

**USO DE MODELOS DE PREDICIÓN COMO HERRAMIENTA PARA
ESTIMAR EL ÁREA DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LA
ESPECIE *Aniba perutilis* Hemsley (COMINO CRESPO) EN EL
DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA**

Carlos Alirio Hurtado Aguilar

Tesis de pregrado presentada como registro para optar al título de
Ecólogo

Director:
Andrew Jarvis,
Geógrafo Investigador, Postdoctoral

Codirector:
William Gualteros,
Biólogo Marino, Master

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
PROGRAMA DE ECOLOGÍA
POPAYÁN

2007

RESUMEN

En esta investigación se presenta un método eficaz para identificar áreas de distribución de especies, donde se pueden enfocar los esfuerzos para la conservación in situ. El método fue aplicado a la especie *Aniba perutilis* Hemsley, en el departamento del Valle del Cauca. Esta especie por sus características maderables ha sufrido una sobre explotación, llevándola a un estado crítico de extinción en estado silvestre. La metodología para identificar las áreas de distribución fue planteada de la siguiente manera: (1) Se utilizaron los modelos DOMAIN, BIOCLIM, GARP, MAXENT, para hacer predicciones de la distribución geográfica, en base a factores climáticos y puntos de registro de la especie. (2) Los resultados de los modelos se adicionaron para obtener un mapa final de la distribución de *Aniba perutilis* Hemsley. Estos mostraron como las áreas con probabilidad mas alta de presencia la parte noreste y sureste de la llanura del pacifico, la cordillera Occidental y el flanco Occidental de la cordillera Central, del departamento. (3) Se realizo la evaluación del modelo con la estadística de Kappa de Cohen y la curva ROC (Receiver Operating Characteristic). (4) Se valido el modelo en el campo, escogiendo 9 municipios en los cuales se determinaron 20 puntos de presencia-ausencia para visitar. Se encontraron 6 individuos de *Aniba perutilis* Hemsley y el resultado de la validación en el campo se trató con la estadística de Kappa de Cohen mostrando alta concordancia los resultados del modelo con la realidad.

Además, se estableció que las variables climáticas más influyentes en la distribución de *Aniba perutilis* Hemsley, en el departamento del Valle del Cauca son la oscilación anual de la temperatura y la estacionalidad de la temperatura, mostrando así un mejor desarrollo de la especie en climas constantes.

El modelo mostró su eficacia para establecer áreas de distribución, dando así las herramientas para objetivisar y optimizar los planes de programas encaminados a la protección de los recursos naturales.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Colciencias y al instituto Humboldt por darme la oportunidad de realizar esta tesis de pregrado en el marco del proyecto evaluación de conservación del departamento del Valle del Cauca, basada en principios de la plantación sistemática de la conservación.

Gracias a mi director Andrew Jarvis por mostrarme el camino.

Gracias a mi decano y codirector William Gualteros, por su apoyo y sus consejos valiosos.

Gracias al ingeniero Juan Lázaro Toro Murillo de Corantioquia, por proporcionarme los registros de *Aniba perutilis* Hemsley que tiene en las colección de la corporación.

Gracias al herbario Federico Medem por proporcionarme los registros de *Aniba perutilis* Hemsley que tiene en su colección.

Gracias a Jaime Diego Botero por su aporte a la conservación de la especie *Aniba perutilis* Hemsley, que es muy grande y por contribuir con su conocimiento de la especie a este trabajo.

Gracias a William Vargas Investigador Senior del instituto Humboldt, por la orientación que dio para la validación de los datos en el campo.

Mil gracias a mi madre y familia por creer y apoyar todos mis caprichos, y muy especialmente gracias a Laure Collet, ma dame, por su apoyo incondicional y su crítica constructiva.

CONTENIDO

1. Introducción.	p.1
2. Marco referencial.	p.2
2.1. Área de Estudio.	p.2
2.1.1 Fisiografía.	p.3
2.1.1.1. Llanura del Pacífico.	p.3
2.1.1.2. Cordillera Occidental.	p.3
2.1.1.3. Valle del río Cauca.	p.3
2.1.1.4 Vertiente occidental de la Cordillera Central.	p.3
2.1.2. Hidrografía.	p.4
2.1.3. Clima.	p.4
3. Antecedentes.	p.5
4. Problema de investigación.	p.8
5. Justificación.	p.9
6. Objetivos.	p.10
6.1. Objetivo General.	p.10
6.2. Objetivo Específico.	p.10
7. Marco teórico.	p.11
7.1. Aniba Perutilis Hemsley (Comino crespo).	p.11
7.1.1. Clasificación.	p.11
7.1.2. Descripción morfológica de Aniba perutilis Hemsley.	p.12
7.1.3. Fenología.	p.14
7.1.4. Hábitat.	p.15
7.1.5. Interacciones.	p.15
7.1.6. La madera y sus usos.	p.15
7.2. Modelos predictivos.	p.16
8. Materiales y método.	p.19
8.1. <u>Actividad 1.</u> Recopilación de los registros de de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley.	p.20
8.2. <u>Actividad 2.</u> Ejecución de los modelos.	p.21

8.2.1. BIOCLIM (perfil bioclimático)	p.22
8.2.2. DOMAIN (métrica de Gower)	p.23
8.2.3. GARP (algoritmo genético)	p.24
8.2.4. MAXENT (entropía máxima)	p.24
8.2.5. Suma de los resultados de los modelos.	p.25
8.2.6. Evaluación del modelo.	p.25
8.2.7. Estadística de Kappa.	p.25
8.2.8. Curva ROC.	p.26
8.3. <u>Actividad 3</u> . Validación del modelo en el campo.	p.28
9. Resultados.	p.29
9.1. Registros de presencia de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley.	p.29
9.2. Predicción de las áreas potenciales de distribución de la especie <i>Aniba perutilis</i> Hemsley en el departamento del Valle del Cauca.	p.30
9.2.1. Mapas de distribución potencial.	p.30
9.3. Predicción de las variables climáticas influyentes para el modelo.	p.34
9.4. Conjunto del resultado de los modelos, Bioclim, Domain, Garp, Maxent. . .	p.36
9.5. Evaluación del modelo.	p.38
9.6. Validación del modelo.	p.38
10. Discusión y recomendaciones.	p.43
10.1. Valores de probabilidad por modelo.	p.43
10.2. Evaluación.	p.43
10.3. Área de distribución.	p.46
10.4. Variables influyentes.	p.47
11. Conclusiones.	p.50
Bibliografía.	p.51

FIGURAS

Figura 1. Mapa del Valle del Cauca.	p.2
Figura 2. Árbol de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley.	p.12
Figura 3. Ramas de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley.	p.13
Figura 4. Hoja de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley.	p.13
Figura 5. Flores de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley.	p.14
Figura 6. Frutos de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley.	p.14
Figura 7. Trabajos con <i>Aniba perutilis</i> Hemsley.	p.16
Figura 8. Modelo conceptual de la metodología de la predicción de las áreas potenciales de distribución de la especie <i>Aniba perutilis</i> Hemsley, en el departamento del Valle del Cauca.	p.19
Figura 9. Ejemplo de una curva característica ROC (Receiver Operating Characteristic).	p.27
Figura 10. Áreas donde se obtuvieron registro de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley.	p.30
Figura 11. Mapa de distribución potencial, según Bioclim, de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley en el departamento del Valle del Cauca. (Resolución 1 Km.).	p.31
Figura 12. Mapa de distribución potencial de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley, según Domain, en el departamento del Valle del Cauca. (Resolución 1 Km.).	p.32
Figura 13. Mapa de distribución potencial, según Garp, de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley en el departamento del Valle del Cauca. (Resolución 1 Km.).	p.33

Figura 14. Mapa de distribución potencial, según Maxent, de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley en el departamento del Valle del Cauca. (Resolución 1 Km.).	p.34
Figura 15. Tabla de importancia de cada variable climática para el modelo de predicción de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley en el departamento del valle del cauca.	p.35
Figura 16. Mapa resultado del conjunto de las predicciones de los modelos Bioclim, Domain, Garp, Maxent, que muestra la distribución potencial de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley en el departamento del Valle del Cauca. (Resolución: 1km).	p.37
Figura 17. Diagramas del resultado de la evaluación del funcionamiento del modelo, expresados en la curva ROC (a) y Kappa de Cohen (b).	p.38
Figura 18. Mapa de validación de los resultados de distribución real y potencial de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley en el departamento del Valle del Cauca. (Resolución: 1km).	p.39
Figura 19. Arbol de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley registrado en la vereda el Cominal municipio de Palmira.	p.45
Figura 20. Distribución de las alturas de los registros obtenidos de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley	p.45
Figura 21. Distribución de las alturas de los registros obtenidos de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley	p.46
Figura 22. Diagramas de respuesta de las variables más influyentes en la predicción de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley en el departamento del Valle del Cauca. a: Estacionalidad de la temperatura (bio_4_cut) b: Oscilación anual de la temperatura (bio_7_cut).	p.49

TABLAS

Tabla 1. Registros de presencia de <i>Aniba perutilis</i> en el departamento del Valle del Cauca	p.7
Tabla 2. Matriz de validación de resultados de presencia-absencia del modelo: (a) positivos verdaderos; (b) positivos falsos; (c) negativo falso; (d) negativo verdadero. .	p.26
Tabla 3. Distribución de los de registros obtenidos de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley.	p.29
Tabla 4. Repartición entre los municipios de las probabilidades superiores a 0,5.	p.36
Tabla 5. Resultados de la validación en campo de presencia-absencia de <i>Aniba perutilis</i> Hemsley en el departamento Valle del Cauca.	p.41

ANEXOS

ANEXO 1. Registros de *Aniba perutilis* Hemsley.

ANEXO 2. Registro fotográfico de *Aniba perutilis* Hemsley

1. INTRODUCCIÓN

La pérdida del hábitat, el cambio de la cubierta de tierra y la sobre explotación son unas de las principales causas de la extinción a gran escala de la biodiversidad (Cushman, 2006; Leakey y Lewin, 1997). Ante la magnitud e importancia del problema, es claro que los esfuerzos se deben encaminar en la implementación de estrategias para la protección de la biodiversidad, sustentadas en evidencias científicas (Murphy et al. 1990). Sin embargo, la comunidad científica sólo posee respuestas aproximadas sobre los procesos que generan y mantienen la diversidad biológica. Por eso se vuelve necesario, como paso preliminar ineludible, recopilar, compendiar y cartografiar la información biológica actualmente dispersa en la literatura y las colecciones (Lobo, 2000). Esta colosal tarea necesita de un nuevo acercamiento que fusione y enlace las fronteras de disciplinas, como la Sistemática, la Biogeografía y la Ecología (Lobo y Hortal, 2003). Así, en la actualidad han nacido nuevas técnicas estadísticas asociadas a los Sistemas de Información Geográfica (SIG), para formar modelos de predicción de la distribución de las especies (Guisan y Zimmermann, 2000). Típicamente, estos métodos utilizan las condiciones ambientales de donde la especie se ha encontrado para construir un modelo que permite localizar otras áreas potencialmente convenientes para la especie de estudio (Jarvis et al. 2005^a).

El Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, está desarrollando, en el departamento del Valle del Cauca, el proyecto “Evaluación de conservación del departamento de Valle del Cauca, basada en principios de la planeación sistemática de la conservación”. Su objetivo es presentar opciones de conservación para el departamento, como insumo para las acciones de autoridades ambientales y sociedad civil. En el marco de este proyecto se realiza la siguiente investigación que tiene como objetivo determinar el área potencial de distribución de la especie *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca.

Aniba perutilis Hemsley (Comino crespo), es una especie vegetal, que por las características y cualidades de su madera, ha sido, históricamente, una de las especies de mayor demanda comercial en el país y en el extranjero. Por consiguiente el uso indiscriminado de su madera la ha llevado al borde de la extinción.

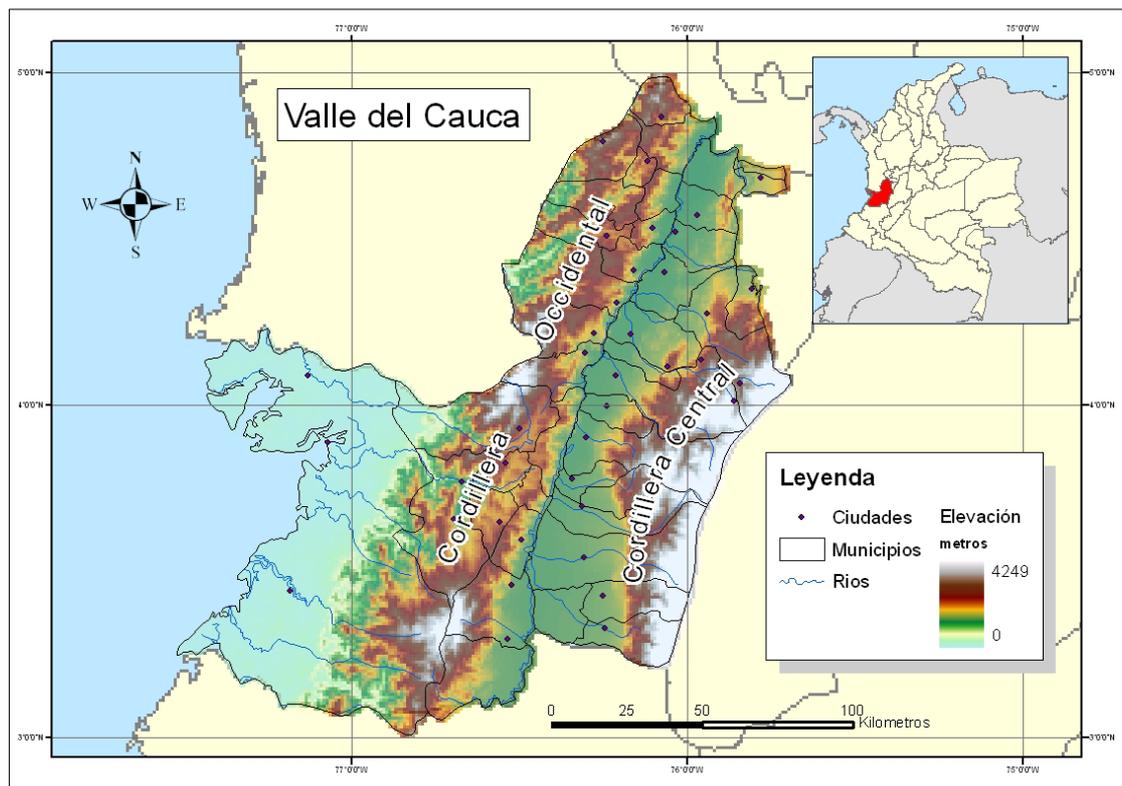
Este informe presenta una metodología que integra los modelos de distribución de especies DOMAIN, BIOCLIM, GARP y MAXENT para predecir la distribución de la especie *Aniba perutilis* Hemsley en el Valle del Cauca.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Área de Estudio

El departamento del Valle del Cauca se encuentra situado al Suroccidente de Colombia (figura 1), formando parte de las regiones andina y pacífica; localizado entre los 05° 02' 08" y 03° 04' 02" de latitud Norte y a los 72° 42' 27" y 74° 27' 13" de longitud Oeste. La superficie es de 22.140 km² y limita por el Norte con los departamentos de Chocó, Caldas y Quindío; por el Este con los departamentos del Quindío y Tolima, por el Sur con el departamento del Cauca y por el Oeste con el océano Pacífico y el departamento del Chocó (CVC, 1994).

Figura 1. Mapa del Valle del Cauca.



2.1.1 Fisiografía

De oriente a occidente, el territorio está constituido por cuatro unidades fisiográficas: la llanura del Pacífico, la Cordillera Occidental, el valle del río Cauca y el flanco occidental de la Cordillera Central.

2.1.1.1 Llanura del Pacífico

Se distingue una faja costera o andén aluvial, cubierta de mangle y cruzada por un laberinto de esteros, caños y bocananas que originan los ríos que desembocan en el océano Pacífico; algunos forman deltas como el San Juan con varias bocas e islas. Los accidentes costeros son numerosos, entre ellos se encuentran el golfo Tortugas, las ensenadas de El tigre, las puntas Soldado y Bazán, que encierran la ciénaga de Buenaventura, la más importante del litoral pacífico colombiano. Después de esta faja litoral comienza la llanura selvática, que se extiende hasta las estribaciones cordilleranas (CVC, 1994).

2.1.1.2 Cordillera Occidental

Se extiende por el departamento en dirección Suroeste-Norte, desde los cerros Naya (2.500 m.s.n.m) hasta el cerro Tatamá (3.950 m.s.n.m). Los principales accidentes orográficos son: Los Farallones de Cali, con alturas hasta de 4.200 m.s.n.m; la serranía de Los Paraguas, las cuchillas Aguacatal, Buenos Aires, Calima, Garrapatos y Dapa. En ésta, se distingue la vertiente del Pacífico y la del Valle del Cauca. La primera esta conformada por rocas de origen metamórfico de suelos superficiales limitados por rocas, bosque heterogéneo y relieve abrupto. La segunda se encuentra sobre rocas volcánicas del cretáceo, de suelos profundos y bien drenados, con agricultura y ganadería establecidas (CVC, 1994).

2.1.1.3 valle del río Cauca

Es una planicie originada por una depresión tectónica interandina, que en el departamento tiene aproximadamente 200 km de largo por 15 de ancho en promedio, alcanzan en su parte más ancha hasta 50 km. Este valle está formado por depósitos de origen aluvial del cuaternario con suelos profundos y superficies de alta fertilidad. El área oriental del Valle es más ancha que la occidental, donde se forman abanicos largos y de poca pendiente (CVC, 1994).

2.1.1.4 Vertiente occidental de la Cordillera Central

Comprende la vertiente del Valle del río Cauca, el macizo central o área de páramos y área de bosque en relieves escarpados. Esto corresponde en mayor extensión al cinturón cafetero. En el macizo central y en el límite con el departamento del Tolima, sobresalen los páramos de Chinche, los Hermosos, Mira flores y Barragán (CVC, 1994).

2.1.2. Hidrografía

Las numerosas corrientes conforman dos vertientes, la del Pacífico y la del Magdalena, a través del río Cauca. Entre los ríos de la primera vertiente, están el Naya, Yurumanquí, Anchicayá, Dagua, Cajambre, Calima, Dovio y Garrapatos. En el río Cauca desembocan, entre los más importantes, el Desbaratado, Fraile, Nima, Amaime, Zabaletas, Sonso, Tuluá, Bugalagrande, Guadalajara, La Vieja, Timba y Cali (CVC, 1994).

