos (clima, fisiografía y suelos). A pesar del gran trabajo que implica su evaluación, estos han venido siendo clasificados y mapeados en estudios como el de Josse *et al.* (2007) y Encarnación *et al.* (2004). Del mismo modo, el modelamiento de la biosfera amazónica es un gran desafío debido a los numerosos componentes bióticos y abióticos que exhibe así como las diversas escalas y resoluciones que se deben considerar. Tal complejidad demanda arquitecturas computacionales sofisticadas y acceso a diversos recursos informáticos distribuidos en una amplia área geográfica; así mismo, los sistemas de simulación deben poseer herramientas de software de gran flexibilidad para adaptarse a la estructura espacial y a los datos específicos de los complejos sistemas medioambientales (Lux & Sydow, 2005). Aún con estos inconvenientes, la comunidad científica involucrada con la biodiversidad, ecología y conservación ha desarrollado herramientas muy potentes capaces de modelar la distribución potencial de las especies biológicas, herramientas conocidas como "modelos de distribución de especies" (*Species distribution models* o SDMs), "modelos predictivos de distribución del hábitat" (*predictive habitat distribution models*), "modelos de idoneidad del hábitat" (*habitat suitability models* o HSMs), o "modelos de nicho ecológico" (Benito, 2007).

El enfoque representativo (mapa), aceptado por un número creciente de conservacionistas, se ha

establecido sólidamente en biología de la conservación e integra el objetivo de mantener la diversidad de especies (enfoque tradicional de la conservación de la biodiversidad) con otro nivel de acción para la conservación, la preservación de ecosistemas y procesos ecológicos específicos (Olson & Dinerstein, 1998). El mapa digital que expresa la distribución espacial del hábitat tiene distintas utilidades según su campo de aplicación: *a)* diseño de reservas para conservación, *b)* diseño de muestreos en campo para localizar poblaciones "ocultas" de plantas o animales, *c)* estudio del potencial invasor de una especie, *d)* predicción de los cambios que puede provocar el cambio global en la distribución de las especies, *e)* estudio de los patrones espaciales de la biodiversidad, *f)* predicción del patrón geográfico de propagación de enfermedades infecciosas (Benito, 2007).

Hay diversos algoritmos basados en el registro de presencias para generar los modelos de distribución de especies entre los que podemos citar Bioclim (Busby *et al.*, 1991); Domain (Carpenter *et al.*, 1993); ENFA (Hirzel, 2002); GARP (Stockwell & Peters, 1999); MaxEnt (Phillips *et al.*, 2006). No obstante, se ha constatado que los diferentes algoritmos presentan distinta precisión a la hora de estimar la distribución del hábitat idóneo para una especie; y en general, los resultados no son concluyentes pues los algoritmos funcionan de modo diferente según la especie, la cantidad de registros de presencia, o el número de variables predictoras (Benito & Peñas, 2007).

Son abundantes los reportes del uso de los algoritmos antes señalados, tal es el caso de Miller & Knouft (2006) quien utilizó MaxEnt para investigar las diferencias en los factores ambientales que caracterizan la distribución geográfica de las poblaciones cultivadas y silvestres del frutal *Spondias purpurea*. Igualmente, Soudre *et al.* (2011) utiliza la misma aplicación para evaluar el efecto del cambio climático sobre la distribución natural (actual y futura) de especies agroforestales (*Guazuma crinita*, *Calycophyllum spruceanum* y *Theobroma cacao*) más utilizadas de la cuenca del río Aguaytía. Así mismo, Anderson & Martínez-Meyer (2004) utilizaron el modelo GARP para estimar la extensión de la distribución histórica, actual y de protección del "ratón espinoso" (*Heteromys australis* y *H. teleus*) en Ecuador.

Por lo tanto, a la luz de los avances tecnológicos y científicos en la estimación automatizada de la distribución biogeográfica de especies hemos resuelto el uso del software DIVA-GIS que fue específicamente diseñado para ser utilizado en el análisis espacial de información georreferenciada de biodiversidad proveniente de bases de datos sobre

germoplasma y colecciones de plantas (Hijmans *et al.*, 2001), y cuya utilidad fue experimentada por autores como Hijmans & Spooner, 2001; Jarvis *et al.*, 2003; Ganeshiaiah *et al.*, 2003; Hijmans *et al.*, 2003; en ensayos de distribución geográfica de diferentes especies tales como *Arachis spp* (maní silvestre); *Ceratovacuna lanígera* (pulgón de la caña de azúcar); *Solanaceae sect. Petota* (papas silvestres); así como para predecir áreas de tolerancia a las heladas de distintas especies de papa silvestre.

El objetivo del presente estudio fue generar mapas predictivos de la distribución biogeográfica potencial de seis especies de frutales nativos en la Región Loreto, a través de procedimientos de modelamiento y simulación proporcionados por la herramienta informática DIVA-GIS, para fortalecer los procesos de formulación de planes y estrategias para la conservación de la biodiversidad amazónica.

