



TÍTULO

**APLICACIÓN DE MODELOS DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA
PARA LA CONSERVACIÓN Y REINTRODUCCIÓN EN EL
HÁBITAT NATURAL DE *LYCHNOPHORA ERICOIDES***

**ESPECIE AMENAZADA DE EXTINCIÓN EN LOS CERRADOS
(SABANAS BRASILEÑAS)**

AUTORA

Andreya Bethânia Rodrigues Ramos

Director
Curso
ISBN

Esta edición electrónica ha sido realizada en 2011

Carlos Montes del Olmo

Máster Universitario en Conservación y Gestión del Medio Natural

978-84-694-6980-4

© Andreya Bethânia Rodrigues Ramos

© Para esta edición, la Universidad Internacional de Andalucía



Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas

Usted es libre de:

- Copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra.

Bajo las condiciones siguientes:

- **Reconocimiento.** Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciadore (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).
 - **No comercial.** No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
 - **Sin obras derivadas.** No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
-
- *Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.*
 - *Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor.*
 - *Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.*

Aplicación de Modelos de Distribución Geográfica para la Conservación y Reintroducción en el Hábitat Natural de *Lychnophora ericoides*

Espece amezazada de extinción en los Cerrados
(Sabanas Brasileñas)

Andreya Bethânia Rodrigues Ramos

Director de Tesis: Profesor Doctor Carlos Montes del Olmo

Tesis de Maestría del IX Máster Universitario en Conservación y Gestión del Medio Natural.

Brasil

Brasília

Julio/2010



Aplicación de Modelos de Distribución Geográfica para la Conservación y Reintroducción en el Hábitat Natural de *Lychnophora ericoides*

Especie amenazada de extinción en los Cerrados
(Sabanas Brasileñas)

Andreya Bethânia Rodrigues Ramos

Disertación presentada a la Universidad Internacional de Andalucía, (Sede Iberoamericana de Santa María de La Rábida), para obtener el Grado de Maestro.

Director de Tesis: Profesor Doctor Carlos Montes del Olmo

Tesis de Maestría del IX Máster Universitario en Conservación y Gestión del Medio Natural.



Julio/2010

“Yo imagino a Dios como la fuente de toda la energía que creó y mantiene el equilibrio del universo. Veo a Dios en la flor y en la abeja que chupa el néctar para producir miel, y en el pájaro que se alimenta de la abeja, y en el hombre que come el pájaro y en el gusano que se come al hombre. Veo a Dios en cada estrella en el cielo, y en los ojos tristes de cada buey rumiando en el invierno. Solo no puedo ver a Dios en el hombre que devora al hombre.”

Autor Anónimo

Dedico esta tesis a Francisca Rodrigues Freitas mi madre que me enseñó todos los caminos, que me apoyó en todos los momentos, que creyó, que exigió, que educó, que me trajo al mundo e hizo de todo para que yo me hiciera siempre una persona mejor el día de mañana lo que hube sido hasta hoy! Madrecita, a usted con todo mi amor y gratitud.

Andreya Bethânia R. Ramos

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Brasileño del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (IBAMA), gracias por el apoyo financiero y logístico durante el tiempo en que pasé en España. Apoyo sin el cual no sería posible la realización de este trabajo.

A la Fundación Carolina y sus representantes, la oportunidad por la beca concedida, por el apoyo financiero y por el apoyo cuando llegué a Madrid.

A los compañeros de trabajo del IBAMA, por estar siempre disponibles para salvar dudas y por apoyarme, dándome ideas nuevas para mejorar mi trabajo de máster, un agradecimiento muy especial a Guilherme Destro, amigo muy querido que me apoyó inmensamente durante el proceso de obtención de datos. Sin el este trabajo no tendría se concretizado.

Agradezco a UNÍA y a todos su personal, en especial a María Del Mar Peinado, por tener paciencia con mi “portuñol” (portugués + español = portuñol) y aunque no haya comprendido un tercio del que yo intentaba hablar, fue siempre gentil e intentó ayudarme a solucionar los contratiempos.

Al maestro Francisco Borja por la acogida, por el incentivo y atención. A mi orientador a la distancia, Dr. Carlos Montes Del Olmo.

Al fotógrafo Márcio Cabral por sus increíbles fotos que trajeron primor a mi Tesis.

A todos mis amigos de clases en la Rábida, en especial a Jorge Cabrejos, Guillermo Dávila y Gleidys por ayudarme con la corrección de mi terrible portuñol! Gracias Chicos queridos!

A Mi madre por el cariño y por creer en mi potencial durante toda mi vida.

Agradezco mi abuela por estar en mi vida desde siempre, por su presencia dulce, por su cariño y amor! De la misma manera agradezco profundamente todos mis familiares por incentivar me y por creen en mi potencial

A mi novio Glauco Túlio por ser una persona con la que puedo contar siempre, por el cariño que me brinda y los ánimos que me da.

Gracias,

Andreya B. R. Ramos

RESUMEN

En los últimos años, las técnicas aplicadas a la generación de modelos de distribución de especies evolucionaron mucho, gracias a la amplia oferta de lenguajes de programación, la amplia difusión de información geoespacial y al desarrollo de las técnicas SIG. En este contexto el Modelamiento de distribución de las especies surge como una importante herramienta creadora de subsidios para políticas de conservación y mejora de las estrategias de manejo de las especies amenazadas.

Actualmente, existen varios algoritmos matemáticos que pueden ser utilizados para la generación de mapas de distribución potencial de especies. En el presente trabajo, utilizaremos los algoritmos Maxent y Desktop Garp “with best Subsets” para procesar los registros de ocurrencia de *Lychnophora ericoides* obteniendo una base comparativa de modo que las áreas adecuadas sean identificadas minimizando las oportunidades de error. Esta especie presenta distribución restringida dentro de la ecoregión Cerrado y fue seleccionada pues se encuentra registrada en la lista de especies amenazadas de extinción brasileña y por ser una especie de gran importancia económica y medicinal.

Palabras Claves: Maxent, Garp, extinción de especies, biodiversidad, cerrado, sabanas brasileñas, *Lychnophora ericoides*.

ABSTRACT

In recent years the techniques applied to the generation of species distribution models have evolved a lot, thanks to the broad range of programming language, broad dissemination of geospatial information and the development of GIS techniques. In this context, the modeling of species distribution emerges as an important tool that creates benefits for conservation policy and improved management strategies of threatened species. Currently there are several mathematical algorithms that can be used to generate maps of potential distribution of species. In this paper, we use two algorithms: **Maxent and Desktop Garp with best Subsets**, to process the records of occurrence of *Lychnophora ericoides* this way obtaining a comparative basis where suitable areas are identified and the opportunities of error are minimized. This species has a restricted distribution in the Brazilian savannas and was selected because it is registered in the list of Brazilian endangered species (red list), and 'cause its surprising medical power (*L. ericoides* is largely used in the traditional medicine) and 'cause of its economic value.

Key words: Maxent, Garp, extinction of species, Biodiversity, Brazilian savannas, *Lychnophora ericoides*.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
Capítulo 1.....	13
INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 Extinción de Especies.....	11
1.2 Listas de Especies de la Flora Brasileña amenazadas de extinción	15
1.3 Especies con deficiencias de informaciones	17
1.4 Marco Legal	18
Capítulo 2	19
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	20
2.1 Biogeografía y Modelamiento	20
2.2 Hábitat y Nicho Ecológico	21
2.3 Modelos de Distribución de Especies	23
2.4 GARP	24
2.5 MAXENT	25
2.6 Caracterizaciones del área de Estudio: Cerrado (Sabanas).....	26
2.7 <i>Lychnophora ericoides</i>	29

2.7.1 Aspectos Fenológicos y Reproductivos	29
2.7.2 Aspectos Socio-Económicos de <i>L. ericoides</i>	33
2.8 OBJETIVO	36
2.8.1 Objetivo General	36
2.8.1 Objetivo Específico	37
Capítulo 3	38
3. MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.1 Datos usados en Modelamiento	41
3.1.1 Datos Bióticos	42
3.1.2. Datos Abióticos	45
3.1.4 – Ajustes para desarrollar el modelo GARP with Best subsets	47
3.1.5. Ajustes para desarrollar el algoritmo Maxent	49
3.1.6 Validación del Modelo	50
Capítulo 4	55
4. Análisis y Discusión de Resultados	56
4.1 Omisión/Comisión	56
4.2 Curva ROC	59
4.3 Análisis de las Curvas de las Variables Ambientales - Maxent	60
4.4. Análisis de la Contribución de las variables Ambientales - Maxent	62

4.5 JACKKNIFE	63
4.6 Mapa de Distribución de Especies	66
Capítulo 5	77
CONCLUSIÓN.....	78
Capítulo 6	80
BIBLIOGRAFIA.....	81

RELACIÓN DE FIGURAS

FIGURA 1: Muestra la localización y cobertura de los Cerrados (Sabanas) en relación a las demás regiones naturales brasileñas, distribuidas en sus estados federativos	28
FIGURA 2: Flores de <i>L. ericoides</i>	30
FIGURA 3: Aspectos del medio donde crece <i>L. ericoides</i>	32
FIGURA 4: Aspectos del medio donde vive <i>L. ericoides</i>	33
FIGURA 5: Ocurrencia de <i>L. ericoides</i> en Serra da Canastra	34
FIGURA 6: <i>L. ericoides</i> en su Hábitat Natural. Serra do Cipó - Estado de Minas Gerais.....	35
FIGURA 7: Ocurrencia de <i>L. ericoides</i> en Serra dos Pinineus, Estado de Goiás	35
FIGURA 8: Problemas de alta omisión, super-ajuste y sobreestimación de los modelos	53
FIGURA 9: Representación de los errores de omisión e sobreprevisión (comisión).....	60
FIGURA 10: Mapa de Distribución de <i>L. ericoides</i> generado por el Maxent	67
FIGURA 11: Mapa de Distribución de <i>L. ericoides</i> generado por el GARP	68