2.1.3. Clima

La llanura del Pacífico es muy húmeda. Registra precipitaciones hasta de 5.000 mm anuales y presenta un régimen pluviométrico monomodal, en el cual la época de mayores lluvias se presenta en el segundo semestre del año. Las temperaturas superan los 24°C en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 1.000 m.s.n.m. El área plana del Valle del Cauca tiene un régimen pluviométrico bimodal y presenta dos períodos de mayores lluvias. El primero de marzo a mayo, y el segundo de septiembre a noviembre. El área montañosa de ladera tiene períodos más amplios y de mayores lluvias, que van de marzo a junio y de septiembre a diciembre. En las áreas frías y de páramo las lluvias son ligeramente superiores a los 1.500 mm/año. Por encima de los 3.500 m.s.n.m. disminuyen hasta alrededor de 1.000 mm/año. Sus tierras están comprendidas en los pisos térmicos cálidos (47%), templado (34%), frío (14%) y el piso térmico de páramo (5%) (CVC, 1994).

3. ANTECEDENTES

La distribución de las especies está, en una cierta parte determinada por el ambiente. Así, según la distribución de estos factores ambientales (clima, suelo, relieve) en el espacio, se puede decir, si la especie está presente o no (Jarvis et al. 2005^a). Varios estudios concretos, detallados a continuación, han demostrado cómo el análisis espacial pudo dar la opción prioritaria a la intervención y optimizó la conservación de las especies.

Draper et al. (2001) usaron la regresión logística para seleccionar sitios de desplazamiento para el *Narcissus cavanillesii*. El hábitat natural de la especie estaba bajo amenaza por la construcción de una presa. Se realizó un análisis espacial para identificar una región donde la especie que se desplazó, pueda sobrevivir. Las variables climáticas y ecológicas fueron utilizadas para encontrar los sitios óptimos, y la supervivencia de la especie en su hábitat nuevo se está supervisando.

Barbosa et al. (2003) desarrollaron modelos de distribución para planear la conservación de la nutria (*Lutra lutra*) en España. Utilizaron resultados de inventarios y un modelo de regresión logística múltiple para predecir la distribución de la nutria en toda España. Incluyeron la geografía, los indicadores de actividad humana (autopistas, centros urbanos,...), variables ambientales relacionadas con productividad, calidad de agua, altura y energía del medio ambiente en el modelo. Los resultados mostraron que el 73% de los sitios de presencia y ausencia predichos por el modelo eran correctos.

Ibisch et al. (2003) desarrollaron un método para evaluar el estado de conservación de especies en países poco investigados. Para eso, extrapolaron rangos de especies utilizando datos de distribución y factores abióticos que describen la probabilidad de existencia de taxa en un cierto espacio. También, analizaron el actual estado de conservación del hábitat de las especies. Aplicaron el modelo a la familia de las Orchidaceae. En un previo ejercicio publicado se había analizado el mismo grupo y resultó un porcentaje importante como amenazado. Ahora, teniendo en cuenta los rangos extrapolados y el estado de conservación de los hábitats, menos especies parecen estar vulnerables o amenazadas. Se supone que estos resultados reflejan la realidad de una mejor manera, que en el primer estudio. Las implicaciones están siendo discutidas.

Ledezma et al. (2004) quisieron identificar vacíos de conservación y áreas posibles para la conservación de poblaciones mínimas viables de especies con amplios requerimientos espaciales. Realizaron un modelo en el cual se analizó la situación de cada especie en términos de su viabilidad poblacional. A partir del conocimiento del hábitat y rango altitudinal de cada especie, determinaron su área probable de distribución y se incluyó información sobre densidad por tipo de hábitat. Luego, con la información sobre el estado de conservación a nivel nacional, se determinaron áreas núcleo y secundarias. Posteriormente, se analizó la situación para cada especie por área protegida y finalmente se procedió a determinar las áreas prioritarias de conservación para mantener poblaciones mínimas viables de cada una de las especies analizadas.

Jones et al. (1997) utilizaron el programa de FloraMap para predecir la distribución geográfica del haba salvaje (*Phaseolus vulgaris* L.) de acuerdo con la distribución de los especímenes de germoplasma y herbario. Los resultados predijeron correctamente nuevas áreas de presencia donde el haba salvaje no había sido recogida antes.

Dado el éxito de esta investigación, Segura et al. (2003) también utilizaron FloraMap para predecir la distribución de cinco especies del género *Passiflora* en los Andes norteños. Los resultados fueron cerca de las áreas de distribución conocidas de las especies y permitieron identificar fallas en la colección *ex situ* donde se debe investigar. Además, identificaron dos adaptaciones climáticas separadas dentro de una especie (citado en Jarvis et al. 2005^a).

Jarvis et al. (2005^b) utilizaron FloraMap, esta vez en la combinación con mapas tierra-cobertura, para localizar los sitios potenciales de colección para la pimienta salvaje *Capsicum flexuosum* Sendtn. Se encontró la especie en cinco de siete puntos predichos para presencia y no se encontró en cuatro de cinco puntos predichos para ausencia. Encontraron seis nuevas poblaciones, representando una mejora significativa en las misiones que colectaban anteriormente la especie sin la ayuda de los modelos para su predicción.

Hijmans y Spooner (2001) construyeron una base de datos de más de 6000 colecciones de papas salvajes (*Solanaceae* sect. Petota) y analizaron la distribución de cada especie, localizando los "hot spots" de diversidad. Utilizaron los métodos de mapeo de diversidad para localizar las áreas más diversas, así como los algoritmos de complementariedad de Rebelo (1994) para seleccionar la área mínima para capturar todas las especies. Se realizaron análisis de las distribuciones de las especies, cuantificando el área espacial que cada especie ocupó y definiendo la distancia máxima entre los puntos de la colección. Esto permitió la identificación de especies que fueron sobre colectadas de acuerdo con su rango geográfico.

Maxted et al. (2004) utilizaron el trabajo de Hijmans y Spooner (2001), como modelo para analizar la biogeografía de la especie salvaje de *Vigna* en África. En este caso, las prioridades de la conservación fueron determinadas comparando la riqueza actual de la especie en las colecciones de germoplasma y herbarios, con, la riqueza potencial, calculada con modelos proféticos de la distribución. El método de mapeo de diversidad fue utilizado para identificar los "hot spots" actualmente conocidos de la diversidad de *Vigna*, basados en las colecciones existentes. Entonces, FloraMap fue utilizado para mapear la distribución potencial de cada uno de las 70 especies. Si la probabilidad de encontrar la especie era más de 0.5, la presencia fue asumida y los resultados de cada especie fueron combinados para crear un mapa de la riqueza potencial de la especie. Comparar el "potencial" con la riqueza "real" de la especie permitió que los autores identificaran las nuevas áreas para la colección del germoplasma.

Ferguson et al. (2005) analizaron la adaptación climática de cada especie, a través de la extracción de los datos del clima, para cada punto de la colección en la base de datos. La estadística multivariable permitió que los autores agruparan las adaptaciones identificadas de la especie. Así lograron establecer hipótesis sobre la posible evolución del cacahuete cultivado (*Arachis hypogaea* L.) de sus parientes salvajes. El análisis de

adaptaciones climáticas como esto proporciona la información dominante para mejorar el uso de recursos genéticos, siendo muy útil en programas de mejora de la cosecha.

Draper et al. (2003) utilizaron análisis de cluster de una colección de sitios para definir unidades ecogeográficas para estratificar las colecciones del germoplasma de varias especies dentro de una región. Este método fue aplicado para asegurarse de que la colección del germoplasma cubrió el gradiente ambiental completo, con la finalidad de conservar la diversidad genética más grande.

Villaseñor y Tellez (2004) determinaron la distribución de cuatro especies mexicanas del género *Jefea* (*Asteraceae*) mediante el uso de un programa de modelaje bioclimático (BIOCLIM). Para ello, se utilizaron 19 parámetros climáticos y la distribución conocida de las especies obtenida de registros de herbario. El área potencial de cada especie concuerda con algunas propuestas de regionalización del país, como las provincias geomorfológicas, las provincias fitogeográficas o las ecorregiones. Los resultados sugieren, que la distribución de estas especies se extiende a 26 regiones terrestres prioritarias de México, aunque los registros de herbario solamente exponen su presencia en seis de ellas.

Forero (2001), realizó una ubicación geográfica y estado actual de treinta especies de flora amenazada en el Valle del Cauca. En la tabla 1, se presenta la información básica para *Aniba perutilis* Hemsley, que sirvió para el estudio. En la primera columna, aparecen las localidades reportadas en los ejemplares de herbario. En la segunda, se registran todos aquellos sitios donde se encontró la especie. En la tercera, se encuentra el censo de los individuos registrados o el de una población.

Tabla 1: Registros de presencia de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca.
Fuente: Forero, 2001.

LOCALIDAD REGISTRADA	LOCALIDAD ENCONTRADA	CENSO
Palmira, margen derecha quebrada Las Delicias. 2.200 m. s.n.m. Univalle.	Cordillera Occidental, Alto Pance, corregimiento El Cedro	Individuos 1-4
Valle, río Cali, El Recuerdo Cordillera Occidental Uninal-Bogotá.	Municipio de Buenaventura, región del la Reserva Natural del Escalereite	Población
	Municipio de Riofrío, Reserva Natural de Liverpool	Individuos 8-10
	Municipio de Palmira, Reserva Natural Nirvana, vía La Buitrera	Individuos 1

4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Poblaciones bióticas enteras disminuyen y desaparecen debido a la perturbación ejercida sobre el medio por las actividades humanas. Se constituye esto en uno de los conflictos ambientales más graves que debe enfrentar actualmente la humanidad (Wilson, 1988 citado en Lobo, 2000).

En este marco, el departamento del Valle del Cauca, por sus características geográficas y de sus suelos, ha sufrido un notable deterioro de sus ecosistemas y la pérdida y puesta en peligro de gran número de sus especies (IAVH 1998). Así es el caso de la especie *Aniba perutilis* Hemsley (Comino crespó), que por sus características maderables a sufrido una excesiva presión, convirtiéndola en una especie con un riesgo extremadamente alto de extinción en estado silvestre (Obregón, 2006).

Por consiguiente, acciones concretas deben desarrollarse para manejar y conservar las poblaciones aun existentes de *Aniba perutilis* Hemsley. Por ello, es necesario, entre otras características, conocer el área de distribución real y/o los hábitats potenciales más adecuados en el departamento del Valle del Cauca, donde la especie pueda desarrollarse en las mejores condiciones.

En este contexto se necesita contestar a la pregunta siguiente: **¿Cuál es el área de distribución de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca, donde se pueden enfocar los esfuerzos para la conservación de esta especie?**

5. JUSTIFICACIÓN

El Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, esta desarrollando, en el departamento del Valle del Cauca, el proyecto “Evaluación de conservación del departamento de Valle del Cauca, basada en principios de la planeación sistemática de la conservación”. Su objetivo es presentar opciones de conservación para el departamento, como insumo para las acciones de autoridades ambientales y sociedad civil.

Aniba perutilis Hemsley es una especie que se caracteriza por una madera muy fina. Por esta razón, en los últimos tiempos, ha sufrido una sobre explotación. En 1994, la IUCN (Internacional Union for Conservation of Nature) presento una lista roja, donde *Aniba perutilis* Hemsley, aparece en grado crítico (En/cr), haciendo referencia al riesgo alto de extinción en estado salvaje (<http://www.resnatur.org.co/quienes/logros.html>; www.revista-MM.com). Para el departamento del Valle del Cauca, Forero presento, en 2001, una lista de las especies en vías de extinción, en la cual *Aniba perutilis* Hemsley, aparece como vulnerable (VU). En consecuencia, se requiere de una evaluación objetiva y acciones eficaces para su conservación en estado silvestre.

En la actualidad han nacido nuevas herramientas estadísticas para formar modelos de predicción de la distribución de las especies (Guisan y Zimmermann, 2000). Estos métodos utilizan las condiciones ambientales de donde la especie se ha encontrado, para construir un modelo que permite localizar otras áreas donde la especie esta distribuida y otras áreas potencialmente convenientes para que la especie pueda desarrollarse (Jarvis et al. 2005^a). Por esta razón se utilizaron estos modelos de predicción para este caso de investigación. Estos modelos permiten conocer los sitios de distribución potencial y real de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca. De esta manera se pueden orientar los esfuerzos, ahorrando tiempo y dinero, a la hora de planear su conservación en el departamento.

En este marco se realizo la presente investigación que determino las áreas de distribución potencial de la especie *Aniba perutilis* Hemsley, para el departamento del Valle del Cauca.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo General

Predecir el área potencial de distribución de la especie *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca.

6.2 Objetivo Específico

Predecir las áreas potenciales de distribución de la especie *Aniba perutilis* Hemsley, con los modelos de distribución de especies DOMAIN, BIOCLIM, GARP Y MAXENT, para el departamento del Valle del Cauca.

7. MARCO TEÓRICO

7.1 *Aniba Perutilis* Hemsley (Comino crespo)

7.1.1 Clasificación

FAMILIA: Lauraceae

GENERO: *Aniba*

ESPECIE: *Aniba perutilis* Hemsley

NOMBRE COMUN: Para Colombia: Comino, Laurel Comino, Comino Crespo, Comino Canelo, Caparrapí, Aceite de Palo, Comino Real, Punte, Chachajo.

ESTADO DE CONSERVACIÓN: La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (IUCN) la clasifica dentro de la categoría En/cr, unidad sistemática de clasificación, que hace referencia a que la “especie se enfrenta a un riesgo extremadamente alto de extinción en estado silvestre” (Obregón, 2006).

La Familia de las lauráceas es formada por árboles y arbustos en su mayoría perennifolios, con maderas aromáticas, aunque a veces fétidas, y hojas con aceites esenciales. Las hojas son alternas, raras veces opuestas, simples, generalmente coriáceas, a menudo provistas de glándulas y con la nerviación pinnada. Las inflorescencias son axilares o casi terminales, generalmente paniculadas o en ocasiones racemosas. Tiene flores bisexuales o unisexuales, amarillentas o verdosas, con perianto de 4-6 piezas y 9-12 estambres dispuestos en 3-4 verticilos, que a veces están reducidos a estaminodios. El fruto es drupáceo o bacciforme, a veces recubierto en parte por el perianto, que persiste a modo de cúpula. Esta familia comprende alrededor de 47 géneros y sobre 2000-2500 especies, originarias principalmente de regiones tropicales y subtropicales (www.arbolesornamentales.com/Lauraceae.htm). En Colombia, la Familia lauraceae esta representada, según Madriñan (<http://botanica.uniandes.edu.co/lauraceae.htm>), en 18 géneros: *Aiouea*, *Anaueria*, *Aniba*, *Beilschmiedia*, *Caryodaphnopsis*, *Cassytha*, *Chlorocardium*, *Cinnamomum*, *Cryptocarya*, *Endlicheria*, *Licaria*, *Mezilaurus*, *Nectandra*, *Ocotea*, *Persea*, *Pleurothyrium*, *Rhodostemonodaphne* y *Williamodendron*.

El genero *Aniba*, establecido por Aublet (1775), incluye 41 especies, clasificadas en seis subgrupos. Su distribución se extiende desde las Antillas, Guyana, Los Andes hasta regiones secas del centro y Sur de Brasil (Kubitzki y Renner 1982 citado en Leon y Espinoza, 2000). En Colombia se encuentra representado por, aproximadamente, 23 especies, según Madriñan (<http://botanica.uniandes.edu.co/lauraceae.htm>), las especies reportadas para Colombia son: *A. affinis* Mez, *A. canelilla* Mez, *A. cinnamomiflora* C.K. Allen, *A. citrifolia* Mez, *A. coto* (Rugby) Kostermans, *A. ferruginea* Kubitzki, *A. guianensis* Aublet, *A. hostmanniana* Mez, *A. megaphylla* Mez, *A. muca* Mez, *A. novo-granatensis* Kubitzki, *A. panurensis* Mez, *A. parviflora* Mez, *A. percoriacea* C.K. Allen, ***A. perutilis* Hemsley**, *A. puchury-minor* (Martius) Mez, *A. riparia* (Nees) Mez, *A. robusta* Mez, *A. rosaeodora* Ducke, *A. taubertiana* Mez, *A. vaupesiana* Kubitzki, *A. venezuelana* Mez y *A. williamsii* O. C. Schmid.

7.1.2 Descripción morfológica de *Aniba perutilis* Hemsley

Figura 2. Árbol de *Aniba perutilis* Hemsley.
Foto: Carlos A. Hurtado.



Tamaño (figura 2): Es un árbol mediano hasta grande, de más de 30m de altura y de 2 metros de diámetro en la edad madura.

Figura 3. Ramas de *Aniba perutilis* Hemsley.
Foto: Carlos A. Hurtado.



Ramas (figura 3): Sus ramas son angulosas, gruesas, duras, tardíamente globalescentes y lisas (<http://fm1.fieldmuseum.org/vrrc/index.php?page=results&family=LAURACEAE>).

Figura 4. Hoja de *Aniba perutilis* Hemsley.
Foto: Carlos A. Hurtado.



Hojas (figura 4): Las hojas son alternas, coriáceas, lanceoladas, hasta oblanceoladas u abovado-elíptica. El tamaño de las hojas es de 9-15cm de largo y de 4-6cm de ancho. La base es cuneada, decurrente, el ápice es brevemente acuminado, la margen plana, la haz glabra, verde lisa, con el nervio medio un poco prominente o plano. Los nervios primarios apenas son visibles. El envés es pulverulentotomentuloso, más o menos glabro, por lo general purinoso, con el nervio medio prominente. Son visibles 7 a 12 pares de nervios secundarios poco prominentes. Posee pecíolos tomentulosos, caniculados de 1 a 2cm de largo (<http://fm1.fieldmuseum.org/vrrc/index.php?page=results&family=LAURACEAE>).

Figura 5. Flores de *Aniba perutilis* Hemsley.

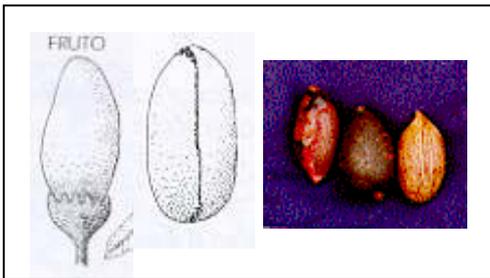
Foto: Carlos A. Hurtado.



Flores (figura 5): Las flores son pequeñas y poco vistosas, bisexuales o estaminadas. Posee más de tres estambres, estos tienen filamentos libres, anteras de seis estambres exteriores con dos celdas. Las flores son de color marrón y raramente rojas. Los pétalos erectos, carnosos, algo cóncavos, aovado-orbiculares, de más de 1mm (<http://fm1.fieldmuseum.org/vrrc/index.php?page=results&family=LAURACEAE>).

Figura 6. Frutos de *Aniba perutilis* Hemsley.

Fuente: Santamaria, 2005.



Fruto (figura 6): Es una baya elipsoide lisa, mucronulada. Sus dimensiones generales son 27mm de largo y 20mm de diámetro. La cúpula es espesa, hemisférica, engrosada irregularmente en la base, lisa o verrugosa, de 8 a 15mm de alto y 15 a 20mm de ancho. El fruto al madurar es morado y su pulpa tiene olor a aguacate.

7.1.3 Fenología

Foliación: Es un árbol perenne pero tiende a ser mayor el brote de hojas en los meses más lluviosos y la caída de hojas se incrementa al inicio de los períodos lluviosos.

Floración: Se da con mayor intensidad en los meses de menor precipitación.