MATERIAL Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio fue realizado en la región Loreto, ubicada en la Parte Nor-Oriental peruana, que abarca una extensión de 375 000 km² de la llanura amazónica (Figura 1a). La evaluación fue realizada en base a 888 observaciones georreferenciadas de ejemplares silvestres de las especies cacahuillo *Theobroma subincanum* Mart., charichuelo liso *Garcinia macrophylla* Mart., ubos *Spondias mombin* L., anihuayo *Plinia clausa*, ungurahui *Oenocarpus batoua* Mart., encontradas en ambientes generalmente intervenidos. Estos frutales fueron seleccionados por su alto valor nutricional en la alimentación humana y gran cotización agroindustrial, así como por la existencia de datos georreferenciados obtenidos en muestreos de campo y a partir de material bibliográfico en trabajos efectuados por investigadores del IIAP.

MÉTODO

En este estudio fue utilizado el software DIVA-GIS que es un algoritmo de modelamiento y simulación para analizar bases de datos de germoplasma y de colecciones de plantas, así como para interpretar patrones genéticos, ecológicos y geográficos en la distribución de especies cultivadas y silvestres. Estos se grafican en mapas que exhiben las coordenadas geográficas de los sitios donde las accesiones son colectadas, correlacionadas con datos climáticos (Hijmans *et al.*, 2001). En este contexto se han definido cuatro escenarios climáticos para ejecutar este proceso:

1. Escenario Climático Actual con la aplicación de variables bioclimáticas usando datos de temperatura, precipitación e isothermalidad.

2. Escenario Climático Actual con Variables Físicas, es decir, a las variables bioclimáticas se adiciona las capas de información física espacial de fisiografía, geología, geomorfología.
3. Escenario Climático Futuro con la aplicación de las variables bioclimáticas de temperatura, precipitación e isothermalidad calculadas al año 2020.
4. Escenario Climático Futuro con Variables Físicas, es decir, a las variables bioclimáticas calculadas al año 2020 se adiciona las capas de información física espacial antes señaladas.

Variables utilizadas

Las variables bioclimáticas del escenario actual correspondieron a 19 capas de información provenientes de la base de datos SIG *WorldClim Global Climate* de 2.5 minutos de resolución (Hijmans *et al.*, 2005); e incluyeron isothermalidad, temperatura (°C): media anual, media mensual, estacional, máxima del mes más cálido, mínima del mes más frío, rango anual, media del trimestre mas húmedo, media del trimestre más seco, media del trimestre mas cálido, media del trimestre más frío; precipitación (mm): anual, del mes más húmedo, del mes más seco, estacional, del trimestre más húmedo, del trimestre más seco, del trimestre mas cálido, del trimestre mas frío.

En tanto que los datos bioclimáticos futuros al 2020, correspondieron a resultados obtenidos, para las variables antes señaladas, a partir del modelo de circulación atmosférica general CCM3 (*Community Climate Model*) calculada bajo condiciones climáticas de emisión de gases de efecto invernadero 2xCO₂; bajo estas condiciones la concentración atmosférica de CO₂ en 1990 (alrededor de 355 ppmv) se duplica al 2020, simulando un clima mas cálido (Loaiciga, 2003)

Análisis preliminar del modelo de distribución espacial

El modelo de distribución espacial graficó las áreas en las cuales se ha realizado la colección de datos de ubicación georeferenciada; permitió el enfoque geográfico de esta distribución, que se nota concentrada en algunas áreas, delimitándose zonas denominadas de “interés” valido única y exclusivamente para este ejercicio, nombrándose a cada una de ellas en función de la presencia del elemento geográfico característico de tal área, indicándose las siguientes: a) río Tigre, b) río Huallaga, c) río Pastaza, d) río Nanay, e) río Amazonas, f) río Napo, g) río Marañón, h) río Ucayali, i) Carretera Iquitos Nauta.

Análisis y modelamiento

Con ayuda del software DIVA-GIS se realizó el análisis y modelamiento de la distribución espacial de los frutales nativos. Utilizando el protocolo de Hijmans *et al.* (2001), se registraron las coordenadas geográficas (latitud, longitud) en grados decimales, con una precisión de cuatro dígitos decimales para proporcionar mayor precisión a la ubicación. A estas coordenadas se agregó el signo menos (-) por el hemisferio en el que se ubica el Perú (Oeste del meridiano de Greenwich y al Sur de la línea ecuatorial), generándose una base de datos final expresada en coordenadas esféricas (latitud, longitud) del sistema de proyección PSAD56 y del sistema geodésico WGS84.

El algoritmo se ejecutó en base a un "grid", que divide el área de estudio en celdas de tamaño igual a 0,041667° x 0,041667° (aproximadamente 4,625 x 4,625 km), lo cual proporcionó mayor objetividad en las comparaciones efectuadas. La ejecución del algoritmo correlacionó la información climática extraída de la base de datos de clima con cada ubicación representada en el "shapefile" como un punto. Luego extrapoló el resultado a otras áreas similares; generándose como resultado un "grid" con ubicaciones pronosticadas en las que podría ocurrir la especie. Este "grid" muestra la clasificación de las celdas (áreas del terreno), en 5 clases de ocurrencia potencial: bajo, medio, alto, muy alto y excelente; individualizadas por los colores verde oscuro, verde brillante, amarillo, naranja, rojo; respectivamente.