FIGURA 12: ZOOM en las áreas de Distribución de L. ericoides (GARP) y los límites estatales.....	69
FIGURA 13: Mapa del relieve brasileño. Datos: IBAMA/IBGE/ICMbio. Elaboración: Andrey Ramos	71
FIGURA 14: Mapa de Curvas de nivel. Datos: IBAMA/IBGE/ICMbio. Elaboración: Andrey Ramos	73

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1. Sitios que disponen datos Bióticos	44
Tabla 2. Variables ambientales para estimar la distribución potencial de las especies	46
Tabla 3. Parámetros específicos del GARP best subset	49
Tabla 4. Parámetros para Configuración del Maxent	50
Tabla 5. Omisión y Comisión	56
Tabla 6. Medidas derivadas de la matriz de confusión de resultados de los MDE's	58
Tabla 7. Algunos umbrales comunes y las tasas de omisión correspondientes – Maxent	58
Tabla 8. Representatividad de las Variables Ambientales.....	65

RELACIÓN DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Omisión y área predicha para <i>Lychnophora ericoides</i>	57
Gráfico 2. Curva ROC-PLOT para el Algoritmo Maxent	59
Gráfico 3a. Curva ROC-PLOT del Algoritmo GARP – Teste Externo	60
Gráfico 3b. Curva ROC-PLOT del Algoritmo GARP – Teste Interno	60
Gráfico 4. Análisis de las Curvas de las Variables Ambientales – Maxent	61
Gráfico 5. Análisis de la Contribución de las variables Ambientales – Maxent	64
Gráfico 6. Representatividad de las Variables Ambientales – JACKKNIFE	60

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AUC - Área bajo la Curva

BDT - Base de Datos Tropicales

BINbr - Red Brasileña de Información en Biodiversidad

CRIA - Centro de Referencia en Información Ambiental

CDB - Convención de la Diversidad Biológica

CHM - The Clearing House Mechanism

CE - Ceará

Conabio - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

EMBRAPA - Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria

EVI - Vegetation Index Isolines

GPS - Global Position System

GBIF - Global Biodiversity Information Facility

GLM - Generalized Linear Models

GAM -Generalized Additive Models)

GARP - Genetic Algorithm for Rule-Set Prediction

IBDF - Instituto Brasileño del Desarrollo Forestal

IBAMA - Instituto Brasileño del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservación de la Biodiversidad

MMA - Ministerio del Medio Ambiente

MDE's - Modelos de Distribución de Especies

MOBOT - Missouri Botanical Garden

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

NYBG - New York Botanical Garden,

ONG's - Organizaciones no Gubernamentales

PB - Paraíba

PE - Pernambuco

PROBIO - Proyecto de Conservación de la Biodiversidad Brasileña

ROC - Curva Característica de Operación

RR - Roraima,

RN - Río Grande del Norte

ROC-plot - Receiver Operating Characteristic

SFB - Servicio Forestal Brasileño

SIG - Sistemas de información Geográfica

SISNAMA - Sistema Nacional del Medio Ambiente

UC's - Unidades de Conservación

CAPÍTULO 1

Introducción General



Foto de Márcio Cabral – Cerrado

“The science of ecology is in its infancy.”

B.A. Maurer (1999)

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Extinción de Especies

La historia del planeta se ha caracterizado por diversos eventos de extinción. Hay registros paleontológicos que comprueban la desaparición de diversas especies dentro de los más diferentes grupos de organismos. La extinción es parte del proceso evolutivo a que son sometidas las especies, no es un acontecimiento inusual en el tiempo geológico. Se sabe que la duración media de cada especie es estimada en unos 10 millones de años y que más o menos cada millón de años ocurre la extinción de $\frac{1}{4}$ de las especies presentes en el planeta (Bensusan, 2006).

La transformación del hombre de cazador a agricultor, hace unos 12.000 años, marcó un hito. El surgimiento de las primeras civilizaciones ha promovido cambios rápidos. En el siglo XVIII, el advenimiento de la revolución industrial con la aparición de fábricas, la producción masiva y el empleo fueron los principales factores impulsores de los cambios en la economía, las relaciones sociales y el paisaje geográfico. Pero la aparición del hombre nunca ha sido tan perjudicial para el medio ambiente como en los últimos 50 años. Llegamos a ser el factor fundamental de la extinción de miles de especies en todo el planeta.

Brasil es el país que mejor expresa la idea de "megabiodiversidad". Posee alrededor del 19% de la flora mundial, aproximadamente 56.000 especies catalogadas (sin incluir los hongos). En general, cuanto mayor sea la diversidad de un país y la menos consciente, más crítica es la situación de urgencia de los esfuerzos, y más grande, de manera exponencial, es la

responsabilidad de ese país con respecto a la humanidad (Marques, AC & Lamas, CJE 20).

Es posible creer que, de las especies vegetales de las sabanas brasileñas muchas de valor económico y medicinal desaparecerán en el transcurso de la reducción de sus hábitats sin que sean debidamente catalogadas y que sea descubierto su papel ecológico así como sus potenciales para uso humano (Avelino, 2005).

1.2 Listas de Especies de la Flora Brasileña Amenazadas de Extinción

La primera lista de las Especies de la Flora Brasileña Amenazadas de Extinción fue editada en 1968 (Portaría del Instituto Brasileño de Desarrollo Forestal - IBDF nº 303), con la inclusión de 13 especies. La segunda ocurrió en 1980 (Portaría IBDF nº 1471), con la adición de una especie. En enero de 1992 el Instituto Brasileño del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables – IBAMA, publica una lista con 107 especies. Tres meses después, por medio de la Portaría IBAMA nº 37-N, fue editada y incluida una especie más, totalizando 108 especies.

En 23 de septiembre de 2008 fue divulgada por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) la lista oficial de Especies Amenazadas de Extinción de la Flora Brasileña. Esta presenta un número de 472 especies amenazadas, aproximadamente cuatro veces mayor que la lista anterior, publicada en el año 1992. Según el MMA (2008), este aumento refleja no sólo el aumento de las presiones antrópicas sobre la vegetación de las diferentes regiones brasileñas, ocurridas al largo de las últimas tres décadas, sino también un mejor nivel de conocimientos sobre flora y fauna brasileña y la participación más expresiva de

la comunidad científica en el proceso de elaboración de la lista. El estudio fue viabilizado a través de un convenio firmado entre IBAMA y Fundación Biodiversitas por demanda del MMA, el sector académico-científico fue movilizado de modo que los resultados presentados pudieran obtener subsidios técnicos. La Fundación Biodiversitas presentó al MMA una lista con 1537 especies. Estos resultados fueron sometidos a una juiciosa evaluación por técnicos del MMA, del IBAMA, del Instituto de Investigaciones Jardín Botánico de Río de Janeiro - JBRJ, del Instituto Chico Mendes de Conservación de la Biodiversidad - ICMBio y del Servicio Forestal Brasileño - SFB. De ese análisis, se constató que, para la gran mayoría de las especies, había ausencia de informaciones que justificaran su inclusión en la condición de amenazadas.

Los criterios para definir una especie amenazada son varios. Ellos comprenden desde una reducción absoluta en la población, hasta una reducción en el hábitat de la especie o en el territorio que ocupa. Las especies que presenten una pérdida de más del 70% en los últimos diez años o tres generaciones, por ejemplo, serán definidas como críticamente amenazadas.

Las especies incluidas en la lista son consideradas prioritarias a los efectos de la concesión de apoyo financiero a la conservación por parte del gobierno federal y su recolección será efectuada solamente con autorización del órgano ambiental competente. Según informaciones exhibidas en la web del Ministerio del Medio Ambiente – MMA, serán desarrollados planes estratégicos dirigidos a la conservación y recuperación en unión con instituciones compañeras de investigación y los demás órganos componentes del Sistema Nacional de Medio Ambiente – SISNAMA, además de la Academia y de Organizaciones no

Gubernamentales – ONG’s, siguiendo las directrices establecidas por las Metas Nacionales de Biodiversidad para 2010, de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad - Conabio. La lista de especies amenazadas se transformó en un fuerte instrumento de política pública, con poder de validación de las leyes ambientales establecidas en el país. Además de orientar al tomador de decisión en la elaboración de planes y programas de acción para la conservación y recuperación de especies de la fauna y de la flora; en la definición de áreas prioritarias para la biodiversidad, y en la implantación de nuevas Unidades de Conservación – UC’s, entre otros.

1.3 Especies con insuficiencia de informaciones

Una segunda lista elaborada por la Fundación Biodiversitas incluye las especies con insuficiencia de datos (Anexo II de la Instrucción Normativa) disponible en la web del MMA, compuesta de 1.079 especies. Este grupo se refiere a las especies cuyas informaciones (distribución geográfica, amenazas/impactos y usos, entre otras) son aún insuficientes, no permitiendo su encuadramiento con seguridad en la condición de amenazadas. Las especies constantes del anexo II de la lista de flora amenazada no serán sujetas a las restricciones previstas por la ley.

La presión humana amenaza muchas especies y ecosistemas, de modo que es necesario priorizar esfuerzos conservacionistas para salvarlas. Sin embargo, la conservación debe ser claramente pro-activa, siempre que ello sea posible.

1.4 Marco Legal

[Instrucción Normativa MMA nº 06, de 23 de septiembre de 2008](#) - Reconoce como especies de la flora brasileña amenazada de extinción aquellas incluidas dentro del Anexo I y reconoce como especies de la flora brasileña con insuficiencia de datos aquellas incluidas en el Anexo II de tal Instrucción.