Fructificación: En general aumenta en los períodos lluviosos.

Diámetro a la Altura del Pecho (DAP): Para los árboles maduros está alrededor de 2m (Santamaría, 2005).

7.1.4 Hábitat

Nativa de la Amazonía colombiana, la distribución natural de *Aniba perutilis* Hemsley se da desde las selvas húmedas de Costa Rica, extendiéndose por la región de los Andes hasta Bolivia y la Amazonía Brasileña, en zonas de bosques primarios ubicadas entre los 0 y los 2.600 m.s.n.m. De forma solitaria crece favorablemente en suelos de bosques nublados o selvas húmedas y, algunas veces en grupo, sobre los filos de montaña. En Colombia se distribuye en la Costa del Pacífico, y en los departamentos de Sarare (Arauca), Antioquia, Caldas, Llanos Orientales, Chocó, Santander, Valle del Cauca, Risaralda, Huila, Meta y en estribaciones de las Cordilleras Occidental y Central (Obregón, 2006; Santamaría, 2005)

7.1.5 Interacciones

Aniba perutilis Hemsley presenta interacciones con todas las especies que se desarrollan en los bosques en los cuales se encuentra. Sirve como soporte de trepadoras, alimento para aves, mamíferos o reptiles que comen sus frutos, como sombra para otras especies del bosque, proporcionando el néctar a insectos y algunas aves, etc. Pero la interacción hasta ahora más estudiada se refiere a la dispersión de semillas realizada por el guácharo (*Steatornis caripensis* Humbolt). Según estudio e investigación de Norman Rodolfo Alzate Cano (1986), citado en Santamaría (2005), se puede clasificar esta relación como mutualista. Se encontró que la regurgitación de las semillas de *Aniba perutilis* Hemsley en el tracto digestivo de los guácharos influye positivamente en la germinación, por lo que regiones con abundancia de árboles de comino se encuentran en zonas donde también vive el guácharo. Dentro del mismo estudio también se realizaron ensayos con Tucanes (Ramphastidae), como estrategia de comparación, encontrando favorabilidad en la germinación de semillas regurgitadas por estos (Obregón, 2006).

7.1.6 La madera y sus usos

La madera de *Aniba perutilis* Hemsley, ha sido definida por fabricantes de muebles, artesanos, diseñadores y ebanistas, como extremadamente bella (figura 7). Gracias a sus cualidades de lustre satinado, color, durabilidad, resistencia, veta y grano, es una de las maderas finas favoritas para la elaboración de muebles de alta calidad; logrando reconocimiento internacional.

Figura 7. Trabajos con *Aniba perutilis* Hemsley.
Foto: Carlos A. Hurtado.



Las diferentes aplicaciones de la madera de *Aniba perutilis* Hemsley, incluye trabajos de ebanistería y carpintería como la elaboración de muebles finos, de enchapes para muebles modernos y de armarios y gabinetes. También es empleada en trabajos artesanales para esculturas, talla y en la elaboración de estantes, bateas y pilones. En el área de la construcción, es un material altamente valorado. De hecho, propiedades como su alta resistencia a las diferentes condiciones ambientales (humedad, agua, suelo) y al ataque de insectos; son respaldadas por el Proyecto ITTO PD 37/88 – Fases I y II que la califica como una de las especies propicias para la construcción y, por estudios realizados en construcciones coloniales (en Medellín, Antioquia), en donde se demostró que las vigas elaboradas con la especie aún están en perfecto estado (Obregón, 2006).

Gracias a estas investigaciones, se encontró que existen dos variedades de la madera: la llamada comino crespo, empleada para la ebanistería y carpintería y, la común o comino liso; indicada para la construcción de traviesas para ferrocarril, postes, estructuras internas, pisos de listón y machihembrado y en la edificación de embarcaciones (Obregón, 2006).

7.2 Modelos predictivos

El estudio de las condiciones climáticas durante los dos últimos millones de años demuestra que el medio abiótico está en un permanente estado de no-equilibrio y que las condiciones ambientales siguen tendencias cambiantes de distinta duración. La respuesta de las especies a dichos cambios, ha sido la distribución sin evidencias de modificaciones morfológicas importantes (Coope, 1979; Elias, 1994; Huntley y Birks, 1983; Webb et al. 1993). Si las especies son relativamente rígidas y si, además, el medio abiótico está en permanente estado de transformación, la reacción más eficaz de una especie ante una modificación ambiental, es la de variar espacialmente su distribución geográfica. Así, acopla espacialmente los requerimientos eco-fisiológicos en aquellos enclaves que

reproducen las condiciones ambientales para las que está adaptada (Lobo, 1999). Por lo tanto, este modo de comprender el medio natural otorga gran importancia a los modelos espaciales. Estos permiten conocer los patrones de la distribución de las especies (Jarvis et al. 2005).

Estos modelos de distribución se pueden agrupar en dos amplias clases: los que simulan procesos interactivos detallados entre los organismos y su ambiente; y los que utilizan características del hábitat, para utilizar la correlación entre las variables ambientales y la distribución muestreada de la especie (Carpenter et al. 1993).

Por ejemplo de la primera clase, el modelo de CLIMEX de Sutherst y Maywald (1985), es capaz de comparar el potencial de crecimiento y la persistencia relativa de las poblaciones de organismos poiquilotermos (que no pueden regular la temperatura corporal, lo hacen con la temperatura del ambiente), en las diversas horas y lugares. Esta primera clase de modelos, requiere conocimiento de la respuesta animal a los extremos ambientales determinados, junto con expedientes climáticos detallados (Carpenter et al. 1993). Mientras que estos modelos proporcionan características biológicas y ecológicas importantes, no satisfacen necesariamente las necesidades inmediatas de la conservación, donde la información del proceso adecuado es generalmente escasa (Carpenter et al. 1993).

La otra amplia clase de modelos como se menciona anteriormente en este capítulo, asumen que las variables climáticas son los conductores principales de la distribución geográfica (Franklin, 1995; Guisan y Zimmerman, 2000; Jarvis et al. 2005). Sin embargo otros factores también se han utilizado, como las características del suelo (Anderson et al. 2002), la topografía (Draper et al. 2003), y las condiciones específicas del hábitat (Reutter et al. 2003). Hay muchos modelos y algoritmos que se han aplicado al problema. Quizás los métodos más reconocidos utilizan los modelos lineales generalizados (GMLs), la regresión logística para predecir la distribución de la especie (Cumming, 2000; Draper et al., 2003; Guisan et al. 2002 citados en Jarvis et al. 2005). Este método requiere no solamente puntos de presencia sino también puntos de ausencia. En muchos casos, en especial en las bases de datos de herbarios, estos datos de la ausencia no están disponibles y son difíciles de generar (Jarvis et al. 2005). Otro algoritmo utilizado en los modelos de distribución de especies es el análisis de componentes principales (ACP), es una técnica estadística multivariante de síntesis de la información (numero de variables) (Calvito, 1997). Este método implica realizar un ACP sobre los datos ambientales en los puntos donde la especie fue colectada, posteriormente computa una probabilidad de distribución en el resto del área de estudio. Este método se ha incorporado en el software de FloraMap (Jones et al. 1997; Jones y Gladkov, 1999). El análisis factorial, técnica estadística multivariante que sintetiza las interrelaciones observadas entre un conjunto de variables (Salvador y Gargallo, 2006), también se adopto para modelar la distribución de la especie (Hirzel et al. 2002) y fue incorporado en BioMapper, que utiliza el algoritmo de análisis de Ecological Niche Factor Análisis (ENFA). Otros modelos de distribución de especies son: BIOM, que combina métodos de la adaptabilidad del hábitat con cálculos basados en distancia (Henning Sommer et al., 2003); DOMAIN, que utiliza el Gower métrico para calcular similaridad; GARP, que utiliza un algoritmo genético, (Anderson et al., 2002); y BIOCLIM, que utiliza una técnica de limitación para definir las condiciones ambientales que la especie habita (Jarvis et al. 2005).

Como puede verse, muchas metodologías y herramientas están disponibles para predecir la distribución de las especies (Manel et al. 1999). Por consiguiente, a la hora de escoger el modelo, debe hacerse en base en la pregunta de investigación y el tipo de datos que están disponibles. En la presente investigación se utilizaron los modelos de la segunda clase (técnica de estadística multivariante). Al contrario de la primera clase de modelos, estos pueden ser aplicados con pocos conocimientos sobre la ecología de la especie y así cumplir con la rápida acción que se requiere para la conservación.

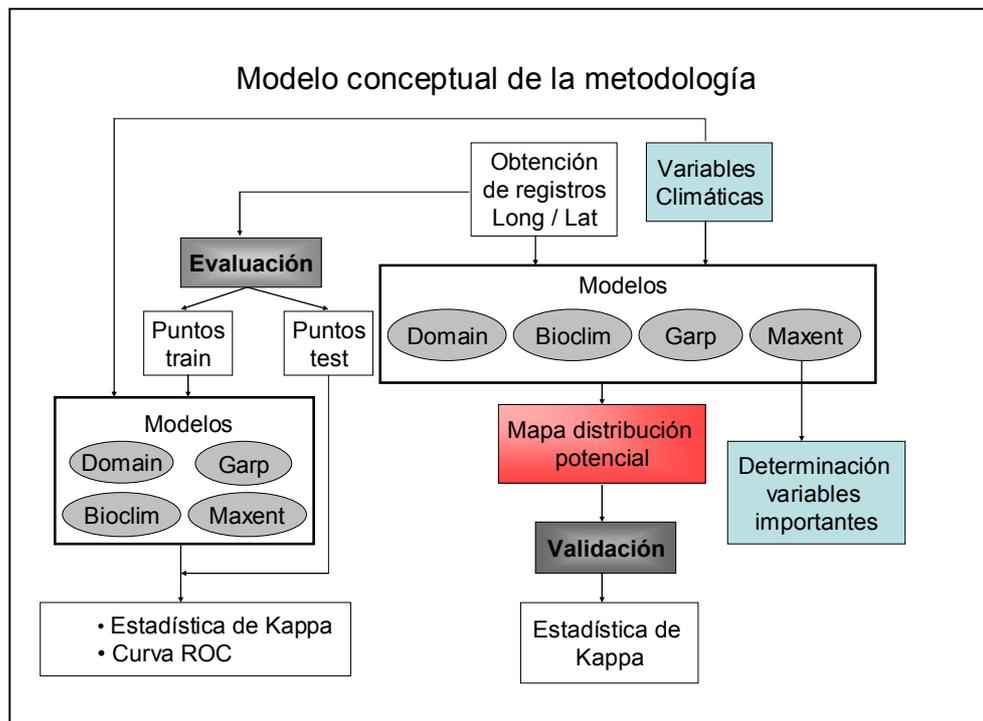
8. MATERIALES Y MÉTODO

La predicción de la distribución potencial de la especie *Aniba perutilis* Hemsley, en el departamento del Valle del Cauca, se fundamentó metodológicamente en la teoría de modelos de distribución y en los sistemas de información geográficos (SIG).

El sistema metodológico se desarrolla de acuerdo al objetivo específico. La figura 8, muestra los pasos para el análisis y el cumplimiento del objetivo general.

Objetivo específico: Predecir las áreas potenciales de distribución de la especie *Aniba perutilis* Hemsley, con los modelos de distribución de especies, DOMAIN, BIOCLIM, GARP Y MAXENT, para el departamento del Valle del Cauca.

Figura 8. Modelo conceptual de la metodología de la predicción de las áreas potenciales de distribución de la especie *Aniba perutilis* Hemsley, en el departamento del Valle del Cauca.



8.1 Actividad 1. Recopilación de los registros de Aniba perutilis Hemsley.

Se recopiló la información de la base de datos de especímenes de herbarios, Corporaciones Autónomas Regionales de Colombia, Institutos de Investigación y el conocimiento de expertos.

Los registros de herbarios que se consultaron fueron:

- Universidad Tecnológica del Choco (CHOCO),
- Herbario Nacional Colombia (COL),
- Herbario Federico Medem Instituto Alexander von Humboldt (FMB),
- Herbario de Referencia de CORANTIOQUIA (HR-C),
- Herbario Jardín Botánico Joaquín Antonio Uribe (JAUM),
- Herbario Jardín Botánico Juan María Céspedes (TULV),
- Herbario Forestal Universidad Distrital (UDBC),
- Herbario José Cuatrecasas Arumi (VALLE),
- Universidad del Valle (CUVC),
- Neotropical Herbarium Specimens,
- Missouri Botanical Garden,
- The New York Botanical Garden.

Las Corporaciones Autónomas Regionales que se consultaron fueron:

- Corporación Autónoma regional del Valle (CVC),
- Corporación Autónoma del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA).

Los Institutos Consultados fueron:

- Instituto para la Investigación y la Preservación del Patrimonio Cultural y Natural del Valle del Cauca (INCIVA),
- Instituto de investigación de recursos Biológicos Alexander Von Humboldt

Los expertos consultados fueron:

- Cogollo, Álvaro. Director herbario JAUM
- Botero, Jaime Diego. Investigador y propietario de la reserva Nirvana
- Devia, Wilson. Director herbario TULU
- Fagua, Camilo. Investigador Humboldt
- Forero Pinto, Luís Eduardo. Profesor Universidad Nacional Palmira,
- García, Ligia. Botánico, CVC,
- Herrera, Álvaro. Funcionario, CVC Buga
- Ruiz, Luisa Fernanda. Estudiante de maestría en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Colombia
- Silverstone, Philip. Director herbario CUVC
- Toro Murillo, Juan Lázaro. Ingeniero Forestal, Corantioquia,

- Gentil Villanueva, Funcionario, CVC Buga,
- Vargas, Henry. Funcionario administración municipal de Sevilla
- Valencia, Leonardo. Colaborador trabajos de campo, Humboldt, INCIVA
- Vargas, William. Investigador Senior-Paisajes Rurales, Humboldt

8.2 Actividad 2. Ejecución de los modelos.

Las herramientas SIG utilizadas en esta investigación fueron: ArcGIS 9.0 y DIVA-GIS 5.2. Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés) es un sistema de hardware, software, información espacial y procedimientos computarizados, que permite y facilita el análisis, gestión o representación del espacio (Arcila, 2003).

Los modelos fueron ejecutados a partir de:

- Las coordenadas geográficas de los puntos de registro de la especie *Aniba perutilis* Hemsley.
- Las variables climáticas.
- Un Mapa de límites de los países donde se encontraron los registros de la especie *Aniba perutilis* Hemsley. Este mapa se obtuvo a partir del mapa de los países de Latinoamérica incorporado al programa FloraMap.

Los modelos BIOCLIM, DOMAIN, GARP y MAXENT fueron utilizados para predecir la distribución potencial de *Aniba perutilis* Hemsley, en el departamento del Valle del Cauca. Estos modelos determinan la relación entre los factores climáticos y los registros de presencia de la especie, para mapear su distribución espacial potencial (Guisan y Thuiller, 2005; Guisan y Zimmermann, 2000). Se asume que el clima en los puntos de observación de una especie es representante de la gama ambiental del organismo. El clima en estos puntos se utiliza como el sistema de calibración para computar un modelo de la probabilidad de presencia en base al clima (Jarvis et al. 2005).

Los datos de clima fueron obtenidos a partir de la base de datos de WorldClim (<http://biogeو.berkeley.edu/worldclim/worldclim.htm>). WorldClim es una base de datos de variables climáticas que se presenta en la forma de archivos raster. Un raster es un archivo utilizado en los SIG que presenta un área espacial dividida en celdas (o píxel) regulares (cuadrícula). Cada celda está asociada al valor de un atributo, como por ejemplo la altitud, que corresponde al promedio del valor de este atributo sobre toda la superficie de la celda considerada. Un píxel es la menor unidad en la que se descompone una imagen digital, como el raster. Así, el tamaño del píxel define la resolución del raster. Mas pequeño es el píxel, mejor es la resolución. En este caso, la resolución es de 1 kilómetro (cada celda corresponde en la realidad a un cuadrado de un kilómetro de lado). Los datos de Worldclim fueron generados por interpolación de datos promedios mensuales de mas de 46 000 estaciones meteorológicas (Hijmans et al. 2004 citado en Collet, 2005).

Las variables Bioclimáticas se derivan de los valores mensuales de la temperatura y de la precipitación, para generar variables biológicamente más significativas. Las variables bioclimáticas representan las tendencias anuales (ejemplo: promedio de

temperatura anual, precipitación anual), la estacionalidad (ejemplo: rango anual de temperatura y precipitación) y los factores ambientales limitantes (ejemplo, temperatura del mes más frío y más caliente, y precipitación de los cuartos más húmedos y secos). Un cuarto es un período de tres meses (1/4 del año) (Hijmans et al. 2005).

Las variables climáticas utilizadas fueron:

1. Temperatura promedio anual (°C)
2. Oscilación diurna de la temperatura (°C)
3. Isothermalidad (°C) (cociente entre parámetros 2 y 7)
4. Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación, en %)
5. Temperatura máxima promedio del periodo más cálido (°C)
6. Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C)
7. Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre parámetros 5 y 6)
8. Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (°C)
9. Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (°C)
10. Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (°C)
11. Temperatura promedio del cuatrimestre más frío (°C)
12. Precipitación anual (mm)
13. Precipitación del periodo más lluvioso (mm)
14. Precipitación del periodo más seco (mm)
15. Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación, en %)
16. Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm)
17. Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)
18. Precipitación del cuatrimestre más cálido (mm)
19. Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)

8.2.1 BIOCLIM (perfil bioclimático)

Por medio de un análisis de perfiles bioclimáticos, BIOCLIM determina teóricamente los límites probables de la distribución de la especie (Lindermayer et al., 1991). Es decir que define los sitios con condiciones climáticas similares (homoclimas) (Villaseñor y Tellez-Valdes, 2004). BIOCLIM computa los parámetros bioclimáticos para todos los sitios de registro, con ellos genera un perfil bioclimático que sintetiza las condiciones climáticas de los sitios analizados y los compara con los atributos climáticos del área de estudio (Fischer et al., 2001). Esta comparación permite determinar los sitios con clima adecuado (dominio), en los cuales pudiera encontrarse la especie de estudio (<http://cres.anu.edu.au/outputs/anuclim/doc/bioclim.html>).

El dominio genera dos áreas potenciales de distribución, central y extenso. El dominio central está definido por un conjunto de celdas que registran homoclimas para la especie dentro de valores porcentuales que caen en el intervalo de 5-95% del perfil bioclimático. Estas celdas se consideran como un clima conveniente para la especie. Los valores menores de 5% y mayores de 95% se consideran como celdas con un clima no conveniente para la especie, corresponden a valores extremos del clima. Y el dominio extenso incluye celdas que caen dentro de valores porcentuales que van de 0-100% del

perfil (Nix, 1986; Lindernmayer et al. 1991; Villaseñor y Tellez-Valdes, 2004; García, 2006).

Para la presentación del mapa de resultados de cada modelo, se fijo un formato de valor entre 0-1, que se pueda similar a una probabilidad de presencia de la especie en cada celda de la zona de estudio. Utilizando este rango de valores comunes, se pudo adicionar los resultados finales de los modelos.