Con el objeto de cuantificar las áreas de ocurrencia potencial, el "grid" resultante fue exportado a formato "shapefile" y transformado a coordenadas planas (x, y) del sistema de proyección UTM Zona 18 Sur y del sistema geodésico con Esferoide y Datum Horizontal WGS84. Finalmente, se calculó el sesgo de la distribución espacial de localizaciones por áreas de "interés"; así como el coeficiente de variación de la clasificación de las superficies de ocurrencia para cada especie.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOCALIZACIONES

El análisis de localizaciones de las especies por zona de "interés" (Tabla 1, Figura 1b), muestra que la zona con mayor número de ubicaciones colectadas es la carretera Iquitos-Nauta con 300 localizaciones (33.78 %); este valor puede ser explicado por razones de accesibilidad al área de colecta (Carretera Iquitos-Nauta), lo cual genera una fuerte predisposición para realizar colectas a lo largo de esta vía principal proporcionando un intenso sesgo estadístico al conjunto de datos. La especie *Plinia clausa* fue la más frecuente en esta zona de interés

con 112 localizaciones (37.3%), en tanto que *Oenocarpus bataua* presentó solo 5 localizaciones (1.7%). Sin embargo es necesario evaluar la solidez y fiabilidad de estos muestreos taxonómicos, pues está claro que estos lugares han sido seleccionados de manera arbitraria, en lugar de aleatoria, aportando sesgos ambientales y geográficos al conjunto de datos (Reddy & Davalos, 2003; Graham *et al.*, 2004; Zimmermann *et al.*, 2010).

La zona del río Tigre exhibe el más bajo número de ubicaciones (11 = 1.24 %) con solo tres especies registradas para esta área (*Plinia clausa*, *Garcinia macrophylla* y *Theobroma subincanum*). La distribución geográfica de localizaciones a nivel de zona de "interés", muestra una fuerte desproporcionalidad espacial de la colecta de accesiones. Según Jarvis *et al.*, 2003; estas tendencias proporcionan argumentos suficientes que justifican el uso de modelos de extrapolación espacial para llenar los vacíos de colección de muestras. Por otro lado y de acuerdo a lo manifestado por Turner & Tjørve, 2005; es importante el reconocimiento de las relaciones especie-área con el objeto de alcanzar una comprensión básica de la diversidad biológica, así como para lograr una mejoría en las capacidades para formular planes de conservación de las especies.

La especie con mayor número de localizaciones fue *Spondias mombin* con 203 observaciones (22,86 %), en tanto que *Garcinia madruno* presentó sólo 54 (6.08 %) localizaciones (Tabla 1, Figura 1b). Tomando en cuenta la extensión geográfica del departamento de Loreto (aprox. 37 500 000 ha) y la extensión del área muestreada; es necesario considerar con precaución la representatividad que proporcionan las localizaciones colectadas, sobre la distribución de las especies en este espacio geográfico; así como la dimensión con que representan las condiciones del hábitat en que se desarrollan. Estas dos consideraciones son determinantes para establecer el número óptimo de muestras al azar de una población animal o comunidad de plantas, para estudiar las relaciones entre el número de especies y el número de individuos (Fischer *et al.*, 1943) y las analogías entre el área y el número de especies (Williams, 1943)

MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES

En general, se observa que las áreas de terreno seleccionadas como de ocurrencia de las especies en un escenario climático actual (Tabla 2, Figura 2), experimentan una reducción de la superficie total en un escenario climático futuro (Tabla 2, Figura 3). Tal reducción se manifiesta en todas las especies a

excepción de *Garcinia madruno* que experimenta un incremento de 17.84 % en el área seleccionada como potencial. Aunque la comprensión de las causas de este fenómeno escapa a los alcances del presente estudio, podemos indicar que este excepcional comportamiento se debe a que *Garcinia madruno* es un frutal con mejores posibilidades de adaptación a los cambios climáticos futuros, ganando espacios anteriormente ocupados por otras especies. Este comportamiento es similar al encontrado por Soudre *et al.* (2011), para la *Theobroma cacao* (cacao) en la cuenca del río Aguaytía. Al contrario de *Garcinia madruno*, *Oenocarpus bataua* en un escenario futuro experimenta la mayor reducción (54.77 %) entre las seis especies analizadas. En general los reportes de la literatura científica muestran que las especies tienden a reducir sus superficies de distribución en relación directa al incremento de la temperatura y el cambio de los patrones atmosféricos generados por efectos del cambio climático. Señalando inclusive que los cambios climáticos sucedidos en el pasado y aquellos inducidos por el hombre en la actualidad, pueden cambiar la diversidad biológica y el paisaje en plazos tan cortos como una década (Hannah *et al.*, 2002).

Al agregar las variables físicas (geología, geomorfología y fisiografía) a los escenarios climáticos se observan resultados muy particulares (Tabla 3). En el caso del clima actual, todas las especies experimentan reducciones de superficie de ocurrencia potencial, pero solo dos de ellas superan el 6 % (*Oenocarpus bataua* = 22.65 % y *Plinia clausa* = 14.51%). Si bien en un escenario de clima futuro, tres especies experimentan un aumento de su superficie de ocurrencia (*Garcinia macrophylla* = 8.85 %, *Plinia clausa* = 3.83 % y *Theobroma subincanum* = 0.62 %), sin embargo para dos de estas especies los valores de incremento no superan los valores de pérdida encontrados para el escenario climático actual (*Plinia clausa* = 14.51 % y *Theobroma subincanum* = 5.54 %).