[Portaría IBDF nº 303, de 29 de Mayo de 1968](#) - Instituye la Lista oficial brasileña de las especies de plantas amenazadas de extinción en el País.

[Portaría IBDF nº 093/80-P, de 05 de Febrero de 1980](#) - Añade la especie *Worsleya rayneri* (Hook. f.) Traub & Moldenke a la Lista oficial brasileña de las especies de plantas amenazadas de extinción en el País, publicada por la Portaría IBDF nº 303, del 29 de mayo de 1968.

[Portaría IBAMA nº 06-N, de 15 de Enero de 1992](#) - Reconoce la Lista Oficial de Especies de la Flora Brasileña Amenazada de Extinción.

[Portaría IBAMA nº 37-N, de 03 de Abril de 1992](#) - Reconoce la Lista Oficial de Especies de la Flora Brasileña Amenazada de Extinción, añadiendo una especie (*Astronium fraxinifolium*) a la Lista publicada por la Portaría IBAMA nº 37-N, del 03 de abril de 1992.

CAPÍTULO 2

Fundamentación Teórica



Foto: Márcio Cabral/Brasil – Puesta Del Sol en los Cerrados

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Introducción

2.1.1 Biogeografía y Modelamiento

La biogeografía en un contexto de conservación trabaja identificando áreas con riqueza de especies, describiendo los patrones de distribución y de endemismos, comparando la composición biológica de diferentes áreas y aún identificando las bases genéticas y evolutivas para mantenimiento de la diversidad (Crisci et al. 2003). A través de la Biogeografía, se estudia la distribución de la vida basada en su dinámica en la escala espacial y temporal en el planeta Tierra; es posible comprender como los procesos ecológicos que ocurren a corto plazo influyen sobre los patrones de distribución de los organismos en función de sus adaptaciones a las condiciones actuales del medio. Varios conceptos son útiles para el establecimiento de hipótesis de distribución potencial. Factores tales como altitud, clima, vegetación, entre otros, determinan la ocurrencia de los organismos, tanto en escala local como en las escalas mayores. Para realizar el Modelamiento de la distribución geográfica de especies, es necesario esclarecer el objeto de la misma; presentar las diferencias entre los conceptos de nicho fundamental y nicho realizado es premisa básica. El concepto de nicho fundamental de la especie incluye los intervalos de las condiciones ambientales necesarias para la existencia de la especie, sin considerar la influencia de interacciones bióticas, tales como competencia y predación. Ya el nicho realizado, describe la parte del nicho fundamental en el cual la especie realmente ocurre, o sea, es delimitado

por factores bióticos. De modo que, el área definida por el nicho fundamental es mayor que el nicho realizado.

Algunos autores hacen una separación entre Modelamiento de nicho ecológico y Modelamiento de distribución de especies (Peterson et al. 2008). En la práctica, es importante saber que un modelo de nicho representa una aproximación del nicho ecológico de la especie, en las dimensiones de las capas ambientales utilizadas, o sea, es utilizado un sub-espacio de condiciones del nicho ecológico en la realización del Modelamiento. En este tipo de Modelamiento no entran factores históricos, barreras geográficas, competencia, predación etc. De esa forma, los resultados corresponden a una estimación, basada en datos del nicho realizado, que se aproxima al nicho fundamental de la especie y el área proyectada representa la distribución potencial de la especie basada, en las capas ambientales utilizadas en el Modelamiento.

2.2 Hábitat y Nicho Ecológico

Hábitat puede referirse al lugar donde un organismo vive, pero puede también referirse al lugar ocupado por una comunidad. El hábitat de un organismo, o grupo de organismos (población), incluye los otros organismos que ahí viven y la componente abiótica. El hábitat de una comunidad incluye sólo la componente biótica. La componente abiótica de un ecosistema posee características físicas y químicas que irán a determinar el tipo de organismos posible de en él existan. La componente biótica es representada por los seres vivos que componen la comunidad biótica o biocenosis. El concepto de hábitat es, en general, usado con referencia a un medio geográfico restringido en el cual

una sociedad, un organismo pueda vivir; por ejemplo, el hábitat del “tatu-bola¹”, es la caatinga², en el nordeste brasileño. Él mismo solo existe en esa región de clima semi-árido y suelo arenoso.

La destrucción de un hábitat puede llevar especies a la extinción. El ecosistema específico que sostiene la vida tiene características múltiples y complejas a ser analizadas y está siempre de acuerdo con la especie de vida allí existente. Eso es válido para cualesquier ecosistemas y para cualesquier especies de seres.

La primera idea de nicho es similar al concepto de Hábitat, Grinnell (1917) definió Nicho cómo siendo los locales donde los requisitos para una determinada especie vivir y reproducirse es adecuado a sus necesidades. Elton, (1927) adicionó la idea de lugar y el nivel trófico ocupado por la especie en el ambiente biológico. La intensidad de la competición entre especies fue insertada por Gause, (1934). La popularización del término “nicho ecológico” se dio a través de la obra de Hutchinson, (1957), quien lo definió como un espacio con un hipervolumen n-dimensional, donde cada dimensión representa el intervalo de condiciones ambientales o de recursos necesarios para la supervivencia y reproducción de la especie, tales como: temperatura,

¹ *Tolypentis tricinctus* es el más pequeño y único “tatu” endémico al territorio brasileño, siendo considerado hoy la especie más rara. Hasta 1989, eran conocidos solo seis espécimen.

² El bioma Caatinga es el principal ecosistema existente en la Región Nordeste, extendiéndose por el dominio de climas seme-áridos, en una área de 73.683.649 ha, 6,83% del territorio nacional; ocupa los estados de Bahia, Ceará, Piauí, Pernanbuco, Rio Grande do Norte, Paraíba, Sergipe, Alagoas, Maranhão y Minas Gerais. La palabra Caatinga es originaria del tupi-guaraní y significa mata blanca. Es un bioma único pues, a pesar de estar localizado en área de clima semi-árido, presenta grande variedad de paisajes, relativa riqueza biológica y endemismo.

humedad, salinidad, pH, recursos alimenticios, locales para nidificación, intensidad luminosa, presión predatoria, densidad poblacional, entre otras.

2.3 Modelos de Distribución de Especies

Durante los últimos años, las técnicas aplicadas a la generación de modelos de distribución de especies evolucionaron en gran proporción, gracias a la amplia oferta de lenguajes de programación, la amplia difusión de información geoespacial y al desarrollo de las técnicas de Sistemas de Información Geográfica - SIG. Los modelos resultantes de estas técnicas se muestran eficaces para establecer planes de conservación (Ferrier, 2002), evaluar el potencial de invasión de especies exóticas o plagas (Sutherst et al., 2000), obtener posibles localizaciones de especies raras y amenazadas (Guisan et al., 2006), avanzar en la comprensión de los patrones espaciales de la biodiversidad (Graham et al., 2006), obtener conocimiento en biogeografía y biología de especies (Anderson et al., 2002), para evaluar el impacto del cambio global sobre la distribución de los organismos (Lawler et al., 2006), para identificación de “hotspots” de especies amenazadas (Godown y Peterson, 2000), y para el establecimiento de áreas apropiadas para translocaciones y/o rea locaciones o cultivo (Cunningham et al., 2002).

En este contexto, el Modelamiento de distribución de las especies surge como una importante herramienta creadora de subsidios para políticas de conservación y mejoría de las estrategias de manejo de las especies amenazadas (Lima et al. en prensa).

Actualmente, existen varios algoritmos matemáticos que pueden ser utilizados para la generación de mapas de distribución potencial de especies. Se puede

utilizar métodos basados en registros de presencia-ausencia, como GLM (generalized linear models), GAM (generalized additive models) y el Garp, o algoritmos basados únicamente en presencias como Bioclim, Domain, ENFA, y Maxent. Los modelos basados únicamente en presencias representan generalmente la distribución espacial del nicho ecológico fundamental de la especie, mientras los basados en presencia-ausencia indican de modo más aproximado la distribución del nicho ecológico efectivo. En este trabajo, utilizaremos los algoritmos Maxent y Desktop Garp with best Subsets.

2.4 Garp

El Garp (Genetic Algorithm for Rule-Set Prediction) es un algoritmo genético que crea modelos de nicho ecológico para las especies. Los modelos describen las condiciones ambientales bajo las cuales las especies deben ser capaces de mantener poblaciones. Como datos de entrada, se utiliza un conjunto de coordenadas geográficas donde la ocurrencia de la especie es conocida y un conjunto de capas geográficas que representan los parámetros ambientales que pueden limitar la capacidad de las especies para sobrevivir. El GARP se caracteriza por utilizar operadores heurísticos para seleccionar un conjunto de reglas más eficientes basadas en las variables ambientales, y, por utilizar los preceptos de la variación genética y de la selección natural; también es denominado algoritmo genético (Stockwell & Peters 1999). Por trabajar a través de un proceso interactivo de selección, evaluación, prueba e incorporación o rechazo de reglas con los puntos de presencia de las especies, resulta en una predicción binaria, o sea, trabaja para encontrar la mejor serie de reglas entre

las positivas, las cuales muestran ambientes que satisfacen la predicción, y reglas negativas, que no lo hacen (Anderson et al. 2003). De una forma bien simplificada, el usuario define los parámetros y el conjunto de datos utilizados en el análisis, y el software realiza el procesamiento de los datos de acuerdo con los conceptos del Algoritmo Genético GARP. Después del procesamiento, el resultado puede ser obtenido a través de mapas gráficos o aún en la forma de descripción de las reglas resultantes.