8.2.2 DOMAIN (métrica de Gower)

DOMAIN utiliza la estadística de Gower para calcular distancia. Esta proximidad se llama el Gower métrico. Esta distancia se calcula entre cada píxel del mapa y cada punto de presencia registrado, a partir de los valores de las 19 variables climáticas del píxel y de los puntos de presencia. La distancia entre el punto de presencia A y el píxel B para una sola variable climática es calculada como la diferencia absoluta de los valores de esta variable, dividida por el rango de esta misma variable a través de todos los puntos de presencia. La distancia Gower se define entonces como el promedio sobre todas las variables climáticas (Carpenter et al. 1993).

$$d_{AB} = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p \frac{|A_k - B_k|}{range(k)}$$

d_{AB} : distancia Gower

p : cantidad total de variables climáticas

A_k : Valor de la variable k en el punto de presencia A

B_k : Valor de la variable k en la celda B

$range(k)$: Rango de la variable k a través de todos los puntos de presencia

La estadística de similaridad de Domain (D) se calcula como:

$$D = 1 - d_{AB}$$

La similaridad entre cada píxel de la cuadrícula y todos los puntos de presencia es mapeada. Así, cuanto más alto esta el valor de D en un píxel, los valores de las variables climáticas de este píxel son más similares a los puntos de presencia de la especie. Es decir el píxel tiene condiciones similares a los puntos de presencia (Carpenter et al. 1993).

8.2.3 GARP (algoritmo genético)

Los sistemas de reglas desarrolladas por GARP se describen más exactamente como modelos deductivos que como modelos matemáticos. El modelo deductivo se diferencia del modelo matemático en que estos están relacionados más con la lógica que con las matemáticas y el proceso básico, es inferencia lógica más que un cálculo.

La forma general de la regla es: Si A es B, y A es verdad, entonces predice B. La declaración denotada como A se llama la condición previa, mientras que la que esta denotada como B se llama la conclusión. En términos probabilísticos contamos con que, si la probabilidad de A dada B es 1 ($P(B|A)=1$) y la probabilidad de A es 1 ($P(A)=1$) entonces la probabilidad de B es 1 ($P(B)=1$). El problema de la predicción entonces consiste en encontrar las situaciones en las cuales la probabilidad condicional $P(B|A)$ es 1, o por lo menos muy alto, porque de ellas podemos construir el modelo $A = B$ y utilizarlo para la inferencia (Stockwell y Noble, 1992).

GARP arroja unos datos dependiendo de las interacciones. Estas interacciones son las que hace el programa entre las capas ambientales determinadas para la especie de estudio y los puntos de registro de la especie que se realicen. Para nuestro caso, se realizaron 300 interacciones, esto quiere decir, 300 combinaciones diferentes entre variables ambientales y registros. De cada combinación resulta un mapa que muestra la presencia (1) o ausencia (0) de la especie en la zona de estudio. Estos mapas se adicionan para obtener un mapa final de predicción (<http://www.lifemapper.org/desktopgarp/Default.asp?Item=3&Lang=1>). Así, en el mapa final las zonas con valores mas altos corresponden a los lugares donde se repiten los resultados de presencia un mayor número de veces y las zonas con valores bajos corresponden a los lugares con ausencia en la mayoría de los casos (Stockwell y Noble, 1992). Los lugares con valores más altos se consideran como sitios donde hay mayor probabilidad de encontrar la especie, y, al contrario, los sitios con valores más bajos se consideran con baja probabilidad de encontrar la especie.

8.2.4 MAXENT (entropía máxima)

MAXENT estima la probabilidad de distribución esperada, encontrando la probabilidad de distribución que es más uniforme (entropía máxima), dadas las restricciones de que el valor esperado de cada variable predicativa ambiental ajuste con su promedio empírico (valores para los datos de registros positivos) (Phillips et al. 2006).

La entropía es el grado de evolución (orden) existente en un sistema. El principio de la entropía máxima afirma que, para todo sistema cerrado, la entropía siempre tiende a aumentar, es decir que todo sistema cerrado siempre tiende al desorden o a la incertidumbre estadística (Phillips et al. 2006).

Al aplicar MAXENT para modelar la distribución de presencia de especies, los píxeles de la zona de estudio son el espacio en el que la distribución de probabilidades de MAXENT esta definida. Los píxeles con presencia de la especie registrada, constituyen los puntos de muestra y las características son las variables climáticas (Phillips et al. 2006).

La distribución desconocida de la probabilidad, se llama π . π esta definido sobre un rango X (que corresponde a los píxeles del área considerada). Los elementos

individuales de X son considerados como puntos. La distribución de π asigna una probabilidad $\pi(x)$, positiva, para cada punto x . La suma (distribución desconocida) de estas probabilidades es de 1. La aproximación de π es también una distribución de probabilidad, se escribe $\hat{\pi}$.

Para predecir el área potencial de distribución, la entropía de $\hat{\pi}$ esta definida como:

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

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

8.2.5 Suma de los resultados de los modelos

Para obtener el mapa final de la predicción del área potencial de distribución de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca, se realizo una adición de los resultados de los modelos de predicción. Como se menciono anteriormente, los valores finales de los modelos se convirtieron a valores entre 0 y 1. El resultado de los 4 modelos se adicione para obtener un mapa de predicción final, este resultado se dividió por 4 para obtener los valores de probabilidad de 0 a 1 para el mapa final. Este procedimiento se realizo con el SIG ArcGIS 9. Este promedio permitió identificar las áreas de los hábitats potencialmente convenientes, que coincidían entre los modelos, con más alta probabilidad de presencia de la especie *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca.

8.2.6 Evaluación del modelo

Esta evaluación consiste en una prueba estadística para saber como esta funcionando el modelo en relación a la exactitud de la predicción con la realidad. Se determino la calidad de la predicción del área de distribución de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca, utilizando la herramienta de evaluación incorporadas en DIVA-GIS y la estadística de Kappa de Cohen y el área bajo la curva de la función ROC (Receiver Operating Characteristic).

8.2.7 Estadística de Kappa

La estadística de Kappa determina hasta que punto la concordancia observada es superior a la que es esperable obtener por el azar. Así pues en caso de concordancia perfecta el valor de Kappa es 1; si la concordancia observada es igual a la esperada por el azar, el valor de Kappa vale 0; y en el caso de que el acuerdo observado sea inferior al esperado el índice kappa es menor que cero (García, 2006).

La estadística de kappa se calcula según la formula siguiente:

$$\frac{[(a+d) - (((a+c)(a+b) + (b+d)(c+d))/n)]}{[n - (((a+c)(a+b) + (b+d)(c+d))/n)]}$$

La fórmula se aplica a las estimaciones de las ocurrencias (tabla 2):

- Positivas verdaderas (*a*), es decir la predicciones de presencia de la especie donde la especie es realmente presente
- Positivas falsas (*b*) que corresponde a los puntos donde la presencia fue predicha pero en realidad la especie no esta presente
- Negativas falsas (*c*), donde se predijo la ausencia pero en realidad la especie esta presente
- Negativas verdaderas (*d*), cuando se predijo ausencia y que realmente la especie es ausente

N corresponde al numero total de casos (de puntos) donde se comparo la predicción con la realidad (Manel et al., 2001).

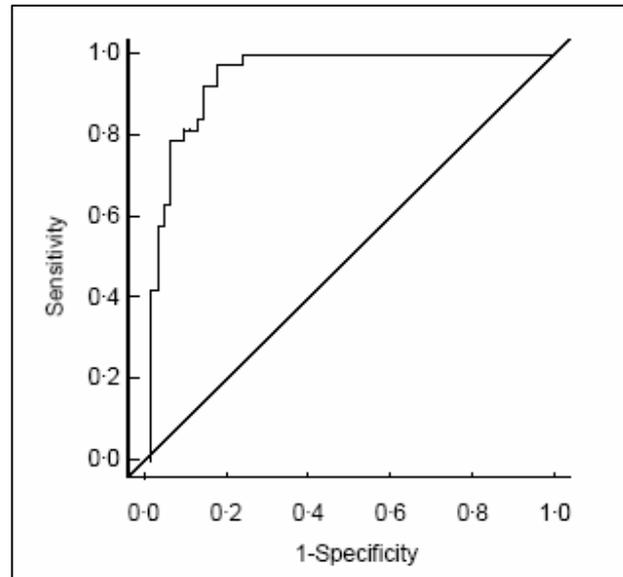
Tabla 2. Matriz de validación de resultados de presencia-ausencia del modelo: (a) positivos verdaderos; (b) positivos falsos; (c) negativo falso; (d) negativo verdadero.

		Observación	
		Presencia	Ausencia
Predicción	Presencia	<i>a</i>	<i>b</i>
	Ausencia	<i>c</i>	<i>d</i>

8.2.8 Curva ROC

La curva ROC (Receiver Operating Characteristic) es una técnica que indica la exactitud global de la prueba. Un diagrama de ROC (figura 9) es obtenido trazando la fracción de casos clasificados correctos en el eje de y contra la fracción de los casos clasificados incorrectos para todas las probabilidades posibles en el eje de x (Fielding y Bell, 1997).

Figura 9. Ejemplo de una curva característica ROC (Receiver Operating Characteristic).
Fuente: Manel et al. 2001.



El área debajo de la curva de la función de ROC se toma como medida de la exactitud total que no es dependiente sobre un umbral particular (Deleo, 1993). Los valores del ROC varían a partir de 0,5 (ninguna exactitud evidente) a 1,0 (exactitud perfecta) (Manel et al. 2001).

Para la evaluación del modelo, se dividieron los puntos de registro de *Aniba perutilis* Hemsley en dos grupos. El primer grupo de puntos (train) se tomó para correr de nuevo los modelos y el segundo grupo (test) para realizar la prueba de evaluación en los nuevos resultados. Los grupos se dividieron con un porcentaje del 50%, debido a los escasos registros obtenidos, buscando así con esta división una significancia estadística para la prueba. Con los puntos obtenidos para el train, se corrieron los cuatro modelos. Los resultados de los modelos con los nuevos datos se adicionaron, de igual forma como fue mencionado anteriormente en este capítulo. Finalmente se comparó el resultado de esta predicción con los puntos test a través de la herramienta para la evaluación en DIVA-GIS. Los resultados de la evaluación se visualizaron en la curva ROC (Receiver Operating Characteristic) y el diagrama de Kappa de Cohen, para determinar la calidad de la metodología de predicción del área potencial de distribución de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento de Valle del Cauca.

8.3 Actividad 3. Validación del modelo en el campo.

La validación de los modelos de distribución de las especies consiste en probar si los ajustes hechos al modelo de predicción concuerdan con la realidad (Fielding y Bell, 1997). Es una prueba en el campo, donde se corrobora los resultados del modelo, en el cual se visita los puntos con probabilidad de presencia y ausencia.

La validación es el acto documentado de probar que cualquier procedimiento conduce realmente al resultado esperado (Definición de validación según la norma ISO 8402).

Se seleccionaron diez puntos (todos los puntos fueron tomados cerca a vías de acceso) en las zonas con mayor probabilidad de presencia de *Aniba perutilis* Hemsley, zonas con probabilidad mayor a 0,5. De igual manera se seleccionaron 10 puntos accesibles para ausencia, zonas con probabilidad menor a 0,5. Estos 20 puntos fueron expuestos en un mapa con las coordenadas (latitud y longitud), de modo que se pudiera utilizar un receptor de Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para alcanzar la localización de cada punto en el campo.

El resultado de la validación en el campo se trató con la estadística de Kappa de Cohen para determinar la concordancia del resultado del modelo con la realidad.

9. RESULTADOS

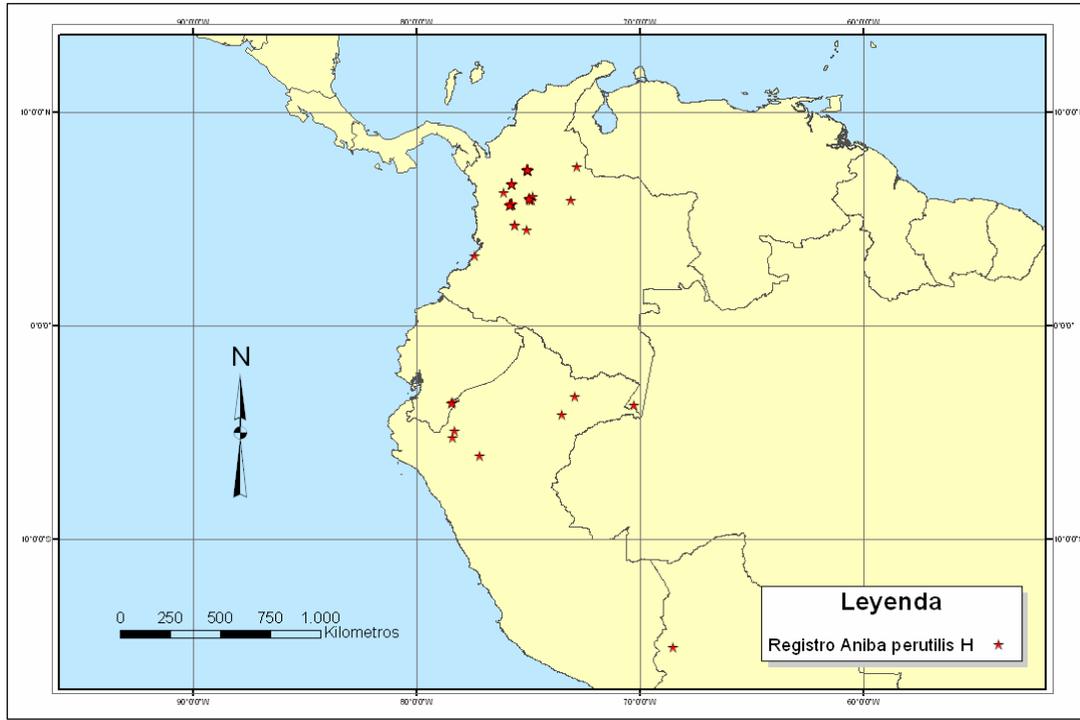
9.1 Registros de presencia de *Aniba perutilis* Hemsley.

Se obtuvieron 66 puntos de registros, de *Aniba perutilis* Hemsley. Su distribución esta presentada en la tabla 3 y la figura 10. El detalle y las coordenadas de los 66 registros de *Aniba perutilis* Hemsley se presentan en el Anexo 1.

Tabla 3. Distribución de los registros obtenidos de *Aniba perutilis* Hemsley.

País	Localidad	# Registros	Fuente
Colombia	Antioquia	50	Corantioquia, NHS, MBG, T NYBG
Colombia	Risaralda-pereira	2	MBG
Colombia	Quindio	1	MBG
Colombia	Caldas	1	MBG
Colombia	Norte de Santander	1	MBG
Colombia	Amazonas	1	MBG
Colombia	Valle del Cauca	1	MBG
Ecuador	Zamora-Chinchipe	3	MBG
Peru	Amazonas	5	MBG
Bolivia	La Paz	1	MBG

Figura 10. Áreas donde se obtuvieron registro de *Aniba perutilis* Hemsley.



9.2 Predicción de las áreas potenciales de distribución de la especie *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del valle del Cauca.

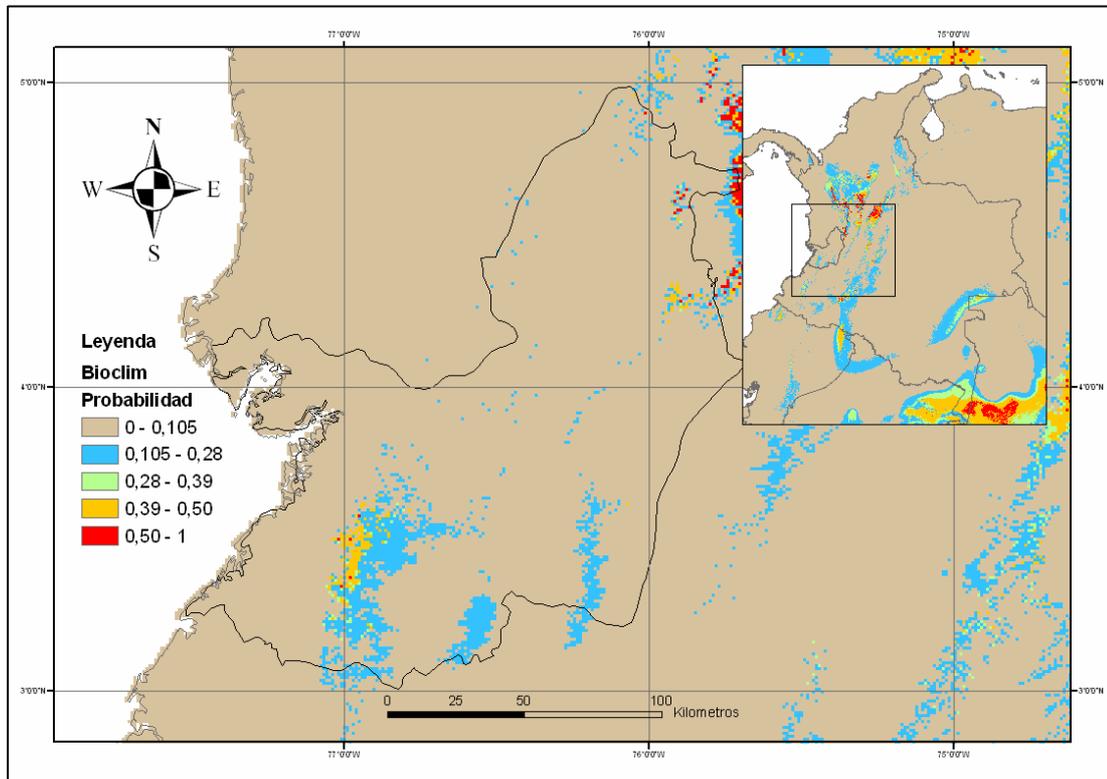
9.2.1 Mapas de distribución potencial.

A continuación se presentan los mapas de resultado de los modelos de predicción.

- **Modelo Bioclim.**

El resultado del modelo Bioclim destaca una probabilidad alta de presencia (mayor a 0,5) de *Aniba perutilis* Hemsley en la parte Noreste del flanco Occidental de la Cordillera Central y la parte Suroeste de la Cordillera Occidental. Correspondiente a un área de 39 km², equivalente al 0,2% del área total del departamento del Valle del Cauca (figura 11).