Los resultados muestran también que el cambio climático puede impactar de diferente forma en la distribución de las especies de un mismo género. En el caso del género *Garcinia*, las especies *Garcinia macrophylla* y *Garcinia madruno*, dos especies

hermanas que cohabitan juntas en el mismo nicho ecológico y son sometidas a los mismos escenarios presentan respuestas distintas a estos eventos. Cuando estas dos especies son evaluadas bajo un escenario solo de variables climáticas (actual y futuro) *Garcinia madruno* experimenta un aumento de su superficie potencial (Tabla 2). En tanto que al agregarse las variables físicas *Garcinia macrophylla* experimenta un aumento de tal área en el escenario climático futuro (Tabla 3).

Estas diferencias en los patrones de distribución espacial y temporal de las especies estudiadas, pueden ser explicados por la influencia de los diversos factores y procesos ecológicos que se suscitan en una determinada área geográfica (Burel, 1992). Igualmente, pueden atribuirse a la capacidad de respuesta de las especies a los cambios naturales o inducidos por el hombre y al potencial migratorio y de adaptación a nuevos lugares (WWF, 2013; Berry *et al.*, 2013; National Research Council, 2008). A su vez, los diversos procesos ecológicos que intervienen sobre la ocurrencia de una especie en un determinado lugar son afectados por la configuración espacial del medioambiente (Dufour *et al.*, 2006). Más aún, las variadas condiciones naturales de los componentes estructurales del paisaje tal como el relieve, el suelo, las características climáticas, son algunos de los factores de la geo-diversidad de los cuales depende el desarrollo de la biodiversidad, sumándose a ellos los paisajes resultantes del cambio de uso de la tierra (Walz, 2011). De ahí que se reconozca que la fisiografía, parte estructural del paisaje, influye sobre la diversidad de especies y su distribución de forma muy importante (Heydari & Mahdavi, 2009). La diversidad biológica de la Amazonia es el resultado de su particular evolución histórica en cuanto a procesos geológicos, geomorfológicos, climatológicos, hidrográficos y biológicos (PNUMA *et al.*, 2009), y al uso actual del suelo. Por tanto, el singular comportamiento mostrado por las especies analizadas se debe a que las variables físicas incorporadas en el análisis contribuyen a caracterizar con mayor precisión las áreas de ocurrencia potencial.