2.5 Maxent

La máxima entropía (Maxent) es un método para realizar predicciones o inferencias a partir de informaciones incompletas y viene siendo aplicado recientemente en la Modelamiento de distribución de especies (Phillips et al. 2006). El software Maxent ajusta la probabilidad de la distribución de ocurrencia de una determinada especie para un conjunto de píxeles de la región de estudio basado en la idea de que la mejor explicación para el fenómeno desconocido es aquella que maximizará la entropía de la distribución de probabilidad (PHILIPS et al., 2006). Presenta, entre otras ventajas, una base determinística y por eso tiene estabilidad, así como habilidad para correr el modelo solamente a través de puntos de presencia; además de alto desempeño con pocos puntos de localización y mejor eficiencia en la operación, lo que posibilita el uso de capas con alta resolución. Posee, aún, la ventaja de que la salida del modelo es continua, permitiendo la distinción entre los modelos generados para diferentes áreas. Difiere del GARP por poseer un mando denominado Jackknife, que permite la estimación de la significancia de cada capa ambiental en el modelo generado (Anderson et al., 2003).

Este método permite predecir la distribución potencial de especies, basada en áreas de ocurrencia conocidas y en los requerimientos ecológicos de las mismas; o sea, características que componen el nicho. Por tratarse de un Modelamiento de nicho fundamental, el resultado de tales modelamientos es interpretado como una aproximación a la distribución espacial original de la especie (PHILIPS et al., 2006).

2.6 Caracterizaciones del área de Estudio – Cerrado (Sabanas)

El estudio comprende toda el área de ocurrencia de Cerrados³ en el Brasil. El término Cerrado es utilizado para designar el conjunto de ecosistemas (sabanas, matas, campos y matas en galería) que ocurren en centro del Brasil (Eiten, 1977; Ribeiro et al., 1981).

Más conocidos mundialmente como Sabanas, estos ecosistemas son caracterizados por la presencia de una capa continua de vegetación herbácea y un dosel discontinuo de arbustos y árboles. Según Goedert et al., 2008, aunque existan discrepancias entre los estudiosos, los principales determinantes ecológicos responsables por la estructura y funcionamiento de los Cerrados son los siguientes: disponibilidad del agua, disponibilidad de nutrientes, fuego, herbivoría e intervención humana. Los dos primeros son considerados de control primario, y los demás son modificadores del ambiente.

³ . El Cerrado (portugués: "espeso", "denso") es una amplia ecoregión de sabana tropical de Brasil. Dependiendo de su concentración de vegetación y de las condiciones de vida del lugar, puede presentar variaciones diferenciadas denominadas de Cerradão, Campo Limpo y Cerrado, intercalado por formaciones de selva, várzeas, campos rupestres y otros.

En el cerrado el patrón de distribución anual de las lluvias presenta dos estaciones distinguidas: seca y lluviosa. Los índices pluviométricos de esas estaciones condicionan el tipo y el volumen de la cobertura, así como el tipo de fauna predominante y el nivel de uso y de ocupación humana (Goedert et al., 2008).

El Cerrado es la segunda mayor formación vegetal brasileña tras la Amazónica y también la sabana tropical más rica del mundo en biodiversidad. Concentra nada menos que un tercio de la biodiversidad nacional y 5 % de la flora y de la fauna mundial (Faleiro et al., 2008). Posee un alto nivel de endemismo. La riqueza de especies de aves, peces, reptiles, anfibios e insectos es igualmente grande, aunque la riqueza de mamíferos sea relativamente pequeña. La figura 1 muestra la localización y cobertura de los Cerrados en relación a las demás regiones naturales brasileñas, distribuidas en sus estados federativos.

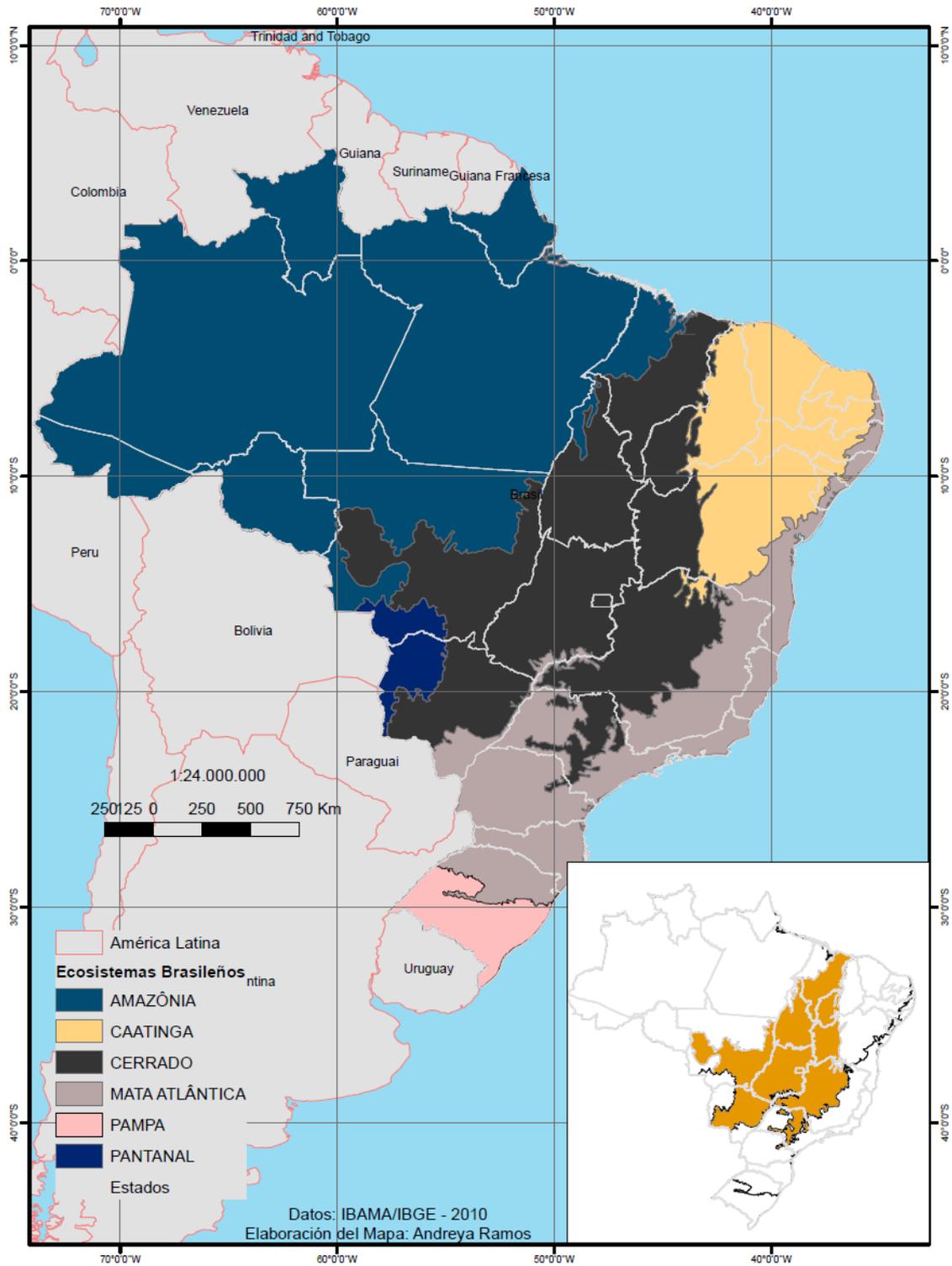


Figura 1 – Mapa representando las eco regiones brasileñas

Las tasas de deforestación en el Cerrado han sido históricamente superiores a la de la floresta Amazónica y el esfuerzo de conservación de la región es muy inferior al de la Amazónica: sólo 2,2% del área del Cerrado se encuentran legalmente protegida (KLINK, C. A. & HACHA, R. B. 2005). La creciente fragmentación y deterioro de los Cerrados están directamente relacionados con la dinámica de uso del suelo, factores económicos, sociales, culturales, institucionales y tecnológicos llevan a sus especies hacia un riesgo directo de extinción (Fiszon et al. 2003).

El Cerrado integra el nuevo listado de los llamados hotspots - regiones con gran biodiversidad y bajo enorme presión. El concepto “Hotspot” fue creado en 1988 por el ecólogo inglés Norman Myers con el objetivo de definir cuáles las áreas de la Tierra concentraban los más altos índices de biodiversidad y cuáles de ellos presentaban prioridad para acciones conservacionistas. Áreas que perdieron más de $\frac{3}{4}$ de su cobertura vegetal original, y que presente un mínimo de 1500 especies endémicas son consideradas Hotspots. En la lista de especies de la flora brasileña amenazadas de extinción lanzada por el MMA en 2008, las sabanas brasileñas vienen en segundo lugar con 131 especies; entre ellas está *Lychnophora ericoides*, la especie abordada en este estudio.

2.7 *Lychnophora Ericoides*

2.7.1 Aspectos Fenológicos y Reproductivos

Lychnophora ericoides es conocida popularmente como “arnica de Goiás”, “arnica del campo”, “candeia”, “candieiro”, “pau de Candeia” y “Veludinho”. Es una especie arbustiva; puede llegar a 3,0 metros de altura, posee frutos del tipo aquenio, hojas lineares y estrechas (1-3mm). Su inflorescencia es formada por

glomérulos conteniendo capítulos de 3 a 5 flores violáceas (Semir 1991) (figura 2).