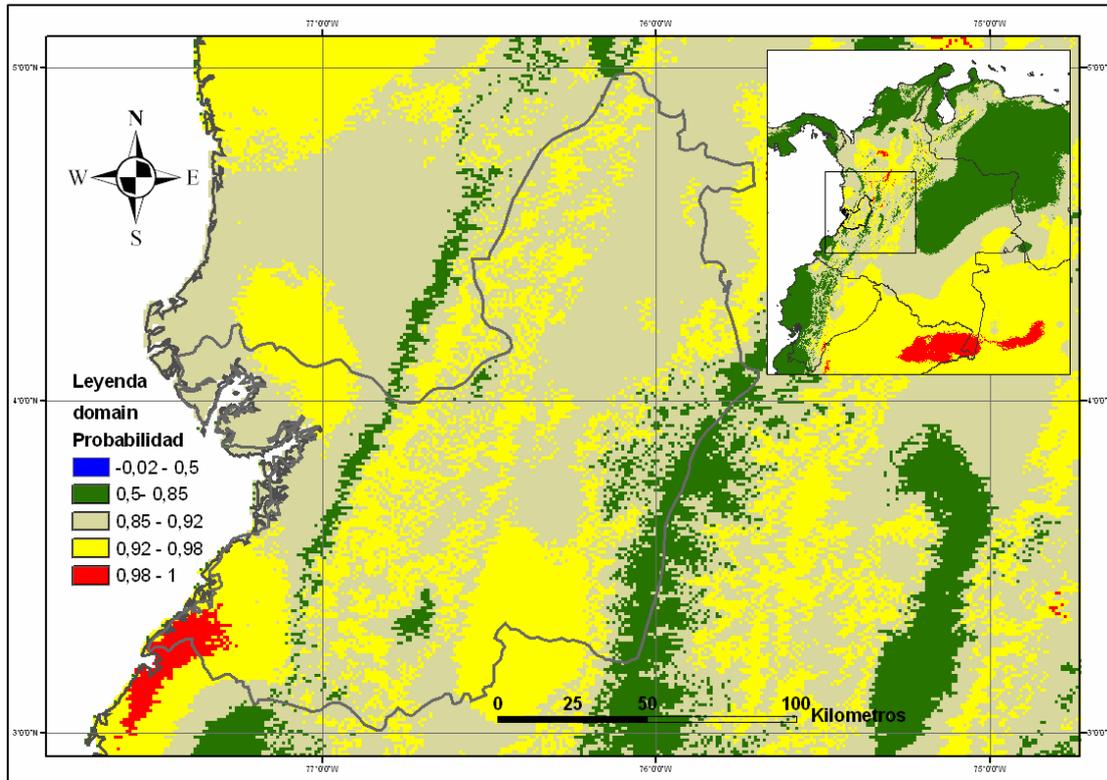
Figura 11. Mapa de distribución potencial, según Bioclim, de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca. (Resolución 1 Km.).



- **Modelo Domain**

El resultado del modelo Domain muestra las probabilidades más altas de presencia (mayores a 0,5) de *Aniba perutilis* Hemsley en la parte Noreste y Suroeste de la llanura del Pacífico, la parte Norte-Sur de la cordillera Occidental y el flanco Occidental de la Cordillera Central. Correspondiente a un área de 25.534 km² equivalentes al 100% del área total del departamento del Valle del Cauca (figura 12).

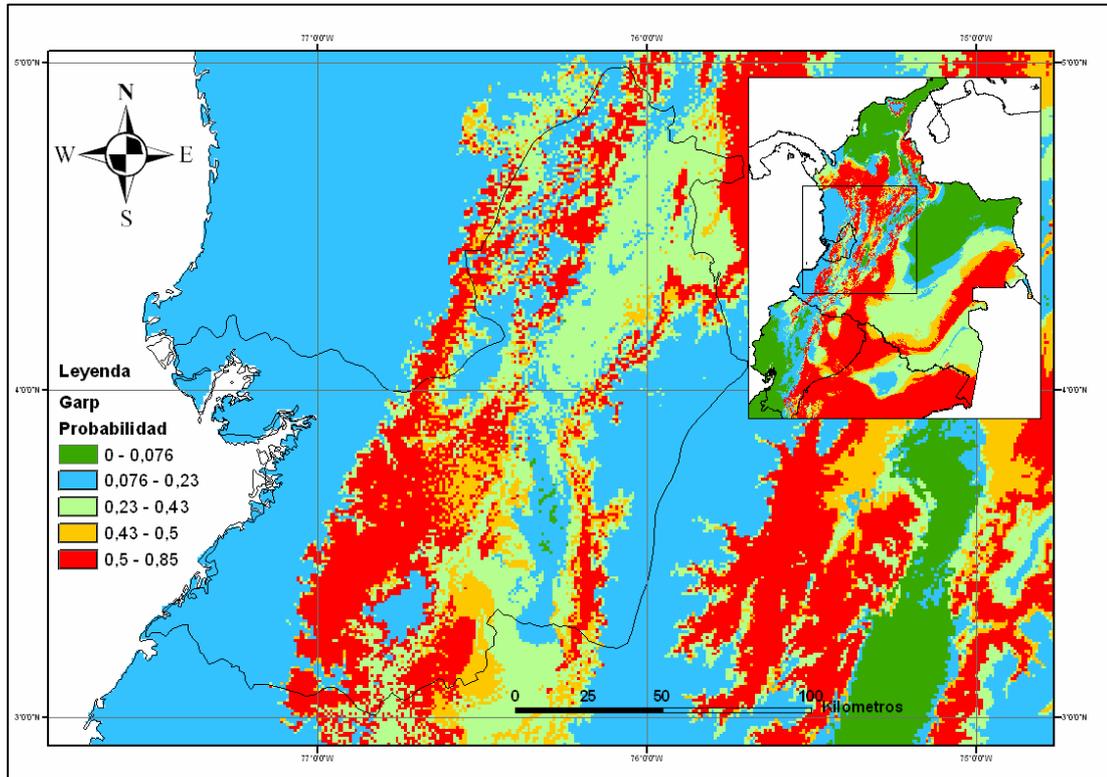
Figura 12. Mapa de distribución potencial de *Aniba perutilis* Hemsley, según Domain, en el departamento del Valle del Cauca. (Resolución 1 Km.).



- **Modelo Garp**

Garp destaca las probabilidades más altas de presencia (mayor a 0,5) de *Aniba perutilis* Hemsley en la parte Norte-sur en la Cordillera Occidental y el flanco Occidental de la Cordillera Central. Correspondiente a un área de 5.961 km² equivalente al 23,4% del área total del departamento del Valle del Cauca (figura 13).

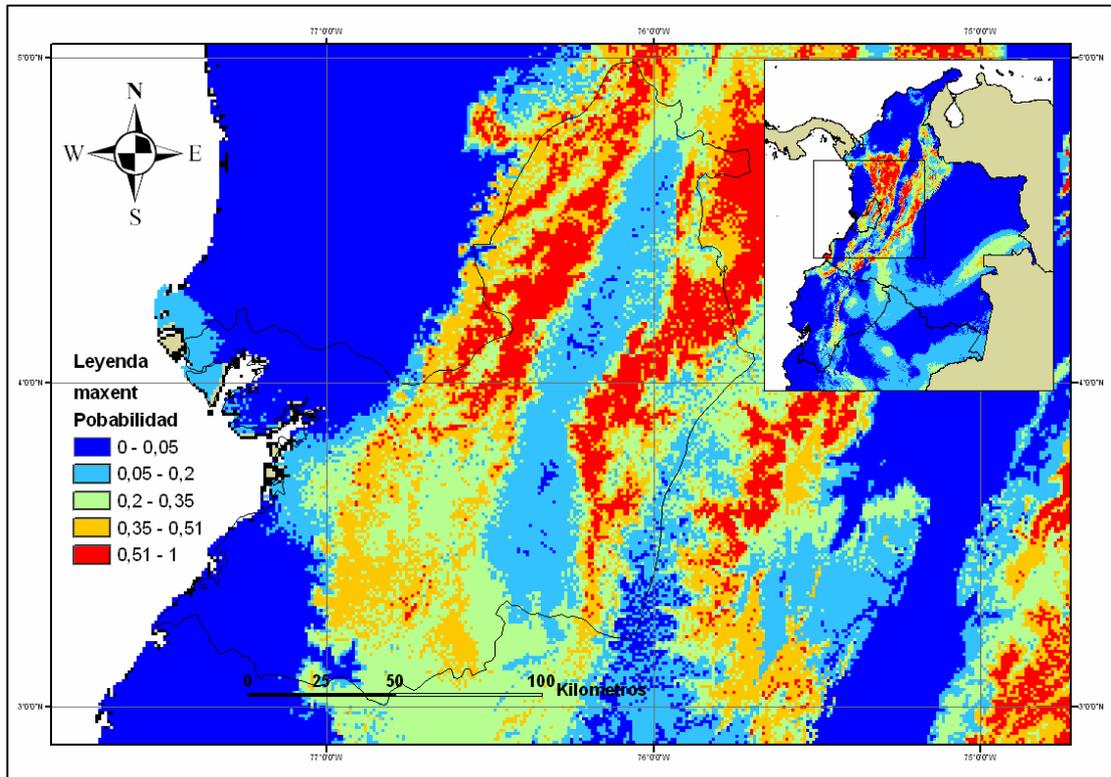
Figura 13. Mapa de distribución potencial, según Garp, de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca. (Resolución 1 Km.).



- **Modelo Maxent**

Maxent, destaca la parte Norte y unas pocas áreas en la parte Sur de la Cordillera Occidental y el flanco Occidental de la Cordillera Central, como las áreas con más probabilidad de presencia (mayor a 0,5) de *Aniba perutilis* Hemsley. Correspondiente a un área de 3.876 km² equivalente al 15,2% del área total del departamento del Valle del Cauca (figura 14).

Figura 14. Mapa de distribución potencial, según Maxent, de *Aniba perutilus* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca. (Resolución 1 Km.).



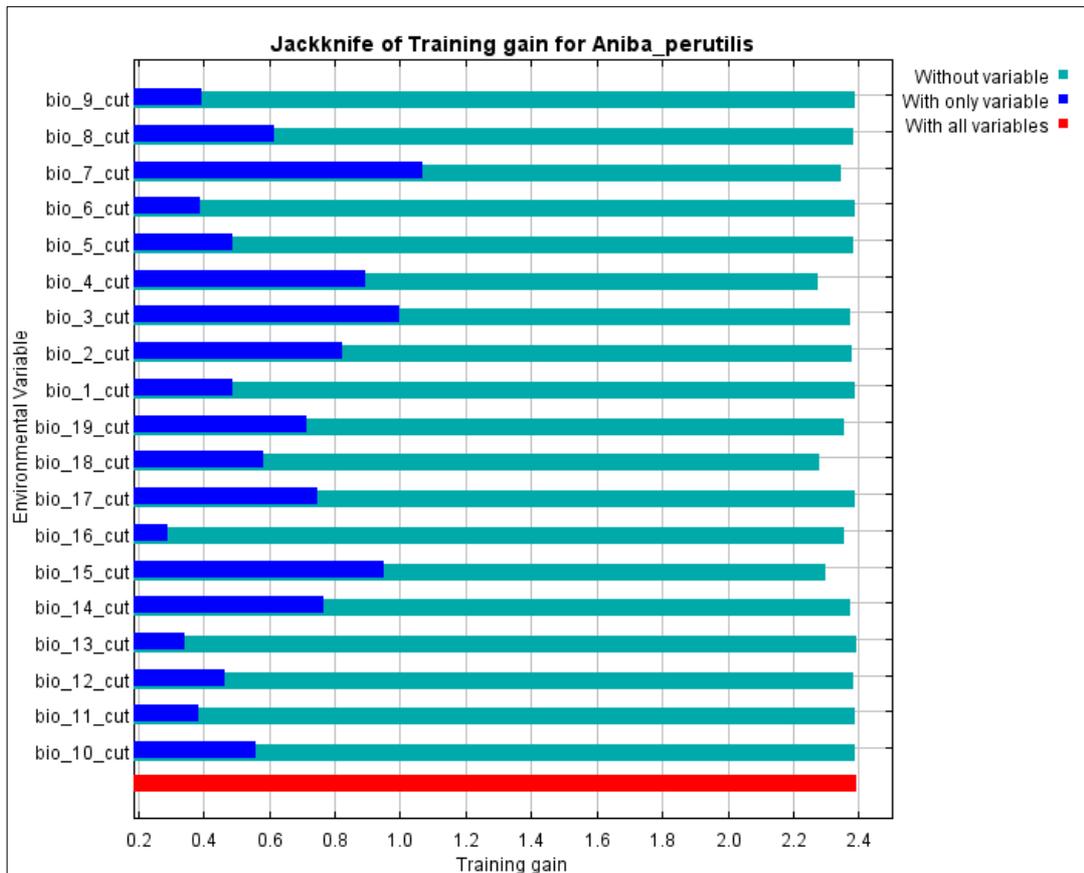
9.3 Predicción de las variables climáticas influyentes para el modelo

La figura 15, muestra las variables climáticas más influyentes en la construcción del modelo, de las áreas potenciales de distribución de *Aniba perutilus* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca. La variable climática que tiene más influencia cuando se utiliza, de forma individual es la oscilación anual de la temperatura (bio_7_cut). Lo cual significa que la oscilación anual de la temperatura contiene la información la más útil por sí sola para el modelo. De igual manera la figura 15 muestra otras variables que son importantes para el modelo pero no tan influyentes como es la oscilación anual de la temperatura, y estas son:

- La oscilación diurna de la temperatura (bio_2_cut).
- La Isotermalidad (bio_3_cut).
- La estacionalidad de la temperatura (bio_4_cut).
- La estacionalidad de la precipitación (bio_15_cut).

La variable climática más influyente cuando se omite es la estacionalidad de la temperatura (bio_4_cut). Esto quiere decir que la estacionalidad de la temperatura, cuando no se utiliza en el modelo se pierde mucha información que no esta presente en las otras variables.

Figura 15. Tabla de importancia de cada variable climática para el modelo de predicción de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del valle del Cauca. El color verde significa que se corre el modelo sin la variable que se quiere analizar. El color azul significa que se corre el modelo con solo la variable que se quiere analizar. Y el color rojo significa que se corre el modelo con todas las variables.



9.4 Conjunto del resultado de los modelos, Bioclim, Domain, Garp, Maxent.

El resultado del conjunto de los modelos destaca un área de 3.841 km² con probabilidad de presencia (es decir con una probabilidad superior a 0,5) de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca (figura 16). Las áreas con probabilidad mas alta de presencia son la parte noreste y sureste de la llanura del pacifico, la cordillera Occidental y el flanco Occidental de la cordillera Central. Los municipios que tienen áreas con una probabilidad mayor a 0,5 es decir con probabilidad de presencia son:

- El flanco occidental de la Cordillera Central: Florida, Pradera, Palmira, El Cerrito, Ginebra, Guacarí, Buga, Sanpedro, Tuluá, Andalucía, Sevilla, Caicedonia, La Victoria, Obando, Alcalá, Cartago.
- La Cordillera Occidental: El águila, Ansermanuevo, El Cairo, Argelia, Toro, Versalles, La Unión, El Dovio, Bolívar, Roldanillo, Trujillo, Río Frío, El Darien, Dagua, Cali (corregimiento de Pance), Jamundí.
- La parte noreste y sureste de la llanura del pacifico Buenaventura.

La tabla 4 muestra como están repartidas las probabilidades de presencia entre los municipios del departamento del Valle del Cauca. La mayor área con probabilidad de presencia la tiene el municipio de buenaventura con 1.235 Km², pero tienen un porcentaje de probabilidad de presencia de 16,7%. El porcentaje mayor de probabilidad de presencia lo tiene el municipio de Florida con 60,4%, a pesar que su área de probabilidad de presencia es de 267 Km².

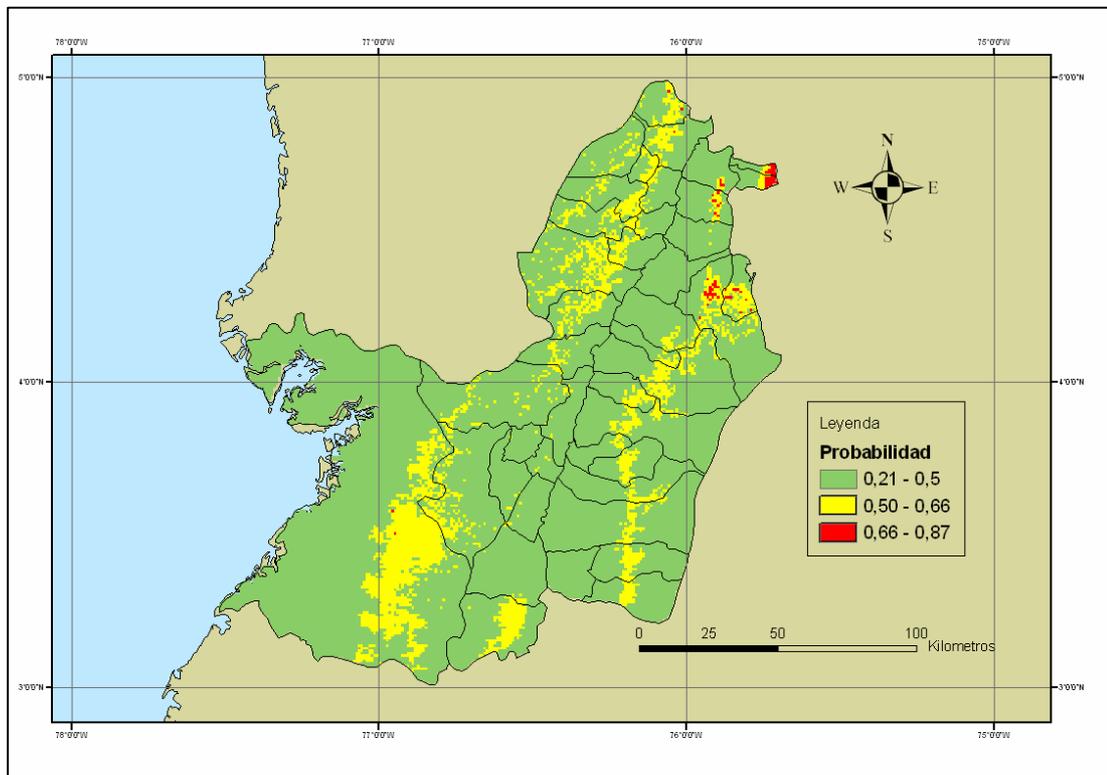
Tabla 4. Repartición entre los municipios de las probabilidades superiores a 0,5.

Municipio	Área de probabilidad mayor a 0,5 por municipio en Km ²	% del municipio con probabilidad mayor a 0,5	% del área con probabilidad mayor a 0,5 en el departamento
Florida	267	60,4%	7%
Pradera	79	17%	2,1%
Palmira	76	6,1%	2%
El Cerrito	52	10,4%	1,3%
Ginebra	64	19,9%	1,6%
Guacarí	19	10%	0,4%
Buga	92	9,7%	2,3%
SanPedro	53	21,8%	1,3%
Tuluá	186	17,8%	4,7%
Andalucía	24	14,5%	0,6%
Sevilla	174	19,5%	4,3%
Caicedonia	113	49,1%	2,8%
La Victoria	4	1,3%	0,1%
Obando	39	13,5%	1%

Distribución potencial de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca.