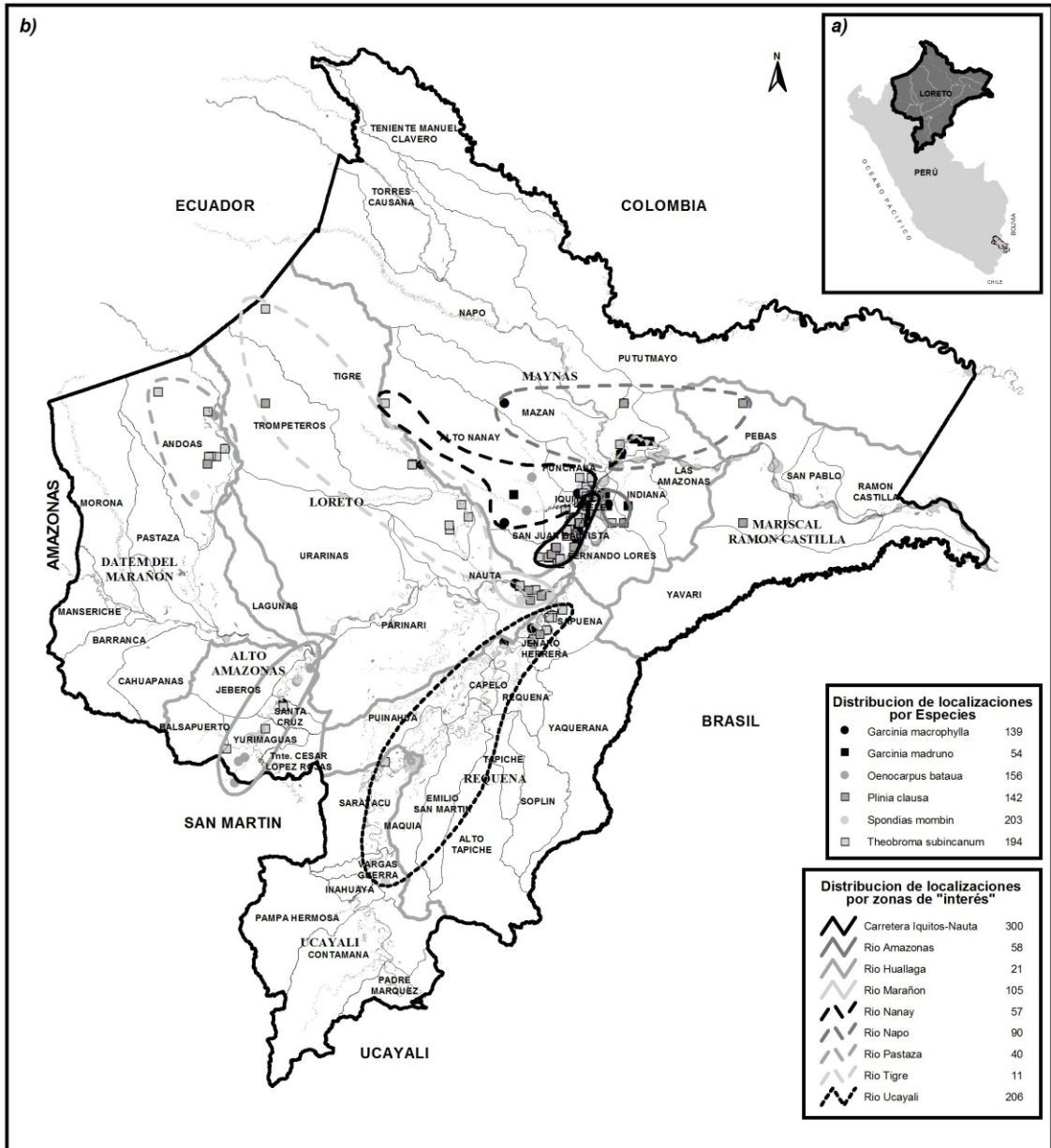


Figura 1. a) Área de ubicación, b) Distribución de localizaciones por especies y por zonas de "interés".

Tabla 1. Número de localizaciones por especie y según las zonas de “interés” en la región Loreto.

| Zona de interés | Especies | | | | | | Total | % |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|------------|---------------|
| | <i>Garcinia madruno</i> | <i>Garcinia macrophylla</i> | <i>Plinia clausa</i> | <i>Oenocarpus bataua</i> | <i>Theobroma subincanum</i> | <i>Spondias mombin</i> | | |
| Río Tigre | | 3 | 1 | | 7 | | 11 | 1,24 |
| Río Huallaga | | 2 | | | 10 | 4 | 21 | 2,36 |
| Río Pastaza | | | 13 | 8 | 16 | 3 | 40 | 4,50 |
| Río Nanay | 2 | 5 | | 17 | 16 | 17 | 57 | 6,42 |
| Río Amazonas | 4 | 7 | 2 | 10 | 10 | 25 | 58 | 6,53 |
| Río Napo | 8 | 20 | 8 | 4 | 35 | 15 | 90 | 10,14 |
| Río Marañón | 4 | 19 | 5 | 2 | 11 | 64 | 105 | 11,82 |
| Río Ucayali | | 48 | 1 | 100 | 23 | 34 | 206 | 23,20 |
| Carr. Iqt-Nau | 36 | 35 | 112 | 5 | 72 | 40 | 300 | 33,78 |
| Total | 54 | 139 | 142 | 156 | 194 | 203 | 888 | 100,00 |

Tabla 2. Áreas seleccionadas por escenarios climáticos.

| Especie | AREA SELECCIONADA (ha) | | Área (ha) | | % |
|-----------------------------|------------------------|--------------|--------------|------------|-------|
| | Clima Actual | Clima Futuro | Reducción | Aumento | |
| <i>Garcinia macrophylla</i> | 5 150 980,74 | 3 525 597,75 | 1 625 382,99 | | 31,55 |
| <i>Garcinia madruno</i> | 599 216,88 | 705 907,29 | | 106 690,41 | 17,80 |
| <i>Oenocarpus bataua</i> | 12 168 669,99 | 5 503 913,54 | 6 664 756,45 | | 54,77 |
| <i>Plinia clausa</i> | 3 556 997,75 | 2 231 129,30 | 1 325 868,45 | | 37,27 |
| <i>Spondias mombin</i> | 10 476 421,89 | 7 926 253,41 | 2 550 168,48 | | 24,34 |
| <i>Theobroma subincanum</i> | 12 645 326,26 | 9 099 875,45 | 3 545 450,81 | | 28,04 |