Figura 2: Flores de *L. ericoides*

El género es eminentemente endémico en el Brasil, más específicamente en los Cerrados. Según Semir (1991) la especie presenta una distribución restricta ocurriendo en los denominados campos rupestres⁴ de la Serra do Espinhaço en Minas Gerais, en la Chapada da Diamantina en la Bahia y en la Serra dos Pirineus con ramificaciones para la Serra General do Paranã y Serra Dorada además de la Serra dos Cristais en Goiás. En su revisión taxonómica de *Lychnophora*, registró poblaciones en los complejos vegetacionales rupestres de la Bahia y en Minas Gerais. Poblaciones de *Lychnophora ericoides* fueron catalogadas en el estado de São Paulo, en Pedregulho, municipio del extremo nordeste del Estado, donde ocurren fragmentos de cerrado considerados

⁴ Los campos rupestres, también conocidos como campos de altitud, son formaciones que ocurren exclusivamente en lo alto de algunas sierras brasileñas, situadas en una altitud media por encima de 900 m.

florísticamente distintos de los demás remanecientes paulistas (Sasaki, D. & Mello-Silva R. 2006). Vieira (2006) catalogó poblaciones de *Lychnophora ericoides* en diversas áreas del Distrito Federal.

La especie crece en ambientes xerófilos, como campos pedregosos (ver figura 3 y 4) y arenosos gramíneos, o entre piedras en los pequeños serruchos (Semir 1991). Coyle & Jones (1981) relataron la ocurrencia de la especie en depósitos de minerales de hierro-manganeso, afloramientos rocosas de arenisca y cuarzo, precipicios, rampas rocosos y Cerrado de “campo rupestre”, con altitudes que varían entre 800 y 2000 metros. *Lychnophora ericoides* presenta adaptaciones a ambientes con clima estacional e incendios periódicos (Melo, L. Q.2006).



Figura 3: Aspectos del Ambiente donde crece *L. ericoides* – Foto: Márcio Cabral

Por su distribución la especie en estudio tiene un carácter menos endémico en relación a la gran mayoría del género (Semir 1991). Las poblaciones de *Lychnophora ericoides* presentan distribución en manchas, con pequeñas poblaciones y están relativamente aisladas unas de las otras (Ellstrand & Elam, 1993); generando un factor de riesgo para la perpetuación de la especie, dado que, los efectos de mutación genética y flujo génico son más impactantes para especies amenazadas de extinción.



Figura 4: Aspectos del medio donde vive *L. ericoides*. Foto: Márcio Cabral

Shapcott (1995) relata que la distribución espacial de la variabilidad genética dentro de poblaciones naturales vegetales es influida por procesos evolutivos y ecológicos de las especies, estos procesos resultan en agregados de genotipos específicos. La tasa de homocigotas tiende a crecer en poblaciones de tamaño reducido a través de la autofecundación, así como los cruzamientos de individuos emparentados que quedaron próximos en el transcurso de la dispersión del polen y semillas a corta distancia.

2.7.2 Aspectos Socio-Económicos de *Lychnophora ericoides*

Utilizada ampliamente como planta medicinal con efectos anti-inflamatorio y anestésico, la especie viene sufriendo una fuerte presión extractiva, la ausencia de conocimiento por parte de los “raiceros/colectores” sobre lo manejo adecuado para la recolección de la especie, así como otros factores bióticos y abióticos, tales como; daños causados por insectos, fuego y

presencia de herbívoros, contribuyeron para que la especie fuera incluida en la lista de las especies de flora amenazadas de extinción lanzada por el MMA/2008.

De modo que la elaboración de un plan de manejo para la recolección, la concientización de los recolectores en cuanto a las limitaciones de poda de la especie, así como la elaboración de una política de protección y reintroducción de la especie en áreas reconocidamente propicias al desarrollo de la especie, son factores decisivos para que la misma no se extinga definitivamente.



Figura 5: Ocurrencia de *L. ericoides* en la Serra da Canastra

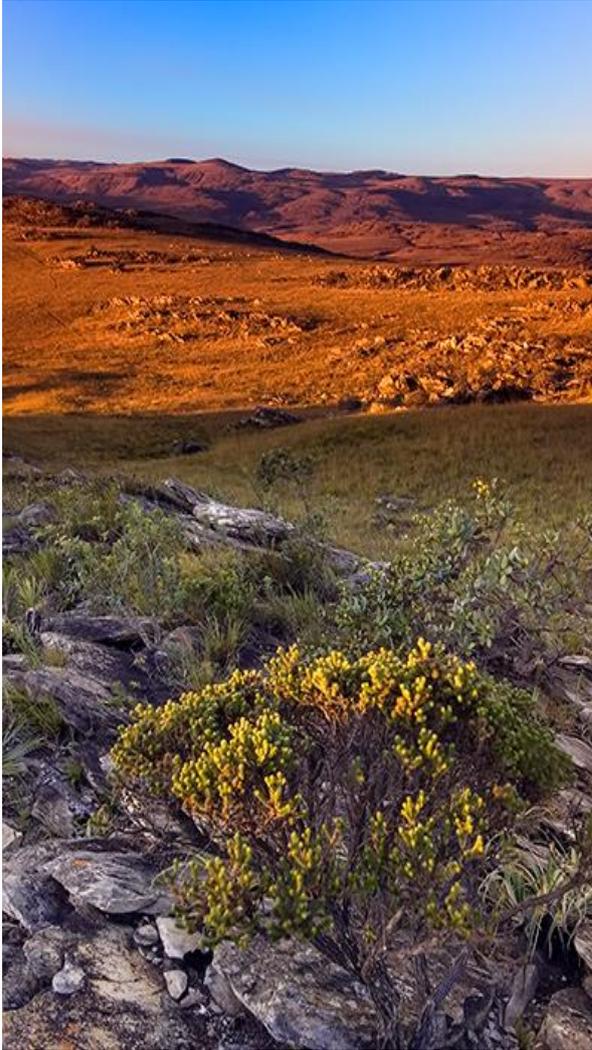


Figura 6: *L. ericoides* en su Hábitat Natural. Serra do Cipó – MG. Foto: Márcio Cabral

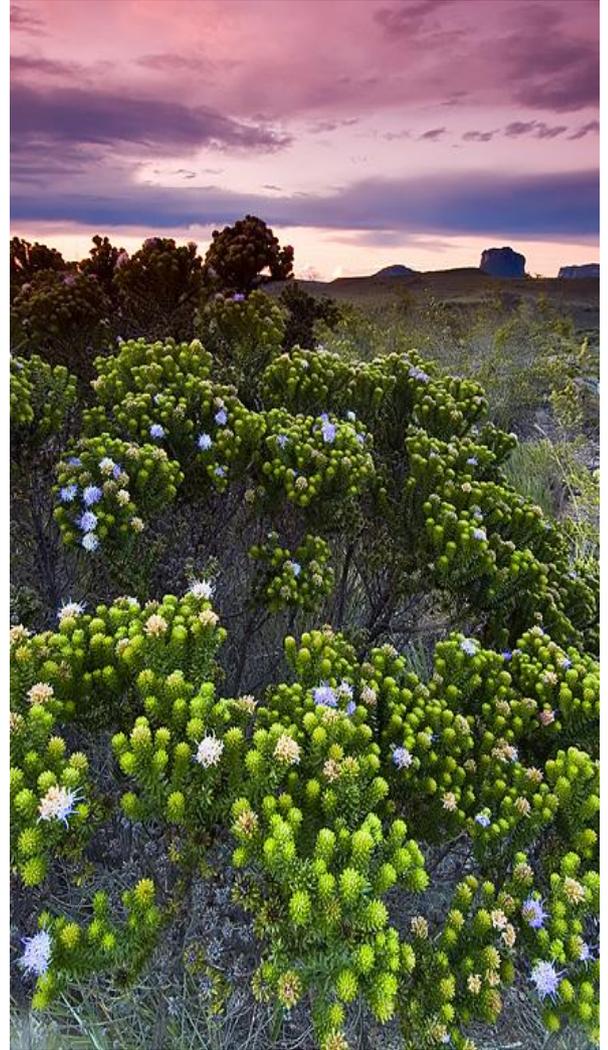


Figura 7: Ocurrencia de *L. ericoides* Serra dos Pineus – Goiás. Foto: Márcio Cabral

Souza (2003), definió un protocolo de propagación in vitro para esa especie, sugiriendo, que fueran investigadas las formas de cultivo. El cultivo a nivel comercial proporcionaría diversificación de la renta a los pequeños productores, además de la producción de una planta medicinal de calidad.

El contenido y rendimiento de aceite esencial en el peso fresco del árnica, en función de calaje (aplicación del calcáreo para elevar la saturación por bases) y fertilización fue probado por Oliveira Júnior, A.C. et al (2005) obteniendo individuos de calidad. Entre las prácticas agronómicas de manejo de la fertilidad del suelo, el calaje y la fertilización se destacan como las más tradicionales. Actualmente, además de la fertilización mineral, se preconiza el uso de la adubación orgánica, no sólo como parte esencial de los llamados cultivos orgánicos, sino también por los incontables beneficios decurrentes de la aplicación de residuos orgánicos al suelo. El efecto de la aplicación de abonos orgánicos sobre la producción de plantas medicinales es ampliamente discutido en la literatura (PRAKASA RAO et al., 1989; CORRÊA JÚNIOR, 1994 y LLAVES et al., 2002). Prácticamente, todos los autores han sido unánimes en cuanto a los beneficios de su empleo. Con relación a la fertilización mineral, esa situación no es diferente, principalmente para los macro nutrientes N, P y K (YADAV et al., 1984; SINGH et al., 1992; RODRIGUES et al., 2004). Pero, para las especies medicinales nativas de los Cerrados han sido encontradas pocas informaciones en la literatura. El estudio del comportamiento de la árnica (*L. pinaster*) en condiciones de cultivo generaría subsidios para un manejo racional de los recursos naturales, a fin de minimizar el problema del extractivismo.

2.8 OBJETIVO

2.8.1 Objetivo General

Este trabajo tiene el objetivo de identificar áreas potenciales para maximizar el éxito de la reintroducción de la especie en la naturaleza brasileña a través de la técnica de Modelamiento de distribución geográfica utilizando los softwares

MAXENT y GARP, para una base comparativa de modo que sean identificadas áreas adecuadas minimizando las probabilidades de error.