Alcala	35	33,7%	0,7%
Cartago	14	4,9%	0,3%
El Aguila	78	29,8%	2%
Ansermanuevo	95	26,7%	2,4%
El Cairo	47	11,4%	1,2%
Argelia	45	42,5%	1,2%
Toro	31	15,8%	0,7%
Versalles	99	26,2%	2,4%
La Union	19	12,8%	0,4%
El Dovio	97	27,5%	2,4%
Bolivar	274	27,8%	7%
Roldanillo	62	25,9%	1,5%
Trujillo	112	29,6%	2,8%
Rio Frio	39	10,5%	1%
El Darien	108	9,4%	2,5%
Dagua	92	9,7%	4,4%
Cali (Pance)	15	2,2%	0,3%
Jamundi	176	23,5%	4,3%
Buenaventura	1.235	16,7%	31%

Figura 16. Mapa resultado del conjunto de las predicciones de los modelos Bioclim, Domain, Gap, Maxent, que muestra la distribución potencial de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca. (Resolución: 1km).

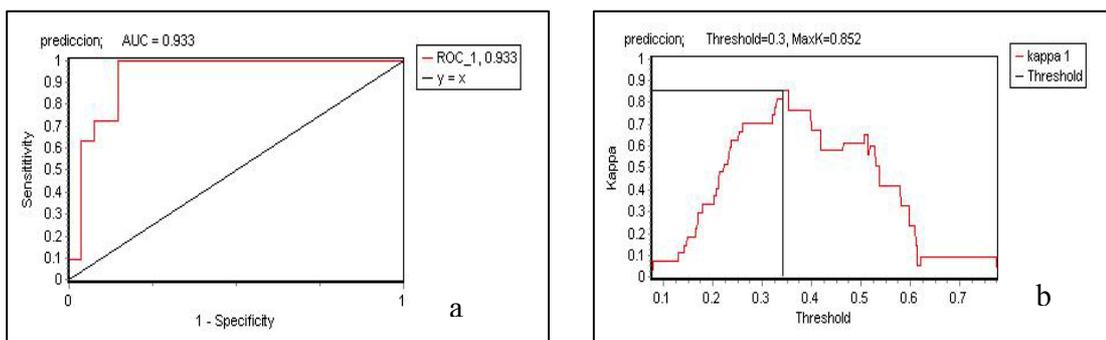


9.5 Evaluación del modelo

La evaluación dio como resultados un valor ROC = 0,933 y un valor Kappa = 0,852 (figura 17). El diagrama ROC identifica el punto en la curva en la cual la convergencia de la sensibilidad y de la especificidad se maximiza, con un valor de 0,933. El valor de Kappa 0,35, corresponde al límite entre probabilidad de presencia y la probabilidad de ausencia.

Los valores de probabilidad de exactitud van de 0 a 1, indicando 0 baja probabilidad y 1 alta probabilidad de exactitud (Swets, 1988). Así, en este caso, los valores indican un buen funcionamiento y la alta probabilidad de obtener positivos y negativos verdaderos de presencia/ausencia en las áreas predichas por los modelos.

Figura 17. Diagramas del resultado de la evaluación del funcionamiento del modelo, expresados en la curva ROC (a) y Kappa de Cohen (b).

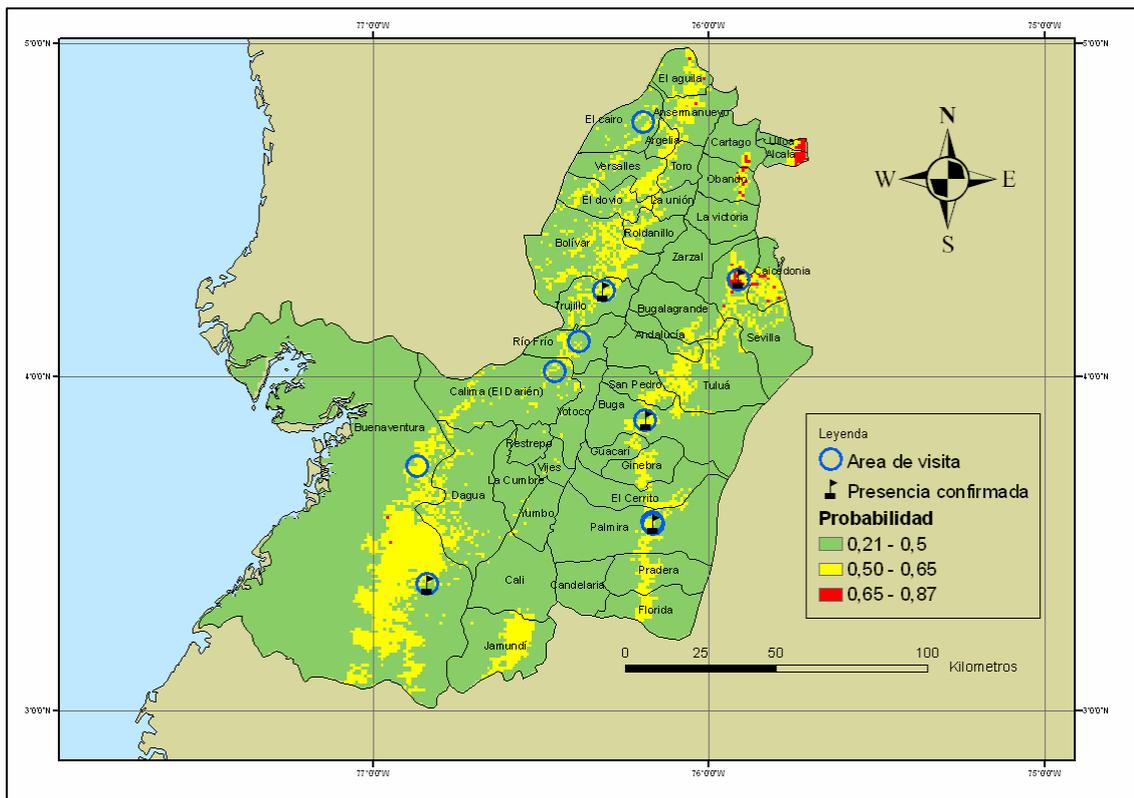


9.6 validación del modelo

Del 5 al 25 de octubre del 2006, se busco corroborar la información obtenida por los modelos en el campo. Se escogieron 9 municipios al azar (figura18, tabla 5), (Palmira, Buga, Sevilla, El Cairo, Trujillo, Río Frío, Darien, Buenaventura, Cali (Corregimiento Pance), y entre ellos 20 sitios predeterminados para visitar, 10 para presencia y 10 para ausencia. Estos sitios escogidos para ausencia se escogieron en las cercanías de los sitios escogidos para presencia, por razones económicas. De estos 20 sitios solo se pudo visitar los puntos escogidos para los municipios de Palmira, Buga y Río Frío. Para los demás sitios, fue imposible a visitar por los problemas graves de orden público que presenta actualmente el departamento. Los sitios escogidos para las visitas están en las cabeceras de los municipios, donde esta prohibido visitar hasta para los mismos funcionarios de las corporaciones y fundaciones regionales en cargadas del manejo de los ecosistemas del departamento. En los sitios que se pudo visitar se describió el lugar de visita y se tomaron sus coordenadas geográficas. Para los sitios donde se encontraron individuos, se hizo un reconocimiento de la especie en base a su morfológica y organoléptica, se midió el diámetro y se calcularon las alturas, se tomaron muestras para herbarios y se describió el hábitat donde se encontraron los individuos. En el anexo 2

esta presentado un registro fotográfico de los sitios donde se encontraron individuos. Para los sitios que no se pudieron visitar, se pregunto a la comunidad y a los funcionarios de las entidades regionales encargadas de la administración de los recursos naturales, sobre la existencia de la especie en estas regiones, la morfología y hábitat, para confirmar y aprobar la información obtenida.

Figura 18. Mapa de validación de los resultados de distribución real y potencial de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca. (Resolución: 1km).



Los resultados de estas entrevistas confirmaron los sitios predichos, como es el caso de Sevilla, Trujillo, corregimiento de Pance. Por consiguiente, estos sitios, fueron tomados como positivos verdaderos para la validación. Para los municipios de El Cairo, Darien, Buenaventura, que tienen una alta probabilidad de presencia de la especie fueron tomados como positivos falsos, la información dada por las personas para estos sitios no fue clara. El genero *Aniba* tiene muchas especies y las personas en ocasiones toman como *perutilis* otra especie del mismo genero.

Las poblaciones de *Aniba perutilis* Hemsley fueron localizadas en 6 de los 10 sitios predeterminados para presencia, en los que se encontraron 5 individuos en Palmira y 1 individuo en Buga (Figura 18). El modelo predijo correctamente presencia/ausencia en un 80% de los sitios predeterminados, prediciendo las ausencias en 10 de los 10 sitios escogidos.

La detección de los sitios de distribución, en complemento con la opinión de los expertos produjo una estadística de Kappa de 0,6, indicando una exactitud substancial, esto quiere decir, alta concordancia del modelo con la realidad. Kappa de Cohen fue desarrollada para los usos médicos, donde los valores de Kappa de 0.0-0.4 indican leve, respecto a la concordancia del modelo con la realidad, los valores de 0.4-0.6 moderado, de 0.6-0.8 substancial y de 0.8-1.0 casi perfecto (Landis y Koch, 1977; Manel et al., 2001).

$$\text{Kappa} = \frac{[(6+10) - (((6+0) (6+4) + (4+10) (0+10))/20)]}{[20 - (((6+0) (6+4) + (4+10) (0+10))/20)]} = 0,6$$

$$a= 6, b=4, c= 0, d= 10, N=20$$

Tabla 5. Resultados de la validación en campo de presencia-ausencia de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento Valle del Cauca.

N. Punto1	Municipios	Modelo	Campo	Altitud (m)	Localización	Zonas de vida	Probabilidad en 1 Km de resolución	Individuos	Longitud	Latitud
1	Palmira	Présente	Presente	2084	El Cominal	Bosque de Niebla	0,57	3	76°10'32,9"	3°29'17,0"
2	Palmira	Présente	Presente	2185	El Cominal	Bosque de Niebla	0,51	2	76°10'23,4"	3°29'16,8"
3	Buga	Presente	Presente	2156	Vereda el Janeiro, Corregimiento la Habana	Bosque de Niebla	0,55	1	76°11'19,84"	3°52'12,50"
4	Sevilla	Presente	Presente	1800-2400	El Billar, El Cebollal, Maulen, Calamar, Mira Flores, Alegrías	Bosque de Niebla	0,68		75°54'45,64"	4°17'22,92"
5	El Cairo	Presente	Ausente	1950-2500	Cabecera municipal	Bosque de Niebla	0,51		76°10'45,85"	4°44'52,11"
6	Trujillo	Presente	Presente	1800-2200	Corregimiento de Andianapolis	Bosque de Niebla	0,53		76°21'11,71"	4°15'40,17"
7	Río Frío	Presente	Ausente	1700-2300	Reserva natural Liverpool	Bosque de Niebla	0,55		76°23'22,47"	4°5'44,14"
8	Darien	Présente	Ausente	1800-2300	La Perra, El Castillo, La Perrita	Bosque de Niebla	0,51		76°27'31,46"	4°1'1,76"
9	B/ventura	Presente	Ausente	1200-1600	Selva Húmeda	Selva Húmeda	0,54		76°52'6,28"	3°43'37,60"
10	Pance	Presente	Presente	2100-2500	El Topacio, Alto las Iglesias, Los Monos, El Otoño, Cuenca Clara.	Bosque de Niebla	0,58		76°50'18,36"	3°24'58,80"
11	Palmira	Ausente	Ausente	1820	El Cominal	Bosque de Niebla	0,41		76°10'48,6"	3°28'57,4"
12	Palmira	Ausente	Ausente	1173	El Cominal	Bosque de Niebla	0,44		76°10'46,3"	3°28'52,6"
13	Buga	Ausente	Ausente	1552	Vereda el Janeiro, Corregimiento la Habana	Bosque de Niebla	0,46		76°11'27,62"	3°52'52,68"

Distribución potencial de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca.

14	Sevilla	Ausente	Ausente	1600-1800	El Billar, El Cebollal, Maulen, Calamar, Mira Flores, Alegrías	Bosque de Niebla	0,43		75°54'48,95"	4°15'37,55"
15	El Cairo	Ausente	Ausente	1300-1700	Cabecera municipal	Bosque de Niebla	0,39		76°12'46,02"	4°44'40,09"
16	Trujillo	Ausente	Ausente	1600-1800	Corregimiento de Andianapolis	Bosque de Niebla	0,45		76°18'48,13"	4°15'43,51"
17	Río Frío	Ausente	Ausente	1300-1600	Cabecera municipal	Bosque de Niebla	0,46		76°23'38,14"	4°6'31,55"
18	Darien	Ausente	Ausente	1500-1700	La Perra, El Castillo, La Perrita	Bosque de Niebla	0,47		76°28'3,08"	4°0'43,31"
19	B/ventura	Ausente	Ausente	600-700	Selva Húmeda	Selva Húmeda	0,45		76°52'47,67"	3°44'14,03"
20	Pance	Ausente	Ausente	1500-1800	El Topacio, Alto las Iglesias, Los Monos, El Otoño, Cuenca Clara.	Bosque de Niebla	0,4		76°49'56,32"	3°22'13,47"

10. DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES

10.1 valores de probabilidad por modelo

El mapa que integra los resultados de los diferentes modelos (figura 16), resalta las probabilidades (mayores a 0,5) mas altas de presencia de *Aniba perutilis* Hemsley para el Valle del Cauca. Pero se puede preguntar si los valores de probabilidad de cada modelo son equivalentes entre si y si las probabilidades mayores a 0,5 abarcan las probabilidades mas significativas de cada modelo. La distribución que determina DOMAIN (figura 12), con una probabilidad de 0,92 a 0,98, corresponde a la distribución que determina BIOCLIM (figura 11) con una probabilidad de 0,5 a 1. De la misma manera, se refiere a las áreas con una probabilidad de 0,5 a 0,85 para GARP (figura 13) y de 0,51 a 1 para MAXENT (figura 14). Entonces, GARP, BIOCLIM, MAXENT tienen rangos de valores equivalentes (0,5 – 1) pero estos corresponden a valores de DOMAIN muchos mas altos (0,92 – 0,98). Así, al momento de reunir los resultados de los modelos, los valores de probabilidad dados por DOMAIN tienen la tendencia a subir los valores finales. Por ejemplo, un pixel predicho con una probabilidad de ausencia en los cuatro modelos puede tener los valores siguientes: para BIOCLIM, GARP y MAXENT: 0,4; para DOMAIN: 0,9. Para cada modelo individualmente estos valores de probabilidad significan ausencia. Pero cuando se hace el promedio de estos valores, al momento de reunir los resultados, se obtiene un resultado de 0,53. Al final, un pixel indicado como negativo por cada modelo individualmente se vuelve positivo al momento de la adición de los resultados, por esta diferencia en los órdenes de valores de cada modelo. Se puede suponer que algunos valores altos de DOMAIN aumentan los valores finales y así muestran probabilidades de presencia altas (superiores a 0,5) donde cada modelo predijo ausencia individualmente, como se explico en el ejemplo. Pero aun así, se debe relativizar esta tendencia pensando que esta distorsión no esta muy desarrollada por el hecho que se trata de un solo modelo sobre los cuatro.

10.2 Evaluación

La validación del modelo muestra una predicción correcta de presencia/ausencia en 80% de los sitios predeterminados, dando un valor de Kappa de 0.6 (figura 18), mostrando la alta exactitud de la predicción. Como se menciono anteriormente, no se pudo realizar todas las visitas a los sitios escogidos para la validación de los datos. Para estos sitios no se obtuvieron coordenadas precisas de presencia y ausencia. Como es el caso de Sevilla, Trujillo y el Corregimiento de Pance, pero a pesar de no poderse visitar, se tomaron como sitios con presencia confirmada de *Aniba perutilis* Hemsley. La pregunta seria si estos datos se pueden tomar como validos.

Al ser seleccionados los 20 sitios para la validación en el campo, se realizo una consulta previa a la salida, al experto botánico e investigador senior del Instituto Humboldt, William Vargas. Se le presento el mapa final de la distribución potencial de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca, para que, en base a sus

conocimientos de la especie el confirmara la distribución potencial predicha. De esta manera William Vargas corrobora la coherencia de las áreas de distribución predichas con las áreas donde se distribuye *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca. Por otro lado la comunidad civil y los funcionarios de las corporaciones protectoras del medio ambiente, de los municipios de Sevilla, Trujillo y el corregimiento Pance, mostraron conocer la especie. Dando la ubicación donde hubo y hay individuos y describiendo claramente la morfología de la especie. Apoyando de esta forma la decisión de tomar Sevilla, Trujillo y el corregimiento de Pance, como áreas con presencia confirmada de *Aniba perutilis* Hemsley.

Es necesario que se realicen las visitas faltantes dentro de los 20 sitios predeterminados para tener resultados definitivos de validación del modelo. Además, se debe programar salidas a todos los sitios con alta probabilidad de presencia determinados por el modelo (que corresponden a la distribución potencial) y obtener las coordenadas exactas de la distribución real de los individuos que aun quedan de *Aniba perutilis* Hemsley. Eso permitirá enfocar las campañas para su permanecía y recuperación en el departamento del Valle del Cauca.

Por otro lado, los modelos utilizaron variables climáticas y la distribución muestreada para localizar las áreas potencialmente convenientes para la distribución de la especie *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca. Pero en la actualidad, algunas de estas áreas predichas por el modelo han sido transformadas, como es el caso de los municipios de Obando y Alcalá. El modelo los muestra con una alta probabilidad de presencia, mayor a 0,66. Pero, la expansión agrícola y ganadera transformo el ecosistema natural de estas áreas ocasionando la desaparición *Aniba perutilis* Hemsley en estado silvestre en estas regiones. Esto es un ejemplo claro del impacto tan fuerte de las actividades humanas sobre la distribución actual de las especies, salvajes o domesticas. Las figuras 19 y 20 dan una muestra de la intervención humana a los ecosistemas.

Los modelos de predicción utilizados en esta investigación solo se basan en datos climáticos para realizar la predicción del hábitat potencial de la especie, y no toman en cuenta este factor humano, determinante en la distribución actual de las especies. Por esta razón se recomienda, para visualizar mejor la distribución actual de las especies, y hacer predicciones futuras mas precisas. Añadir datos del perfil del suelo, formación, composición, y uso del suelo. Permitiendo esto, ajustar los modelos para que hagan perfiles del hábitat de las especies, mas acordes con la actualidad mundial.

Figura 19. El hábitat natural (bosques primarios ubicados entre los 0 y los 2600 m.s.n.m. (Obregón, 2006., Santamaría, H. A. 2005), de *Aniba perutilis* Hemsley, ahora transformado a la agricultura y a la ganadería. Vereda el Cominal, Municipio de Palmira.
Foto: Carlos A. Hurtado.