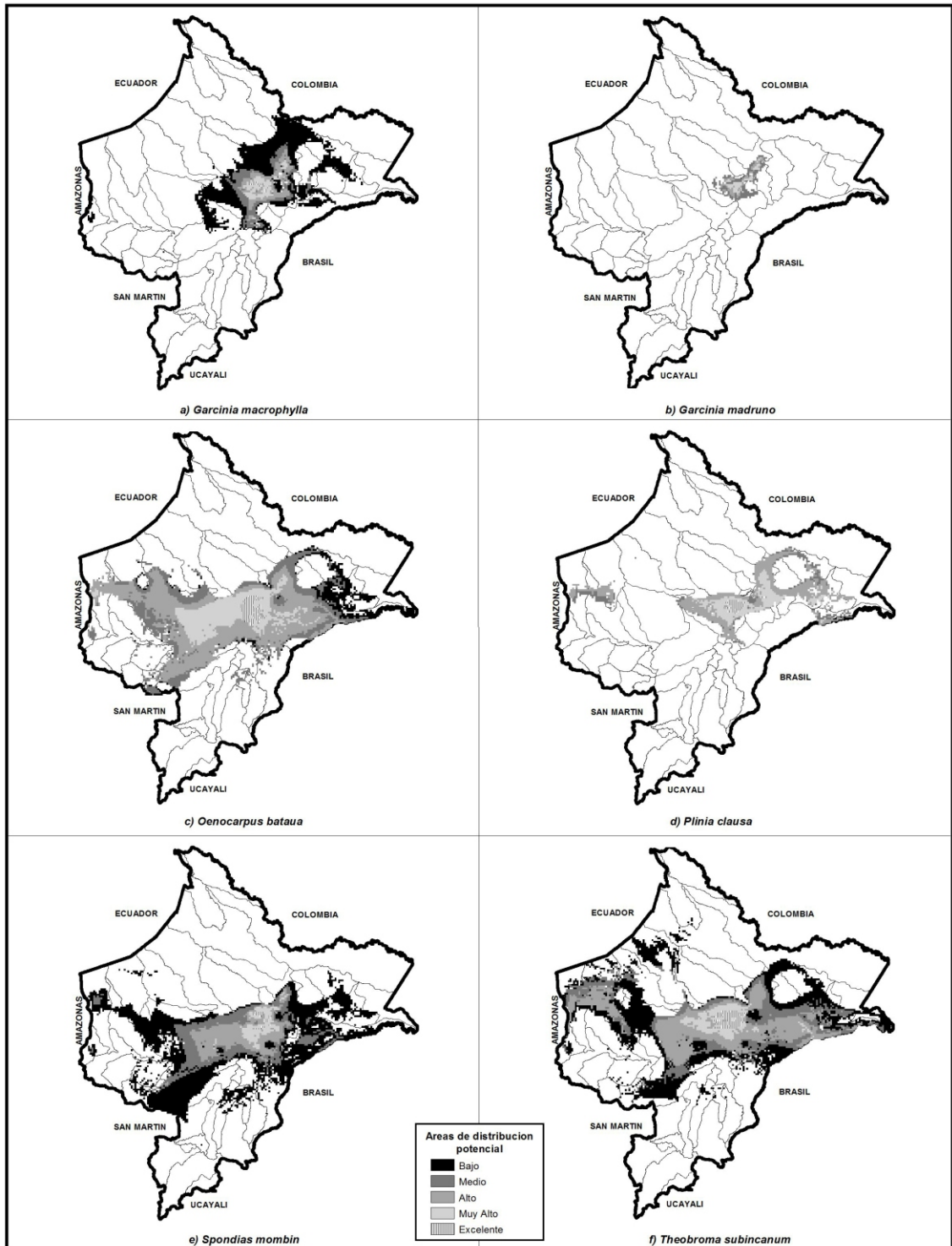


Figura 2. Áreas de distribución potencial en un escenario climático actual.