2.8.1 Objetivo Específico

Generar mapas de distribución de *L. ericoides* en el Cerrado Brasileño, por medio de bibliografía y bases de datos disponibles y después validar dichos mapas de distribución utilizándose las observaciones disponibles de campo.

CAPÍTULO 3

Materiales y Métodos



Foto: Márcio Cabral/Brasília/Brasil – Chapada dos Veadeiros – Goiás - Brasil

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Introducción

En este nuevo milenio, Brasil se enfrenta a grandes desafíos para gestionar sus sistemas ecológicos, económicos y sociales. Una amplia gama de cuestiones requerirán mejoras significativas en la capacidad nacional para modelar y simular escenarios de la política pública con dimensiones espaciales y temporales explícitas.

Brasil es un país que dispone de un enorme capital natural, recursos humanos calificados, colecciones científicas y colecciones biológicas únicas. También posee conocimientos en materia de tecnologías como la biotecnología y tecnología de la información y la comunicación.

La integración entre los aspectos naturales y sociales del desarrollo humano ha gozado de especial atención en la última década por la comunidad científica. La misma ha producido el desarrollo de modelos y programas que pretende integrar a tales aspectos. La prosperidad económica y el futuro del país estarán directamente relacionados con el uso sostenible de su capital natural. Así que la información sobre la biodiversidad y los ecosistemas serán vitales para una amplia gama de aplicaciones científicas, tecnológicas, educativas y gubernamentales. Las informaciones sobre biodiversidad no son fácilmente utilizables. Las bibliotecas tradicionales, las bases de datos distribuidos, sin embargo no integradas, las muestras de colecciones biológicas (botánicas, zoológicas, y microbiológicas), resultan un considerable acervo sobre la biodiversidad; sin embargo, estas informaciones no están coordinadas y, son en gran parte, inaccesibles. Actualmente, un esfuerzo integrado local, regional

e internacional involucrando incontables individuos e instituciones, de diferentes áreas de conocimiento, viene siendo desarrollado con el objetivo de construir una red de información accesible y confiable. La base legal para el desarrollo de sistemas de información para biodiversidad es la Convención de la Diversidad Biológica (CDB) que en resumen trata de la conservación in-situ (en el local de origen) y ex-situ (fuera del local de origen), de la utilización sustentable de la biodiversidad y distribución de los beneficios resultantes de la utilización comercial de los recursos genéticos.

La Convención reconoce la necesidad de definir una estrategia que establezca mecanismos para compartir e intercambiar información y conocimiento técnico-científico. Ese mecanismo, establecido en el escoplo de la CDB, fue denominado The Clearing House Mechanism (CHM). El modelo adoptado fue a de un sistema descentralizado, formado por puntos focales nacionales y coordinado por el secretariado de la CDB.

El Brasil a través de un proyecto financiado por el tesoro nacional y el Banco Mundial y en cooperación con el Ministerio del Medio Ambiente, a través del Proyecto de Conservación de la Biodiversidad Brasileña (Probio) y de la Fundación André Tosello a través de la Base de Datos Tropical (BDT) está implementando la Red Brasileña de Información en Biodiversidad, la BINbr (Biodiversity Information Network - Brasil). La BDT estableció el Centro de Referencia en Información Ambiental (CRIA). Todo el sistema BINbr fue desarrollado utilizando software de dominio público o shareware.

La utilización de herramientas de Modelamiento de distribución de especies, para la planificación de la conservación de la biodiversidad suministra una serie

de ventajas con relación a los métodos tradicionales, tales como: permite una mejor comprensión de la distribución de especies raras y amenazadas de extinción, para las cuales existen pocos espécimen u observaciones disponibles, posibilita establecer criterios para programas de reintroducción para especies amenazadas de extinción; auxilia en el desarrollo de planes de conservación de la biodiversidad de entre otras aplicaciones.

3.1 Datos usados en Modelamiento

Para generar un modelo de distribución potencial de especies que muestre las necesidades ambientales de una determinada especie utilizando un conjunto de localidades y un grupo de variables ambientales que describan algunos de los factores que podrían influenciar la adecuación ambiental para la especie es necesario insertar como entrada de datos un conjunto de localidades. Estas localidades son formadas por un par de coordenadas simples (Latitud – Longitud), que demarcan el punto exacto donde la especie fue observada, este tipo de dato generalmente es obtenido a través de colecciones de Museos o Herbarios (Ponder et al., 2001; Stockwell and Peterson, 2002a). Las variables ambientales en el formato SIG pertenecen a la misma área geográfica, el área estudiada que es dividida en grid de pixels. El objetivo del método de modelaje es prever la adecuación de las especies como una función de las variables ambientales que son dadas por el software. Es importante resaltar que el nicho fundamental de la especie es conceptualizado como el conjunto de todas las condiciones que permiten la supervivencia de la especie, mientras el nicho

realizado es un subconjunto del nicho fundamental en el cual la especie realmente ocurre (Hutchinson, 1957).

Actualmente existe una gran variedad de técnicas de modelaje para explorar la relación entre la respuesta (ocurrencia de especies) y las variables ambientales predictivas. Los Modelos de Distribución de Especies - MDE'S son clasificados en dos grupos basados en los tipos de datos que alimentan los modelos: A) Los modelos que utilizan registros de presencia (ficheros climáticos y datos topográficos, por ejemplo); y B) Modelos que utilizan datos de presencia y ausencia de la especie blanco, de modo a limitar las áreas de ocurrencia, disminuyendo errores de falsos positivos Elith et al. (2006). Los puntos georreferenciados de *Lychnophora ericoides*, utilizados en este trabajo fueron encontrados a través de consultas la base de datos del Species Link, que es un sistema de información virtual que integra, en tiempo real, datos primarios de colecciones científicas brasileñas (CREA 2008) y de revisión de bibliografía especializada. Fueron utilizados 13 puntos georreferenciados que no serán presentados en este trabajo para asegurar que estas poblaciones puedan permanecer seguras contra la recolecta predatoria

3.1.1 – Datos Bióticos

Existen dos tipos de datos bióticos asociados a los Modelos de Distribución de Especies (MDEs), los registros de presencia y los registros de ausencia de una determinada especie. Tales datos tienen la finalidad de alimentar, calibrar y evaluar los MDEs. A través de recolectas de espécimen o de observación de campo se generan los registros de presencia; los registros de ausencia son

extremadamente raros, y según Rushton et al. 2004, uno de los principales problemas enfrentados por la modelaje de distribución de especies. Debido a que los datos de ausencia no siempre reflejan una ausencia real o inadecuada del ambiente para la ocurrencia de la especie, es primordial utilizarlos con cautela (Peterson et al. 2008).

La utilización de los datos bióticos exige cautela, pues existen varios problemas asociados a los mismos; estos necesitan ser analizados durante el proceso de modelaje y también durante el proceso de análisis de los resultados. Frecuentemente ocurren errores en la identificación de la especie y/o imprecisiones asociadas al georreferenciamiento de los datos, generados por recolectas tendenciosas (Austin, et al, 2006), como ejemplo tenemos aquellos puntos recolectados al largo de carreteras y ríos, por facilidad de acceso; en otras muestras hay falta de correspondencia temporal, en ocasiones representando discrepancias de décadas entre los registros de especímenes. Otro aspecto relevante en el proceso de modelaje son los datos más antiguos obtenidos a través de colecciones de museos y herbarios, pues gran parte de los investigadores utilizaba como referencia las coordenadas de la localidad o incluso la coordenada céntrica del municipio en que ocurría el individuo. Según Stockwell & Peterson, 2002, tales problemas, vía de regla, están asociados a fallos en las estrategias de recolecta.

Sin embargo a partir de la década de los noventa Brasil popularizó el uso del Global Position System – GPS que pasó a ser empleado con mayor frecuencia, durante las recolectas de espécimen, mejorando gradualmente la calidad de los datos. Otra herramienta que viene siendo utilizada con éxito son los bancos de datos de localidades georreferenciadas, a través de estos, fue posible

aumentar el número de colecciones aptas para el Modelamiento; tales bancos de datos son denominados “gazeteers”.

Algunas herramientas para mejorar los datos son propuestas por la red Specieslink, en el sitio: <http://splink.crea.org.br> . A través de estas herramientas es posible seleccionar el mejor conjunto de datos para crear el MDE.

La tabla 1 enlista algunas direcciones en los cuales es posible encontrar datos de presencia de especies.

CONABIO – (http://www.conabio.gob.mx). Disponibiliza datos de FAUNA e FLORA.
GBIF (Global Biodiversity Information Facility) Portal Home: (http://www.gbif.org). Este modelo proporciona un acceso de búsqueda en la interfaz desktop do <i>openModeller</i> .
MOBOT – Missouri Botanical Garden, (http://mobot.mobot.org/W3T/Search/vast.html). Proporciona datos solo de FLORA.
NYBG – New York Botânical Garden, (http://sciweb.nybg.org/science2/vii2.asp) – Proporciona datos solo de FLORA.
SpeciesLink – (http://splink.cria.org.br/tools?criaLANG=pt). Proporciona datos de FLORA. FAUNA, FLORA, y microorganismos. Esta plataforma exhibe una forma automatizada de búsqueda en la interfaz desktop del <i>openModeller</i> .

Tabla 1.: Sitios que disponibilizam dados Bióticos

La utilización de datos con problemas no es el ideal, sin embargo tratándose de países sub-desarrollados, en regiones tropicales, con bajo estímulo la investigación. En el caso del Brasil poseedor de una megadiversidad distribuida en 8.511.965 km² de extensión, tales problemas son situaciones frecuentes, correspondiendo en la mayoría de las veces en gran medida de los

datos disponibles para modelaje. De modo que la utilización de estas herramientas de “limpieza” de datos se hace imprescindible para la idoneidad de los datos.