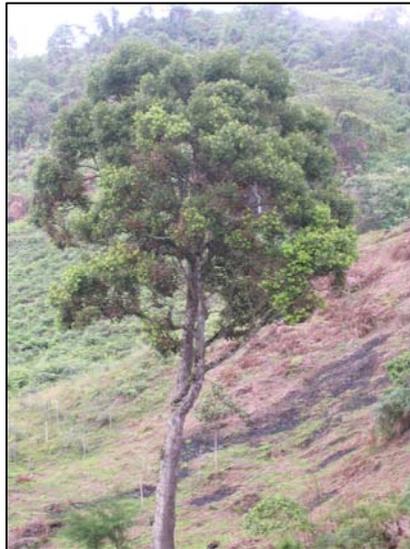


Figura 20. Tocon (tocon es lo que queda en el suelo despues de cortar el arbol), de *Aniba perutilis* Hemsley. Vereda el Cominal, Municipio de Palmira.
Foto: Carlos A. Hurtado.



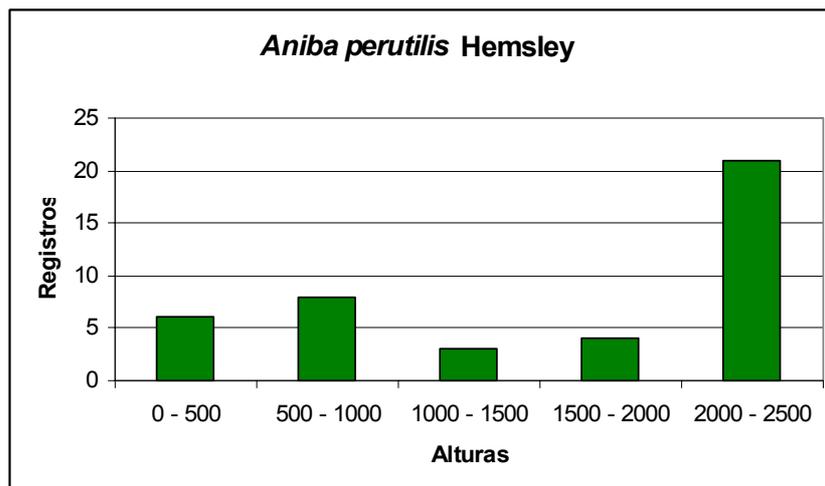
10.3 Área de distribución

El resultado del conjunto de los modelos destaca un área de 3841 km² con probabilidad de presencia (es decir con una probabilidad superior a 0,5) de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca (figura 16). Las áreas con probabilidad mas alta de presencia son la parte noreste y sureste de la llanura del pacífico, las estibaciones de la cordillera Occidental y las estribaciones del flanco Occidental de la cordillera Central. *Aniba perutilis* Hemsley, tiene una distribución natural en zonas de bosque primarios ubicados entre los 0 y los 2600 m.s.n.m (Obregón, 2006; Santamaría, 2005). La distribución predicha de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca, realizada en la presente investigación es totalmente coherente con la información publicada de las zonas de vida donde se distribuye la especie.

Pero, uno se puede preguntar, si *Aniba perutilis* Hemsley se distribuye en un rango altitudinal tan amplio. Y este rango corresponde a un área grande del departamento, porque la distribución predicha por el modelamiento aquí resulta para un área tan restringida.

Los modelos de predicción utilizados en esta investigación, utilizan variables climáticas y registros de presencia de la especie para realizar un perfil bioclimático que sintetiza las condiciones climáticas de los sitios analizados y los compara con los atributos climáticos del área de estudio (Fischer et al., 2001; Carpenter et al., 1993; Stockwell y Noble.1992; Phillips et al., 2006). En esta investigación se recopilaron 66 registros (anexo 1), los cuales están distribuidos en las diferentes zonas de vida asociadas a *Aniba perutilis* Hemsley. El histograma (figura 21), muestra claramente la distribución de las alturas de los registros. Estos registros tienen alturas que van de 25 hasta 2.340 m.s.n.m. Pero 39 de estos, equivalente al 60% de los registros, están en zonas de montaña, con altura superior a 1.000 m.s.n.m.

Figura 21. Distribución de las alturas de los registros obtenidos de *Aniba perutilis* Hemsley.



Esta inclinación de los registros a zonas de montaña, hace que el modelo bioclimático resultante, que es la síntesis de las condiciones climáticas de los sitios de registro analizados, se vea influenciado. El programa realiza un perfil del clima de cada registro. Cada perfil de los registros participa para la elaboración del perfil climático global. Así, si la mayoría de los registros están ubicados en cierto tipo de característica climática, el perfil se vera orientado hacia esta característica, dando los valores de probabilidad más altos a estas áreas.

Por ejemplo, el modelo Bioclim, calcula las áreas potenciales de distribución desechando del perfil climático creado, el 5% de los extremos de los valores porcentuales, enfocándose en el núcleo bioclimático u óptimo ecológico, valores porcentuales de 5-95% del perfil climático. Estos valores se consideran que tienen un clima conveniente para la especie. De esta forma, disminuye el porcentaje de las bajas alturas y dando mayor valor al perfil climático hecho para los registros con mayor altura.

Es claro que para este tipo de investigación se debe poner el mayor esfuerzo en la obtención de los registros, buscando una representatividad de la muestra. Se debe analizar la información obtenida para evitar los sesgos y obtener resultados reales. Se acabo de mostrar que los registros utilizados en esta investigación contienen un cierto sesgo debido a la sobre representación de los registros en alturas altas. Sin embargo, no se debe desacreditar los resultados obtenidos. Estos resultados no deben ser interpretados como "*Aniba perutilis* Hemsley esta presente en alturas altas y ausente en alturas bajas". Mejor, los resultados permiten delimitar las zonas de presencia potencial en alturas altas pero no permiten concluir de su ausencia en alturas bajas precisamente por la falta de representación de estas alturas en los registros. Las probabilidades de presencia bajas en alturas bajas se deben interpretar como "no se sabe".

10.4 Variables influyentes

Según Mackey y Lindenmayer (2001), las variables climáticas tales como la temperatura y la precipitación son apropiadas a escala global y regional, ya que a escala local no hay tanta variedad de climas. Esto invalidaría las variables utilizadas en la presente modelación, por ser a escala local (departamento). Pero El Valle del Cauca tiene un amplio rango de alturas, que van de 0 m.s.n.m hasta 4.200 m.s.n.m otorgando esta amplitud altitudinal una gran variedad de climas para el departamento (CVC, 1994). Esta misma variedad de clima permite tener una variabilidad importante dentro de los valores de las variables climáticas utilizadas en la predicción. Finalmente, esta variabilidad es la que permite obtener una variación en las probabilidades de la predicción. Por otra parte, Pearson et al. (2004) dicen que las variables climáticas afectan la distribución de la especie a una escala relevante, determinada por el grado y la escala geográfica (grano), dependiendo del caso de estudio. Precisamente, en este caso, el amplio rango de altura a dentro del departamento justifica plenamente la utilización de estas variables climáticas.

Austin y Smith (1989); Guisan (2000) y Austin (2002), determinaron un esquema de clasificación para categorizar a los predictores ambientales utilizados para predecir la distribución de las especies. Dividen los predictores ambientales en tres tipos de gradientes ecológicos: (1) predictores indirectos, que no tienen efecto fisiológico sobre la especie (ej. Altitud), (2) predictores directos, que tienen una influencia fisiológica directa en la especie (ej. Temperatura) y (3) predictores del recurso, que son las variables

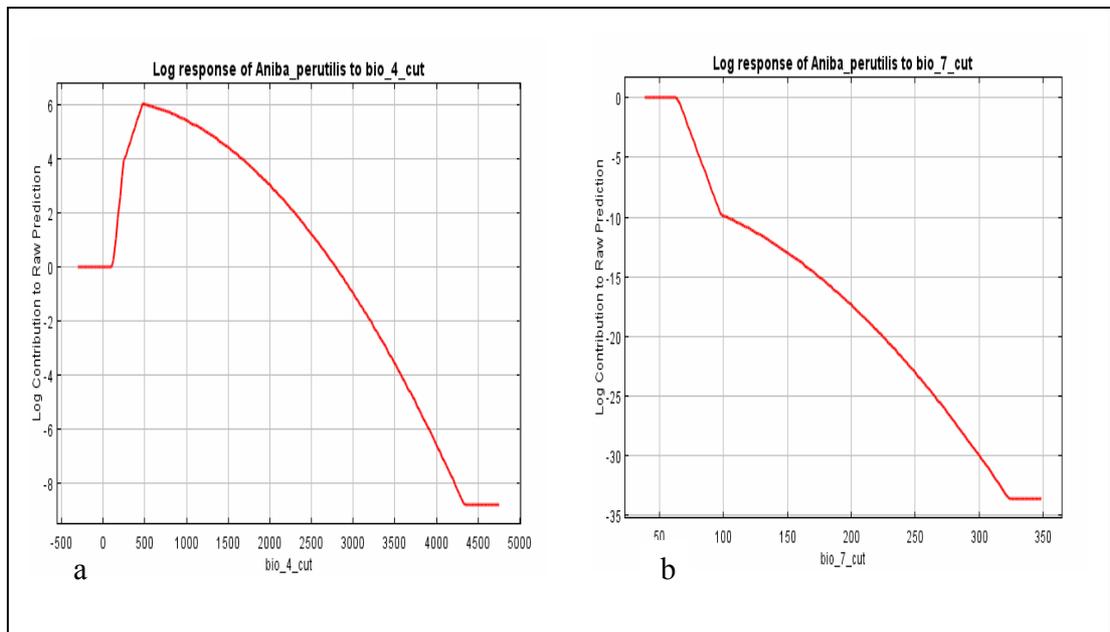
consumidas por el organismo (ej. Agua). Las investigaciones publicadas de *Aniba perutilis* Hemsley, destacan la altura (predictor indirecto) como el predictor ambiental mas relevante en la distribución de esta especie (Obregón, 2006; Santamaría, 2005; <http://fm1.fieldmuseum.org/vrrc/index.php?page=results&family=LAURACEAE>; www.arbolesornamentales.com/Lauraceae.htm; Madriñan, <http://botanica.uniandes.edu.co/lauraceae.htm>. En esta investigación se determinaron dos variables ambientales importantes en la distribución de la especie: La oscilación anual de la temperatura y estacionalidad de la temperatura que son predictor directo.

El efecto de la altitud en la temperatura es bien conocido. Por ejemplo, cuando se sale a caminar a la montaña, entre más se ascienda más frío se siente. Se registra que para cada 100 m.s.n.m hay un descenso de 0.6 °C en la temperatura (Cenicafé, 1970; Griffin, 2001). Se realizo un análisis de correlación entre la altura y la estacionalidad de la temperatura, cuyo resultado fue de -0,7, y la altura con la oscilación anual de la temperatura, dando un resultado de 0,13. El primer resultado confirma la relación descrita en la literatura entre la temperatura y la altura. El segundo resultado muestra que no hay correlación entre altura y oscilación anual de la temperatura.

Pero la interrogación es si las variables ambientales mas influyentes para el modelamiento de la distribución de *Aniba perutilis* Hemsley, determinadas por el modelo Maxent, muestran una característica climática del hábitat de esta especie.

El modelo Maxent es un modelo exponencial. Esto significa que la probabilidad asignada a un píxel es proporcional al exponencial de algunas combinaciones que se suman de las variables (Phillips et al., 2006). Por consiguiente, las curvas de respuesta demuestran la contribución de las variables al exponente. Así que, si la curva de respuesta decrece hacia los valores más altos de la variable hay un descenso en la influencia de esta variable en la probabilidad de distribución de la especie. La figura 22 muestra los diagramas de contribución de las variables al exponente para las variables más influyentes en este caso de estudio. El diagrama de la estacionalidad de la temperatura (bio_4_cut) muestra que su máxima influencia a la predicción la hace cuando el exponente llega a 500. El diagrama de la oscilación anual de la temperatura (bio_7_cut) enseña que su máxima influencia a la predicción la logra cuando el exponente llega a 50. Las curvas de respuesta muestran claramente que ambas variables son muy influyentes cuando logran mantenerse en valores bajos.

Figura 22. Diagramas de respuesta de las variables más influyentes en la predicción de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca. a: Estacionalidad de la temperatura (bio_4_cut) b: Oscilación anual de la temperatura (bio_7_cut).



Estas dos variables, estacionalidad de la temperatura y oscilación anual de la temperatura, representan la variabilidad del clima a través del año. Eso significa, que a más alto el valor de la variable, hay más variabilidad del clima a través del año. Y lo contrario, si los valores de la variable se mantienen bajos, es un clima constante a lo largo del año. En nuestro caso las probabilidades más altas de presencia corresponden a los valores más bajos de las variables, mostrando que *Aniba perutilis* Hemsley se desarrolla mejor en climas constantes. Este dato puede ser muy importante en el proceso de entender la distribución de *Aniba perutilis* Hemsley, por lo cual es importante confirmarlo desarrollando mas investigaciones.

11. CONCLUSIÓN

La metodología planteada en este caso de estudio, que era la de integrar los resultados de los modelos de predicción Bioclim, Domain, Garp y Maxent, cumplió los objetivos y respondió la pregunta de investigación, que se estableció. En primer lugar, mostró el área potencial de distribución de *Aniba perutilis* Hemsley en el departamento del Valle del Cauca. Por otra parte, permitió definir cuales son las áreas donde se deben enfocar los esfuerzos para la conservación de la especie. Además, se determinaron las variables climáticas mas influyentes en la distribución de *Aniba perutilis* Hemsley.

El modelo expuso un área de 3.841 km², equivalente al 17, 3% del área total del departamento, con probabilidad de presencia de *Aniba perutilis* Hemsley en el Valle del Cauca. El área potencial de distribución de la especie en el departamento del Valle del Cauca se extiende por el flanco occidental de la Cordillera Central, en la Cordillera Occidental y en la parte Noreste y Sureste de la llanura del Pacifico. Los municipios con mayor porcentaje de área con alta probabilidad de presencia en relación al departamento son: Florida, Bolívar y Buenaventura.

Las áreas donde se deben orientar los esfuerzos para la conservación y donde se pueden adelantar proyectos para su repoblación, son en los municipios con el porcentaje más alto de probabilidad de presencia de la especie, los principales son: Florida, Caicedonia y Argelia. Estos resultados son una guía para encontrar las poblaciones de *Aniba perutilis* Hemsley aun existentes en el departamento. Su confiabilidad se demostró con la validación que expuso la alta precisión de la predicción del modelo. Por consiguiente, estas áreas con alta probabilidad de presencia muestran el rumbo de donde se debe buscar las poblaciones silvestres, aun existentes en el departamento. Además, se mostró que la especie parece desarrollarse mejor en climas constantes. Conociendo mejor la ecología de *Aniba perutilis* Hemsley y las áreas potenciales para su desarrollo se podrá diseñar planes para la conservación de esta especie, que esta en un riesgo grande de desaparecer en estado silvestre.

BIBLIOGRAFÍA

- Arcila Garrido, M. (2003). Sistemas de información geográfica y medio ambiente: principios básicos. Universidad de Cádiz, Servicio de Publicaciones, — 136p.
- Anderson, R., Gómez, M. and Peterson A. (2002). Geographical distributions of spiny pocket mice in South America: Insights from predictive models. *Global. Ecol. Biogeogr.* **11**: 131–141.
- Austin, M. P. (2002). Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecol. Model.* **157**, 101-118.
- Austin, M.P., Smith, T.M. (1989). A new model for the continuum concept. *Vegetatio* **83**, 35–47.
- Barbosa, A. M., Real R., Olivero J., Vargas J. M. (2003). Otter (*Lutra Lutra*) distribution modeling at two resolution scales suited to conservation planning in the Iberian Peninsula. *Biological Conservation* **114**, 377–387.
- Bustamante, J., Seoane, J. (2004). Predicting the distribution of four species of raptors (Aves: Accipitridae) in southern Spain: statistical models work better than existing maps. *J. Biogeogr.* **31**, 295-306.
- Booth, T.H. (1991). Plant growth and site selection: where will it grow? how will it grow? *Agric. Syst. Inform. Technol. Newslett.* **3.3**, 30-1.
- Bonn, A and Schröder, B. (2001). Habitat models and their transfer for single and multi species groups: a case study of carabids in an alluvial forest. *ECOGRAPHY*, **24**: 483-496.
- Carpenter, G., Gillison, A.N. and Winter, J. (1993). DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity and Conservation* **2**, 667-680.
- Clavijo Méndez, J. (1997). Análisis de componentes principales. Universidad del Tolima – Ibagué, Colombia.
- Cushman, S.A., 2006. Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: A review and prospectus. *Biological Conservation*, **128**(2): 231-240.
- Collet, L. (2005). Impact of environmental factors to manage coffee cup quality. CIAT. 59 p.
- Coope, G.R. (1979). Late Cenozoic fossil Coleoptera: Evolution, biogeography and ecology. *Annual Reviews of Ecology and Systematics* **10**: 247-267.

- Cumming, G. (2000). Using between-model comparisons to fine-tune linear models of species ranges. *J. Biogeogr.* **27**, 441–455.
- CVC. (1994). Atlas de recursos naturales del Valle del Cauca. Tomo 1. Primera edición, Cali. P.17-25.
- Cenicafé. (1970). Conozca el clima para el cafeto. 12 p.
- Draper, D., Rossello-Graell, A., Garcia, C., Gomes, C., and Sergia, C. (2003). Application of GIS in plant conservation programmes in Portugal. *Biol. Conserv.* **113**, 337–349.
- Draper, D., Rossello-Graell, A., and Iriondo, J. M. (2001). A translocation action in Portugal: Selecting a new location for *Narcissus cavanillesii*. A. Barra and G. Lopez. Poster presented at the third Planta Europa Conference, 23–28 June 2001, Pruhonice, Czech Republic. http://www.plantaeuropa.org/html/conference_2001/conference_poster_pres.htm
- Deleo, J. M. (1993). Receiver operating characteristic laboratory (ROCLAB): software for developing decision strategies that account for uncertainty, Proceedings of the Second International Symposium on Uncertainty Modelling and Analysis. College Park, MD: IEEE Computer Society Press., pp. 318-25.
- Elias, S.A. (1994). Quaternary Insects and their Environments. Smithsonian Institution Press, Washington.
- Ferguson, M. E., Jarvis, A., Stalker, H. T., Valls, J. F. M., Pittman, R. N., Simpson, C. E., Bramel, P., Williams, D., Guarino, L. (2005). Biogeography of wild *Arachis*: Distribution and environmental characterization. *Biodivers. Conserv.*
- Fischer, J., Lindenmayer, D. B., Nix, H. A., Stein J. L. Y Stein, J. A. (2001). Climate and animal distribution: a climatic analysis of the Australian marsupial *Trichosurus caninus*. *Journal of Biogeography* **28**: 293-304.
- Forero, L. E. (2001). Ubicación geográfica y estado actual de treinta especies de flora amenazada en el Valle del Cauca. Informe presentado a CVC.
- Fielding, A. H y Bell, J. F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/ absence models. *Environmental Conservation*, **24**, 38–49
- Franklin J. 1995. Predictive vegetation mapping: Geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Prog. Phys. Geogr.* **19**: 474–499.
- García, J. R, (2006). Multi-scale assessment of the potntial distribution of two herptofaunal species.
- Guisan, A., Hofer, U. (2003). Predicting reptile distributions at the mesoscale: relation to climate and topography. *J. Biogeography.* **30**, 1233-1243.