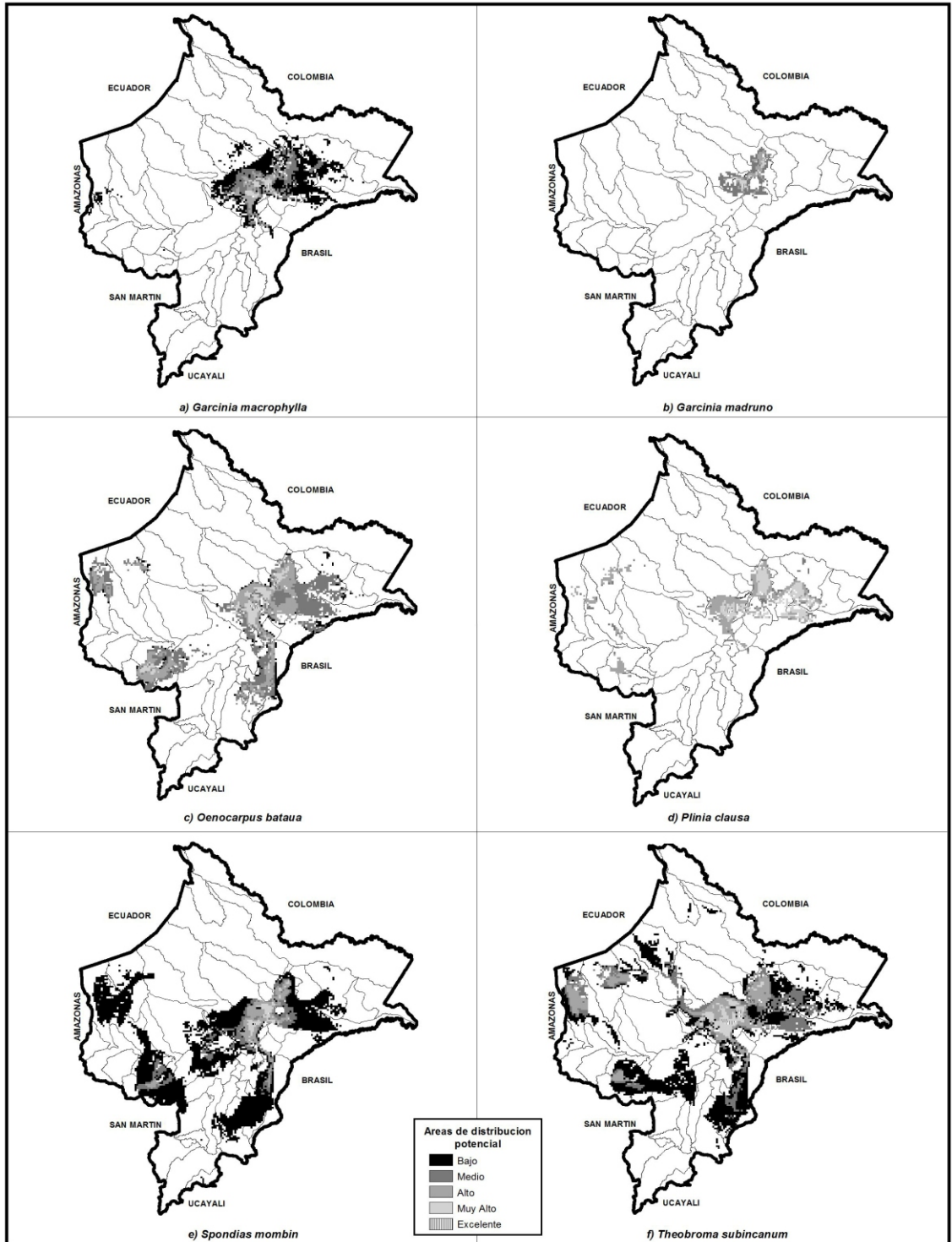


Figura 3. Áreas de distribución potencial en un escenario climático futuro.

Tabla 3. Áreas seleccionadas en el escenario de clima actual y clima futuro con variables físicas

| Especie | AREA SELECCIONADA (ha) | | Área (ha) | | % |
|----------------------|------------------------|------------------------------------|--------------|---------|-------|
| | Clima Actual | Clima Actual con variables físicas | Reducción | Aumento | |
| Garcinia macrophylla | 5 150 980,74 | 4 958 806,42 | 192 174,32 | | 3,73 |
| Garcinia madruno | 599 216,88 | 575 748,05 | 23 468,83 | | 3,92 |
| Oenocarpus bataua | 12 168 669,99 | 9 413 056,76 | 2 755 613,23 | | 22,65 |
| Plinia clausa | 3 556 997,75 | 3 040 745,87 | 516 251,88 | | 14,51 |
| Spondias mombin | 10 476 421,89 | 9 940 641,63 | 535 780,26 | | 5,11 |
| Theobroma subincanum | 12 645 326,26 | 11 944 755,59 | 700 570,67 | | 5,54 |

| Especie | AREA SELECCIONADA (ha) | | Área (ha) | | % |
|----------------------|------------------------|------------------------------------|------------|------------|-------|
| | Clima Futuro | Clima Futuro con variables físicas | Reducción | Aumento | |
| Garcinia macrophylla | 3 525 597,75 | 3 837 564,43 | | 311 966,68 | 8,85 |
| Garcinia madruno | 705 907,29 | 697 350,11 | 8 557,18 | | 1,21 |
| Oenocarpus bataua | 5 503 913,54 | 4845 712,66 | 658 200,88 | | 11,96 |
| Plinia clausa | 2 231 129,30 | 2 316 625,92 | | 85 496,62 | 3,83 |
| Spondias mombin | 7 926 253,41 | 7 886 044,56 | 40 208,85 | | 0,51 |
| Theobroma subincanum | 9 099 875,45 | 9 155 937,89 | | 56 062,44 | 0,62 |