3.1.2. Datos Abióticos

Los datos abióticos tradicionalmente usados en modelaje son las capas climáticas, topográficas y más recientemente uso y ocupación de suelo (Guisan et al. 1999, Hirzel et al. 2002, Zaniwski et al. 2002), índices de vegetación del tipo NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Verhoef et al. 1996) y EVI (vegetation index isolines), así como datos de humedad de suelo.

El conjunto de variables ambientales posee características ecológicas implícitas para el proceso de modelaje, por lo que seleccionar las variables utilizadas durante el proceso de modelaje exige cuidados específicos. Un factor relevante en el momento de la elección se refiere a la correspondencia temporal entre datos bióticos (localización/coordinada) y la variable ambiental, por ejemplo, datos con clasificación de cobertura de suelo actual no deben ser utilizados con datos de museos muy antiguos. Variables climáticas como temperatura y precipitación deben ser usadas para modelaje en escalas globales y meso-escalas; variables topográficas, por ejemplo, elevación y aspecto, afectan la distribución de especies en meso y tope-escala; las variables de cobertura de dosel influyen la distribución de la especie en micro-escala. La elección de la variable también afecta el grado en que el modelo generaliza la adecuabilidad de las regiones, mostrando la ocurrencia de la especie fuera del área de estudio o en regiones con condiciones

ambientales diferentes de las condiciones necesarias para el desarrollo de la especie, Phillips, et al. (2005).

De la misma forma que los datos bióticos pueden contener errores, también las variables ambientales pueden no ser suficientes para describir los parámetros de ocurrencia de la especie, no identificando el nicho fundamental relevante para la distribución de la especie durante la modelaje. Estos errores pueden ocurrir durante la manipulación de los datos, debido a imprecisiones en la previsión del clima, generados por los modelos utilizados para generar las variables climáticas o durante la interpolación de datos de más pequeña resolución. De modo que, gestionar las variables y atenuar los efectos de esos factores en el proceso de modelaje también es decisivo para el resultado final.

Para la construcción de los MDE's de este trabajo fueron utilizadas diez variables ambientales (consultar tabla 2) provenientes de la base de datos World Clim (World Clim 2008), representando características climáticas y topográficas. Dado que el trabajo pretende presentar la distribución de la especie en todo el ecosistema Cerrado, que representa una meso-escala. Se efectuó la estandarización de las capas en el sistema geodésico de coordenadas (latitud/longitud), con el datum WGS84 resolución espacial de 2,5 minutos. La presentación final de los mapas de distribución fue hecha en el software ArcGis 9.2.

BIO-1	Temperatura média anual
BIO-2	Media mensual de la amplitud diaria de la temperatura
BIO-5	Temperatura máxima Del mês más caliente

BIO-6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO-12	Precipitación Anual
BIO-13	Precipitación del mes más Húmedo
BIO-14	Precipitación del mes más seco
H-ASPECT	Dirección para donde la faz del terreno está vuelta
H-DEM	Elevación
H-SLOPE	Grado de inclinación del terreno

Tabla 2. Variables ambientales para estimar la distribución potencial de las especies.

El Modelamiento de la distribución potencial de *Lychnophora ericoides* fue realizado utilizándose los algoritmos DesktopGarp with best subsets (new openModeller implementation), implementado en la plataforma OpenModeller y modificado para 100 generaciones en cada procesamiento y MaXent en la versión 3.3.1. Para iniciar el trabajo es necesario ajustar los dos programas, los parámetros utilizados para la construcción del MDE en cada programa son descritos genéricamente abajo.

3.1.4 – Ajustes para rodar el modelo GARP with Best subsets

Antes de rodar el modelo GARP es necesario ajustar una serie de parámetros. Este procedimiento es importante porque tales parámetros rigen las reglas del algoritmo Genético. Abajo sigue una explicación breve acerca de cada uno de estos parámetros de acuerdo con la bibliografía investigada (Stockwell 2006) y tabla con los parámetros adoptados en este trabajo.

1. Commission sample size – Tamaño de la muestra de comisión: Se trata del número de muestras utilizadas para calcular los errores de comisión;

2. Commission threshold – Límite de comisión: Criterio utilizado para la selección de los mejores modelos, los mejores están próximos a la mediana;
3. Convergence limit – Límite de convergencia: establece la condición para cesar las interacciones dentro del algoritmo genético. Sus valores se encuentran entre 0,01 y 0,1 y caso sea serado, el algoritmo sólo va a parar cuando el número de interacciones establecidas alcancen su máximo;
4. Hard omission threshold – Límite de omisión: ES el número de modelos abajo del límite de omisión que serán considerados en el resultado;
5. max generations – Número máximo de generaciones: representa el número máximo de interacciones y establece otra condición para el umbral de corte del algoritmo. Este parámetro hace el algoritmo parar aún si el límite de convergencia aún no sea alcanzado. Un número mayor de interacciones produce resultados más estables;
6. maximum number of threads – Número máximo de procesos: representa el número máximo de procesos ejecutados simultáneamente
7. training proportion – Proporción de entrenamiento: representa la cantidad del total de muestras que será utilizada para entrenamiento y para prueba;
8. population size – Tamaño de la población: Representa el número máximo de reglas mantenidas en la solución.
9. Resamples – Re muestreo: Número de puntos muestreados (con reubicación) usados para pruebas el conjunto de reglas.

10. total runs – Número de modelos generados: Estos resultados son utilizados para componer el conjunto Best Subsets; la tabla 3 muestra las configuraciones utilizadas para rodar el modelo del presente

Nombre	Value	Default	Min	Max	Type
Medida de Muestra de comisión	999	10000	1	999	Integer
Número de las muestras utilizadas para calcular error de comisión.					
Umbral de comisión	50	50	0	100	Real
Porcentaje de distribución de modelos para ser tomados con respecto a error de comisión.					
<i>Convergence limit</i>	0.01	0.01	0	1	Real
Defines the convergence value that makes the algorithm stop (before reaching Define el valor de convergencia que hace la parón de algoritmo (antes de lograr MaxGenerations).					
Umbral de Omisión dura	100	100	0	100	Real
Omisión aceptable máxima error. Pone a 100% para utilizar omisión blanda única.					
Generaciones Max	400	400	1	999	Integer
Número máximo de iteraciones (generaciones) corrido por el Algoritmo Genético					
Número máximo de Hilos	1	1	1	1024	Integer
Número máximo de hilos de ejecuciones para correr simultáneamente					
Modelos Bajo Umbral de Omisión	20	20	0	10000	Integer
Número mínimo de modelos abajo umbral de omisión.					
Medida de población	50	50	1	500	Integer
Número máximo de reglas para ser mantenidas en solución					
Remuestreo	2500	250	1	100000	Integer
Número de puntos muestreados (con recolocaciones) utilizado para probar reglas.					
Carreras totales	100	20	0	10000	Integer
Número máximo de GARP carreras para ser actuadas.					
Proporción de formación	50	50	0	100	Real

Tabla 3 - Parámetros específicos del GARP best subset

3.1.5. Ajustes para rodar el algoritmo MaXent

Para la configuración del MaXent se introdujo 1000 como número máximo de interacciones, estableciendo el límite de convergencia en 0.00001 y el valor de regulación en 0.0001. Según Phillips et al., (2006) estos valores son adecuados y garantizan la convergencia del algoritmo. Salm et al, (2007) y Svenning, (2001) observaron que dependiendo de la escala de observación las variables ambientales que influyen en la estructura y dinámica de una determinada comunidad difieren entre sí, de forma que, definir previamente la escala del trabajo es determinante para la idoneidad de los resultados. Los Cerrados representan una meso-escala. La tabla 4 presenta los parámetros utilizados para rodar el modelo con el software MaXent.

Parámetros específicos do Maxent	
Porcentaje de prueba aleatoria	0%
Máximo interacciones	500
Número Max de puntos de fondo	10000
Regularización múltiples de puntos de fondo	1
Umbral de convergencia	0,00001

Tabla 4. Parámetros para Configuración del Maxent

3.1.6 Validación del Modelo

Para evaluar la calidad del modelo fue generado un conjunto independiente de datos. En la literatura son citadas dos maneras: la primera consiste en la

recolecta de nuevos datos, a través de trabajo de campo o levantamiento de datos disponibles en la literatura, la segunda, consiste en la división del conjunto de datos en dos partes antes de la modelaje. En ambas estrategias, obtén-se dos conjuntos de datos diferentes, uno generará el modelo (conjunto de entrenamiento) y otro que irá a probar (conjunto de prueba). Según Fielding and Bell, 1997 e Hirzel and Guisan 2002, dividir el conjunto de datos a través de la aplicación de números aleatorios en la tabla de ocurrencias es la forma más común, 50% de los datos para generar el modelo y 50% para probar. En Peterson et al. 2008, otra forma de proceder sería dividir los datos espacialmente y utilizar una parte como entrenamiento y otra como prueba. Con el objetivo de evaluar la robustez de los datos, se separó los puntos totales de ocurrencia de cada especie en dos conjuntos (entrenamiento y prueba), siendo reservado 50% de los puntos para prueba y 50% para entrenamiento (Phillips et al. 2006), que fueron construidos a partir de cinco practicas aleatorias y con reposición. La prueba en el algoritmo Garp fue hecho con 50% de los puntos, seleccionados automáticamente de forma aleatoria. Actualmente las técnicas de Jack-knife o “bootstrapping” han sido bastante utilizadas para evaluar la precisión de los modelos de distribución usando curvas ROC. El empleo de la validación cruzada, es más adecuado cuando el conjunto de datos es pequeño para ser separado en dato de calibración y dato de evaluación (Fielding y Bell, 1997). Esta técnica que consiste en un re-muestreo permite investigar la tendencia de una estimativa a través de la realización de la partición de los datos aleatoriamente, con reposición, en varios conjuntos de entrenamiento y prueba (múltiples re-muestreo con reposición) dentro del conjunto de datos de calibración, que entonces lo

remueve para obtener una estimativa no tendenciosa (Guisan y Zimmermann, 2000).