- Guisan, A., Edwards, T. C., Jr., and Hastie, T. (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distribution: Setting the scene. *Ecol. Model* **157**, 89–100.
- Griffin M. (2001). Coffee Quality and Environmental Conditions. Coffee e search newsletter, volume 1, Issue 3, p.4-6.
- Guisan, A., and Zimmermann, N. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Model* **135**, 147–186.
- Gillison, A. N. and Carpenter, G. (1992). A regional sampling strategy for natural resource inventories within the Wet Tropics World Heritage Area. Unpublished report to Wet Tropics Management Agency, Cairns, Queensland.
- 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. Int. J. Climatol.* **25**: 1965–1978.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L., Parra, P.G., Jones, P and Jarvis, A., (2004). *The WorldClim interpolated global terrestrial climate surfaces*. Version 1.3. Available at <http://biogeo.berkeley.edu/>
- Henning Sommer, J., Nowicki, C., Rios, L., Barthlott, W., and Ibisch, P. L. (2003). Extrapolating species range and biodiversity in data-poor countries: The computerized model BIOM. *Rev. Soc. Boliv. Bot.* **4**, 171–190.
- 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** (7), pp. 2027–2036.
- Hijmans, R. J., and Spooner, D. (2001). Geographic distribution of wild potato species. *Am. J. Bot.* **88**, 2101–2112.
- Holdridge, L. R (1982). *Ecología basada en zonas de vida*, segunda edición. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura IICA, San José, Costa Rica.
- Huntley, B. & Birks, H.J.B. (1983). *An Atlas of Past and Present Pollen Maps for Europe: 0-13,000 Years Ago*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hutchinson, G.E. (1957). Concluding Remarks, Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology. **22**, pp. 415-442.
- Ibisch, P. L., Nowicki, C., Muller, R., Araujo, N. (2003). Methods for the assessment of habitat and species conservation status in data-poor countries – case study of the pleurothallidinae (Orchidaceae) of the Andean rain forests of Bolivia. *Conservación de Biodiversidad en los andes y la amazonia*.

Instituto Alexander Von Humboldt, programa de inventario de la Biodiversidad Grupo de exploraciones y Monitoreo Ambientales GEMA. 1998. El Bosque seco Tropical (BsT) en Colombia.

Jarvis, A., Yeaman, S., Guarino, L., Tohme, J. (2005)^a. The role of geographic analysis in locating, understanding and using plant genetic diversity. *Methods in enzymology*, vol. **395**: 279-298.

Jarvis, A., K. Williams, D. Williams, L. Guarino, P.J. Caballero., Mottram, G. (2005)^b. Use of GIS for optimizing a collecting mission for a rare wild pepper (*Capsicum flexuosum* Sendtn.) in Paraguay. *Genetic Resources and Crop Evolution* **52**: 671–682.

Jones, P., and Gladkov, A. (1999). "FloraMap: A Computer Tool for the Distribution of Plants and Other Organisms in the Wild." Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

Jones, P. G., Beebe, S. E., Tohme, J. (1997). The use of geographical information systems in biodiversity exploration and conservation. *Biodiversity and conservation* **6**, 947-958.

Kubitzki, K., Renner, Y. S. (1982). Lauraceae I (Aniba and Aiouea). *Flora Neotropica*. Monograph N° 31. Organization for Flora Neotropica. NewCork Botanical Garden. New York.

Landis, J. and Koch, G. (1977). The measurements of observer agreement for categorical data. *Biometrics* **33**: 159–174.

Ledezma, J. C., Painter, L., Wallace, R. (2004). Identificación de vacíos de conservación y áreas posibles para conservación de poblaciones mínimas viables de especies con amplios requerimientos especiales – WCS. 24p.

Leon H. W y Espinoza N. (2000). Estudio anatómico del leño de ocho especies del género *Aniba* Aublet (Lauraceae). Universidad de los Andes, facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, laboratorio de Anatomía de Maderas. Mérida-Venezuela.

Leakey, R., Lewin. R. *La Sexta Extinción, el futuro de la vida y de la humanidad*. Tusquets Editores, S.A. Barcelona. Primera edición. 1997.

Lindenmayer, D. B., Nix, H. A., McMahon, J. P., Hutchinson, M., Tanton, F. T. (1991). The conservation of Leadbeater's possum, *Gymnobelideus leadbeateri* (McCoy): a case study of the use of bioclimatic modeling. *Journal of Biogeography* **18**: 371-383.

Lobo, J. M. y Hortal, J. 2003. Modelos predictivos: Un atajo para describir la distribución de la diversidad biológica. *Ecosistemas* 2003/1 (URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas/031/investigacion3.htm>).

López, G. I., Píta, S. (2001). Curvas ROC. Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Complejo Hospitalario Juan Canalejo. A Coruña (España) *Cad Aten Primaria* 1998; **5** (4): 229-235.

Locklin, C. (2001). Cauca Valley dry forests (NT0207).WWF. http://www.worldwildlife.org/wildworld/profiles/terrestrial/nt/nt0207_full.html

Lobo, J. M. (2000). Es posible predecir la distribución geográfica de las especies basándonos en variables ambientales. <http://entomologia.rediris.es/pribes>.

Lobo, J. M. (1999) Individualismo y adaptación espacial: un nuevo enfoque para explicar la distribución geográfica de las especies. Boletín de la Sociedad de Entomología Aragonesa, **26**: 561-572.

Madriñan Santiago (<http://botanica.uniandes.edu.co/lauraceae.htm>).

Maxted, N., Mabuza-Dlamini, P., Moss, H., Padulosi, S., Jarvis, A. Guarino, L. (2004). African Vigna: An ecogeographic study. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Italy.

Mackey, B.G. and Lindenmayer, D.B. (2001). Towards a hierarchical framework for modelling the spatial distribution of animals. *Journal of Biogeography* (28): 1147-1166.

Manel, S. CERI, H and Ormerod, S.J. (2001).Evaluating presence–absence models in ecology: the need to account for prevalence. *Journal of Applied Ecology*. **38**, 921–931.

Manel, S., Dias, J. M., Buckton, S. T., and Ormerod, S. J. (1999). Alternative methods for predicting species distribution: An illustration with Himalayan river birds. *J. Appl. Ecol.* **36**, 734–747.

Margaleff, R. 1981. Ecología. Editorial Planeta S.A. Barcelona. España.

Múnera López, A. (1998). El Comino. Especies vegetales promisorias. Seminario regional. Universidad Nacional. Sede Medellín. Facultad de ciencias agropecuarias.

Murphy, D. D., Freas, K. E. & Weiss, S. B. (1990). An environment metapopulation approach to population viability analysis for a threatened invertebrate. *Conservation Biology*, **4**, 41–51.

Nix, H. A. (1986). A biogeographic analysis of the Australian elapid snakes. *In*: R. Longmore (ed.) *Atlas of elapid snakes*. Australian Flora and Fauna Series No. **7**, pp. 4-15.

Obregón, C. (2006). El comino cresco. Belleza 100% Colombiana en vía de extinción. www.revista-MM.com).

ODUM, E.P. (1972). Ecología. México Ed. Interamericana. 639 p.

Oksanen, J., Minchin, P. R. (2002). Continuum theory revisited: what shape are species responses along ecological gradients? *Ecol. Model.* **157**, 119-129.

Phillips, S. J., Anderson, Robert P., Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions *Ecological Modelling* **190** 231–259.

Phillips, S. (2006). A brief tutorial on Maxent.

Pearson, R.G., Dawson, T.P. and Lin, C. (2004). Modelling species distributions in Britain: a hierarchical integration of climate and land-cover data. *Ecography* (27): 285-298.

Pearson, R.G. and Dawson, T.P., 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimatic envelope models useful? *Global ecology and biogeography* (12): 361-371.

Romero, J. A., Triana, G. (2005). Distribución de la precipitación en Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Geografía y Cartografía.

Reutter, B. A., Helfer, V., Hirzel, A. H., and Vogel, P. (2003). Modelling habitat-suitability using museum collections: An example with three sympatric *Apodemus* species from the Alps. *J. Biogeogr.* 30, 581–590.

Rebelo, A. G. (1994). Iterative selection procedures: Centres of endemism and optimal placement of reserves. *Strelitzia* 1, 231–257.

Salvador Figueras, M y Gargallo Valero, P. (2006). Análisis Factorial. Estadística. <http://www.5campus.com/leccion/factoria..>

Santamaria, H. A. (2005). Recursos Biológicos Escuela de Ingeniería de Antioquia. <<http://biologia.eia.edu.co/ecologia/estudiantes/comino.htm>>

Soberón, J. and Peterson, A.T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* (2): 1-10.

Segura, S., Coppens d'Eeckenbrugge, G., Lopez, L., Grum, M., Guarino, L. (2003). Mapping the potencial distribution of five species of pasiflora in andean countries. *Genet. Res and crop Evol.* **50**, 555-556.

Stockwell, D. R. B and Noble, I. R. (1992). Induction of sets of rules from animal distribution data: A robust and informative method of analysis. *Mathematics and Computers in Simulation* **33**:385-390.

Swets, J.A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, **240**, 1285–1293.

Sutherst, R.W. and Maywald, G.F. (1985) A computerised system for matching climates in ecology. *Agric. Ecosyst. Environ.* **13**,281-99.

Villaseñor, J. L., Tellez-Valdes, O. (2004). Distribución potencial del genero *Jefea* (Asteracea) en Mexico. *Serie Botánica* **75(2)**: 205-220.

Webb, T., Bartlein, P.J., Harrison, S.P. & Anderson, K.H. (1993). Vegetation, lake levels, and climate in eastern North America for the past 18,000 years. En Wright, H.E. *et al.* (eds.), págs. 468-513.

Wilson, E.O. (1988). The current state of biological diversity. En Wilson, E.O. (ed.), págs. 3-18. *Biodiversity. National Academy Press, Washington D.C.*

Sitios Internet (consultados en Enero 2006):

<http://www.biologia.eia.edu.co/ecologia/estudiantes/comino.htm>

<http://www.resnatur.org.co/quienes/logros.html>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Biogeograf%C3%ADa>

http://www.cifor.giar.org/scripts/default.asp?ref¼research_tools/domain/index.htm

<http://biogeo.berkeley.edu/worldclim/worldclim.htm>

<http://fm1.fieldmuseum.org/vrrc/index.php?page=results&family=LAURACEAE>

www.gbif.es/TransformacionCoord.php,

www.icc.es/geotex/egeoutmcastella2.html

www.arbolesornamentales.com/Lauraceae.htm - 14k

<http://www.lifemapper.org/desktopgarp/Default.asp?Item=3&Lang=1>

<http://cres.anu.edu.au/outputs/anuclim/doc/bioclim.html>.

ANEXOS

ANEXO 1. Registros de Aniba perutilis Hemsley.

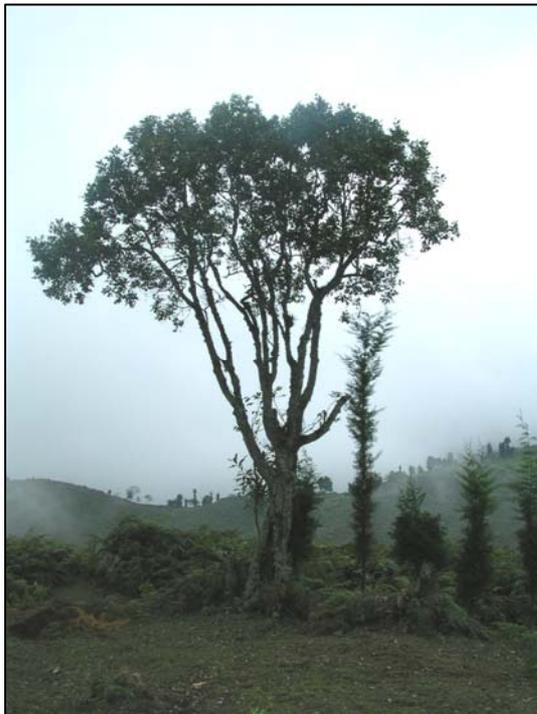
Pais de registro	Localidad	Long. (X)	Lat. (Y)	Rango. mts
Bolivia	La Paz. Madidi, Apolobamba, Wayrapata	-68,49167 w	-15,09000 N	1470
Colombia	Antioquia	-76,10000 w	6,25000 N	2100
Colombia	Antioquia	-74,93333 w	5,88333 N	600-1000
Colombia	Antioquia	-74,78333 w	6,05000 N	450-530
Colombia	Antioquia	-74,85000 w	5,88333 N	500
Colombia	Antioquia	-74,91667 w	6,00000 N	900-1000
Colombia	Antioquia	-74,95000 w	5,95000 N	800-925
Colombia	Valle del Cauca	-77,40000 w	3,28333 N	0-50
Ecuador	Zamora-Chinchipec: Cordillera del Condor	-78,42556 w	-3,63389 N	1500
Ecuador	Zamora-Chinchipec: Cordillera del Condor	-78,40306 w	-3,57889 N	1100-1400
Ecuador	Zamora-Chinchipec: Cordillera del Condor	-78,44056 w	-3,62528 N	1400-1500
Peru	Amazonas-yamayakat	-78,31667 w	-4,91667 N	320
Peru	Amazonas	-78,36861 w	-5,26556 N	900
Peru	Loreto-Allpahuayo	-73,50000 w	-4,16667 N	150
Peru	Loreto-Explomapo	-72,91667 w	-3,33333 N	
Peru	San Matin	-77,16667 w	-6,10000 N	820
Colombia	Risaralda-Quindío- sector, río barbas-Manzano mpios pereira-salento	-75,08056 w	4,48389 N	1800-2000
Colombia	Norte de Santander,Cucutilla,quebrada Poveda, al lado finca Andelfo Lizcano	-72,83639 w	7,47444 N	2200
Colombia	Risaralda-Pereira, vereda la suiza, finca Amparo de niños San marcos	-75,59833 w	4,74611 N	1840
Colombia	Caldas-Samaná- Río Claro	-74,96083 w	5,98333 N	800-900
Colombia	Antioquia, mpios San francisco, Aquitania-topacio	-73,06722 w	5,88333 N	925
Colombia	Risaralda-pereira-la suiza finca lisbrand	-75,58528 w	4,73417 N	1790
Colombia	Amazonas-Leticia-PNN Amacayacu, quebrada Aguas pudre, parcelas E#12	-70,25000 w	-3,70000 N	120
Colombia	Regional Antioquia: Cartama. Municipio: Tamesis-Jerico. Finca/Vereda: Río Frío-Las Minas, La Maria R. Quema.	-75,74168 w	5,72243 N	2159
Colombia		-75,74030 w	5,72181 N	2202
Colombia		-75,74052 w	5,72200 N	2244
Colombia		-75,74076 w	5,722196 N	2244
Colombia		-75,74162 w	5,72219 N	2212
Colombia		-75,74166 w	5,72245 N	2188
Colombia		-75,73999 w	5,71947 N	2188
Colombia		-75,74130 w	5,72251 N	2200
Colombia		-75,77451 w	5,70783 N	2290

Colombia		-75,77401 w	5,70785 N	2287
Colombia		-75,77466 w	5,70785 N	2287
Colombia		-75,77492 w	5,70809 N	2287
Colombia	Regional Antioquia: Citara. Municipio: Jardín, Finca/Vereda: La congoja	-73,82500 w	5,64639 N	2340
Colombia		-75,82528 w	5,64667 N	2340
Colombia		-75,82389 w	5,64750 N	2340
Colombia		-75,82389 w	5,64806 N	2330
Colombia		-75,82417 w	5,64861 N	2315
Colombia		-75,82422 w	5,64864 N	2315
Colombia	Regional Antioquia: Hevexicos, Municipio: Liborina, Finca/Vereda: Los Volcanes	-75,75378 w	6,67124 N	2072
Colombia		-75,75389 w	6,67118 N	2072
Colombia		-75,75363 w	6,67145 N	2046
Colombia		-75,75494 w	6,67343 N	2028
Colombia		-75,75379 w	6,67160 N	2042
Colombia		-75,75492 w	6,67354 N	2028
Colombia		-75,75385 w	6,67149 N	2046
Colombia		-75,75375 w	6,67148 N	2042
Colombia		-75,75374 w	6,67158 N	2046
Colombia		-75,75359 w	6,67117 N	2063
Colombia		-75,75353 w	6,67104 N	2067
Colombia		-75,75371 w	6,67134 N	2046
Colombia	Regional Antioquia: Tahamies. Municipio: Anori. Finca/Vereda: Remolino	-75,02534 w	7,32292 N	675
Colombia		-75,02630 w	7,32291 N	690
Colombia		-75,02354 w	7,31878 N	620
Colombia		-75,02672 w	7,33506 N	475
Colombia		-75,00947 w	7,27491 N	758
Colombia		-75,01112 w	7,28013 N	788
Colombia		-75,02164 w	7,27522 N	754
Colombia		-75,02048 w	7,27395 N	724
Colombia		-75,04456 w	7,31600 N	625
Colombia		-75,04439 w	7,31544 N	635
Colombia		-75,03628 w	7,30992 N	715
Colombia		-75,03464 w	7,30892 N	700

ANEXO 2. Registro fotográfico de *Aniba perutilis* Hemsley.



Árbol de *Aniba perutilis*. 25 a 30 mts de altura. Diámetro 2,62 mts. 2084 msnm. En comienzo de floración. Palmira, vereda el cominal. Dueña del predio, señora Carmen de Gefia. Foto Carlos A. Hurtado, 11 de Octubre del 2006



Árbol de *Aniba perutilis* Hemsley. 4 a 5 mts de altura. Diámetro 1,66 mts. 2129 msnm. Palmira, vereda el Cominal. Foto Carlos A. Hurtado, 11 de octubre del 2006.



Fotos del Comienzo de floración y hojas de *Aniba perutilis* Hemsley. Según Carmen de Gefia, tendrían semillas para finales de Enero comienzos de Febrero. Palmira, vereda el Cominal. Foto Carlos A. Hurtado 11 de octubre del 2006.





Árbol de Aniba perutilis Hemsley. 3 a 5 mts de altura. Diámetro 1,98 mts. 2127 msnm. Suelo ácido (gran cantidad de helechos indicador), en pendiente, Bosque de Niebla, Humedad relativa alta. Buga, vereda el Janeiro, Corregimiento la Habana, predio Santa Linda, propietario Fabio Barrios. Foto Carlos A. Hurtado, 9 de octubre del 2006.



Plántula de Aniba perutilis, de 7 años de sembrada. De lento crecimiento, aproximadamente 1 a 5 Centímetros anuales en condiciones de vivero y de difícil germinación, según Jaime Diego Botero, propietario de la reserva Natural Nirvana e investigador, que lleva trabajando más de 15 años con la comunidad de la cabecera municipal de Palmira, para la conservación de los únicos árboles de Aniba perutilis Hemsley que quedan en la zona. Foto tomada por Carlos A. Hurtado, Reserva Natural Nirvana, La Buitrera, Palmira. 27 de Enero del 2006.



Tocón de Aniba perutilis
Hemsley. Foto Carlos A.
Hurtado. Reserva Natural
Nirvana. 27 de Enero del
2006.