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Anderson, R.P.; Martínez-Meyer, E. 2004. Modeling species' geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (Heteromys) of Ecuador. *Biological Conservation*, 116:167–179.
- Benito, Blas. 2007. Modelos de Distribución de Especies (I). Introducción. <http://siguiendoelcambio.blogspot.com/2007/10/modelos-de-distribucion-de-especies-i.html>. Acceso: 2010/03/26
- Benito de Pando, B.; Peñas de Giles, J. 2007. Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *GeoFocus*, 7:100-119.
- Berry, P.; Ogawa-Onishi, Y; McVey, A. 2013. The Vulnerability of Threatened Species: Adaptive Capability and Adaptation Opportunity. *Biology* 2: 872-893.
- Burel, F. 1992. Effect of landscape structure and dynamics on species diversity in hedgerow networks. *Landscape Ecology* 6(3):161-174.
- Busby, J.R.; McMahon, J.P.; Hutchinson, M.F.; Nix, H.A.; Ord, K.D. 1991. BIOCLIM - Technical Information. <http://ecobas.org/www-server/rem/mdb/bioclim.html> Acceso: 2010/04/08.
- Carpenter, G.; Gillison, A.N.; Winter, J. 1993. DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity and Conservation*, 2: 667-680.
- Dufour, A.; Gadallah, F.; Wagner, H.H.; Guisan, A.; Buttler, A. 2006. Plant species richness and environmental heterogeneity in a mountain landscape: effects of variability and spatial configuration. *Ecography*, 29:573-584.
- Encarnación, C.F.; Kalliola, R.; Rodríguez, F. 2004. Diversidad de Vegetación de la Amazonía Peruana Expresada en un Mosaico de Imágenes de Satélite. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – IIAP. Proyecto Diversidad Biológica de la Amazonía Peruana – BIODAMAZ. Iquitos – Perú. Serie Documento Técnico N° 12, IIAP. 68 pp.
- Fisher, R.A.; Corbett A.S.; Williams, C.B. 1943. The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *The Journal of Animal Ecology* 12(1):42-58.
- Ganeshaiyah, K.N.; Barve, N.; Nath, N.; Chandrashekara, K.; Swamy, M.; Shaanker, R.U. 2003. Predicting the potential geographical distribution of the sugarcane woolly aphid using GARP and DIVA-GIS. *Current Science* 85(11):1526-1528.
- Graham, C.H.; Ferrier, S.; Huettman, F.; Moritz, C.; Peterson, A.T. 2004. New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 19(9):498-503.
- Hannah, L.; Midgley, G.F.; Lovejoy, T.; Bond, W.J.; Bush, M.; Lovett, J.C.; Scott, D.; Woodward, F.I. 2002. Conservation of Biodiversity in a Changing Climate. *Conservation Biology* 16(1):264–268.
- Heydari, M.; Mahdavi, A. 2009. Pattern of plant species diversity in related to physiographic factors in Melah Gavan protected area, Iran. *Asian Journal of Biological Sciences*, 2: 21-28.
- Hijmans, R.J.; Guarino, L.; Cruz, M.; Rojas, E. 2001. Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data 1. DIVA-GIS. *Plant Genetic Resources Newsletter*, 127: 15-19.
- Hijmans, R.J.; Spooner M. 2001. Geographic Distribution of Wild Potato Species. *American Journal of Botany*, 88(11): 2101–2112.
- Hijmans, R. J.; Jacobs, M.; Bamberg, J.B.; Spooner, D.M. 2003. Frost tolerance in wild potato species: Assessing the predictivity of taxonomic, geographic, and ecological factors. *Euphytica*, 130: 47–59.
- 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.; Hausser, J.; Chessel, D.; Perrin, N. 2002. Ecological-Niche Factor Analysis how to compute habitat-suitability maps without absence data?. *Ecology*, 83(7):2027–2036.
- Jarvis, A.; Ferguson, M.E.; Williams, D.E.; Guarino, L.; Jones, P.G.; Stalker, H.T.; Valls, J.F.M.; Pittman, R.N.; Simpson, C.E.; Bramel, P. 2003. Biogeography of Wild *Arachis*: Assessing Conservation Status and Setting Future Priorities. *Crop Science*, 43:1100–1108..
- Josse, C.; Navarro, G.; Encarnacion, F.; Tovar, A.; Comer, P.; Ferreira, W.; Rodríguez, F.; Saito, J.; Sanjurjo, J.; Dyson, J.; Rubin de Celis, E.; Zarate, R.; Chang, J.; Ahuite, M.; Vargas, C.; Paredes, F.; Castro, W.; Maco, J.; Reátegui, F. 2007. Sistemas Ecológicos de la Cuenca Amazónica de Perú y Bolivia: Clasificación y Mapeo. NatureServe. Arlington. Virginia. EE. UU.
- Loáiciga, H.A. 2003. Climate Change and GroundWater. *Annals of the Association of American Geographers*, 93(1):30–41

- Lux, T.; Sydow, A. 2005. Environmental Modelling. *ERCIMNews*, 61:10-11.
- Miller, A. J.; Knouft, J. H. 2006. GIS-Based characterization of the geographic distributions of wild and cultivated populations of the mesoamerican fruit tree *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). *American Journal of Botany*, 93(12): 1757–1767.
- National Research Council. 2008. Ecological Impacts of Climate Change. Washington, DC: The National Academies Press.
- Olson, D.M.; Dinerstein, E. 1998. The Global 200: A Representation Approach to Conserving the Earth's Most Biologically Valuable Ecoregions. *Conservation Biology* 12(3): 502-515.
- Phillips, S.J.; Anderson, R.P.; Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231–259.
- Pidwirny, M. 2006. Abiotic Factors and the Distribution of Species. In: *Fundamentals of Physical Geography*, 2nd Edition. e-Book. <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/9e.html> Acceso: 2010/10/11.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente); OTCA (Organización del Tratado de Cooperación Amazónica), Universidad del Pacífico. 2009. Perspectivas del Medio Ambiente en la Amazonía: Geo Amazonía. 323 pp.
- Reddy, S.; Davalos, L.M. 2003. Geographical sampling bias and its implications for conservation priorities in Africa. *Journal of Biogeography*, 30:1719–1727.
- Soudre, M.; Leguía, E.; Rüginitz, M.; Guerra, H.; García, D.; del Castillo, D. 2011. Predicción y Evaluación del Impacto del Cambio Climático sobre los Sistemas Agroforestales en la Región Amazónica Peruana (PREVALECE-SAF). *Amazonia Agroforestal*, 3(1):7-9. Boletín Informativo del ICRAF América Latina.
- Stockwell, D.; Peters, D. 1999. GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science*, 13(2): 143-158.
- Turner, W.R.; Tjørve, E. 2005. Scale-dependence in species-area relationships. *Ecography*, 28:721-730.
- Walz, U. 2011. Landscape Structure, Landscape Metrics and Biodiversity. *Living Rev. Landscape Res.*, 5:3(35).
- Williams, C.B. Area and number of species. 1943. *Nature* 152:264-267.
- WWF. 2013. Impact of climate change on species.. http://wwf.panda.org/about_our_earth/species/problems/climate_change/ Acceso 20/11/2013
- Zimmermann, N.E.; Edwards Jr., T.C.; Graham, C.H.; Pearman, P.B.; Svenning, J.C. 2010. New trends in species distribution modeling. *Ecography*, 33:985-989.