La evaluación de los modelos generados fue hecha a través del análisis de la Curva Característica de Operación (ROC) que, por medio de un gráfico, indica el área Bajo la Curva (AUC). El análisis ROC es basada en la medida de la sensibilidad, que es la tasa de ausencia de error de omisión versus la especificidad, que es la tasa error de *previsión* sobreprevisión. De acuerdo con Hanley & McNeil (1982), este resultado es un indicador de éxito de los modelos generados. Se utilizó los mismos parámetros que Phillips et al. (2006), para evaluar el error de omisión de un punto existente: un margen de corte del 5% de tasa de omisión, y para el error de sobre-ajuste, se utilizó el valor de la mediana de los valores de sobre posición, estableciendo un límite de corte. Tal método de evaluación de los modelos fue aplicado en varios otros estudios que prueban el desempeño de los modelos de distribución de especie, como los desarrollados por Sérgio et al. (2007), Pearce & Ferrier (2000) y Saatchi et al. (2008).

Para evaluar el error de omisión de un punto existente: un margen de corte del 5% de tasa de omisión, y para el error de sobre previsión, se utilizó el valor de la mediana de los valores de sobre posición, estableciendo un límite de corte. De manera general, los errores de omisión pueden ser considerados errores verdaderos o errores graves. De acuerdo con lo que fue dicho anteriormente, un registro de presencia puede no ser muy confiable, eso puede ocurrir debido a los errores de localización de la especie, o sea el georeferenciamiento del punto puede estar errado; o el punto correlacionado al individuo puede corresponder a un individuo que está fuera de su hábitat, debido a

introducciones.

En estas circunstancias estos puntos representarían un “outlyer” para el algoritmo, generando como resultado final un conjunto de puntos discrepante del los padrones de ocurrencia generados por los demás puntos del conjunto de entrenamiento, de modo que este error de omisión no sería propiamente un error, y sí una forma del algoritmo dar menos “importancia” para puntos “malos”, (Siqueira, M. F. et al, 2007).

De acuerdo con Elith et al. 2006, Phillips et al. 2006 para que el algoritmo pueda trabajar de manera equilibrada esta cuestión, es aconsejable utilizar una tasa de omisión de como mínimo 5%.

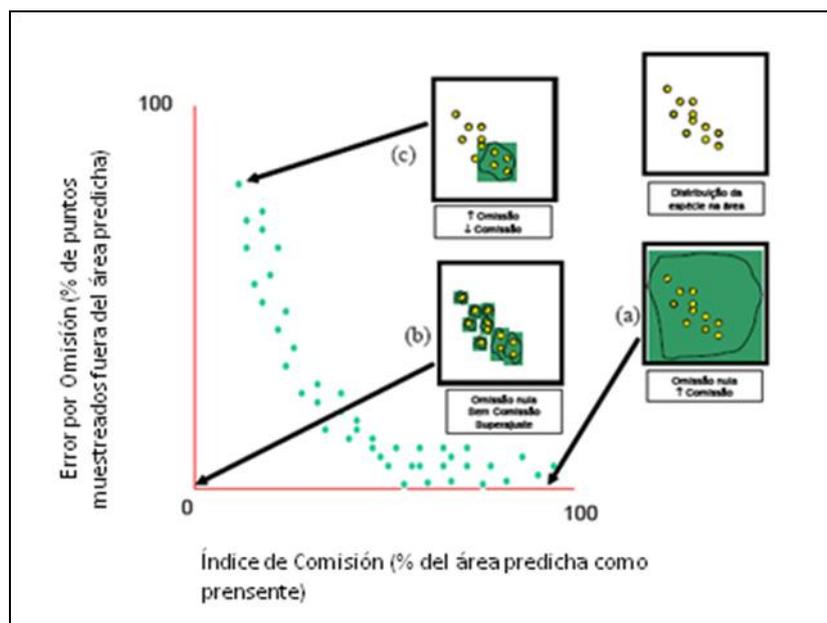


Figura 8. Problemas de alta omisión, super-ajuste e super estimativa de los modelos. Fonte: Kansas applied remote sensing program (2005)

La tasa de error de sobreprevisión ocurre cuando es generado un modelo que presenta puntos de ocurrencia de una determinada especie en una área en la cual no se ha registro de la misma, tal error puede ser causado en diferentes

situaciones; tales como: 1) lagunas de conocimiento, o sea, cuando no hay registros suficientes en la región para afirmar si la especie ocurre o no; 2) cuando el área es propicia la especie, sin embargo factores históricos o ecológicos, (barreras geográficas, capacidad de dispersión) o bióticos (competición, predación) impidieron la especie de llegar o de establecerse en la región, y 3) el área es inhabitable mismo, lo que sería el verdadero error de sobreprevisión. Abajo tenemos la FIGURA 9 que representa los errores de omisión y Comisión (Sobreprevisión).

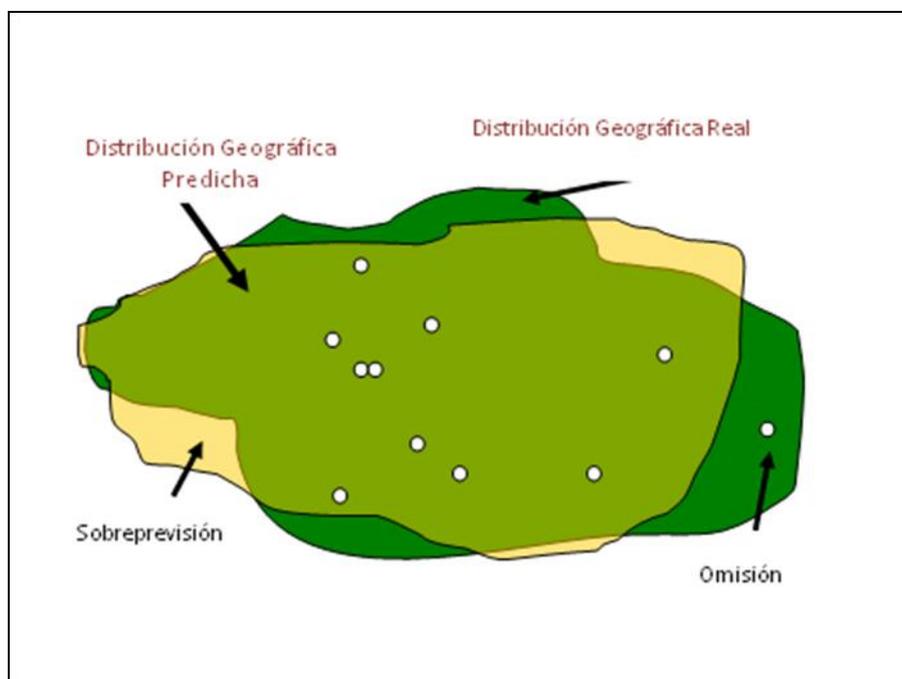


Figura 9: Presentación de los errores de omisión y sobreprevisión (comisión). Fuente Iwashita, 2007

Tal método de evaluación de los modelos fue aplicado en varios otros estudios que prueban el desempeño de los modelos de distribución de especie, como los desarrollados por Sérgio et al. (2007), Pearce & Ferrier (2000) y Saatchi et al. (2008).

CAPÍTULO 4

Análisis y Discusión de los Resultados



Foto: Márcio Cabral – Serra do Cipó – Minas Gerais/Brasil – *Lichonophora Ericoides*

4. Análisis y Discusión de Resultados

4.1 Omisión/Comisión

Tradicionalmente se utiliza la prueba de hipótesis para la evaluación de los modelos lineales, esta prueba verifica si los coeficientes de regresión de las variables predictivas son significativamente diferentes de cero (Rushton et al., 2004; Guisan et al., 2002). La matriz de confusión de aciertos y errores es la evaluación más utilizada para la mayoría de los modelos de distribución de especies.

Analizar la matriz de confusión es esencial para evitar una sobre estimación un súper ajuste o una omisión alta del modelo. Los valores A y D encontrados en la tabla abajo son predicciones correctas. B y C son considerados errores de predicción. B es el error omisión que genera un falso positivo; C es el error por omisión que genera un falso negativo (Tabla 5). Errores del tipo C (omisión) son considerados errores graves. Indican un local donde se sabe que la especie es encontrada, sin embargo, los resultados predicen el área como ausente. Para eliminar esos modelos se aplica un umbral. Después de la aplicación del umbral aún restarán los modelos que presentan súper ajuste y súper predicción, que tampoco son considerados buenos modelos. En la literatura los modelos en la región de la mediana entre estas clases son considerados los mejores modelos.

		Muestra de Evaluación	
		Presencia	Aleatorio
MODELO	Presencia	a (verdadero positivo)	b (aleatorio negativo)
	Ausencia	c (falso negativo)	d (aleatorio positivo)

Tabla 5 – Omisión y Comisión

El Gráfico 1, Presenta la tasa de omisión para el modelo Maxent y área predicha como función del umbral acumulativo. La tasa de omisión es calculada sobre los registros de presencia y (si los datos de prueba son utilizados) sobre el registro de prueba. La tasa de omisión debe ser próxima a la omisión prevista, a causa del umbral acumulativo, de modo que el resultado obtenido para *L. ericoides* a través del software MaXent puede ser considerado adecuado.

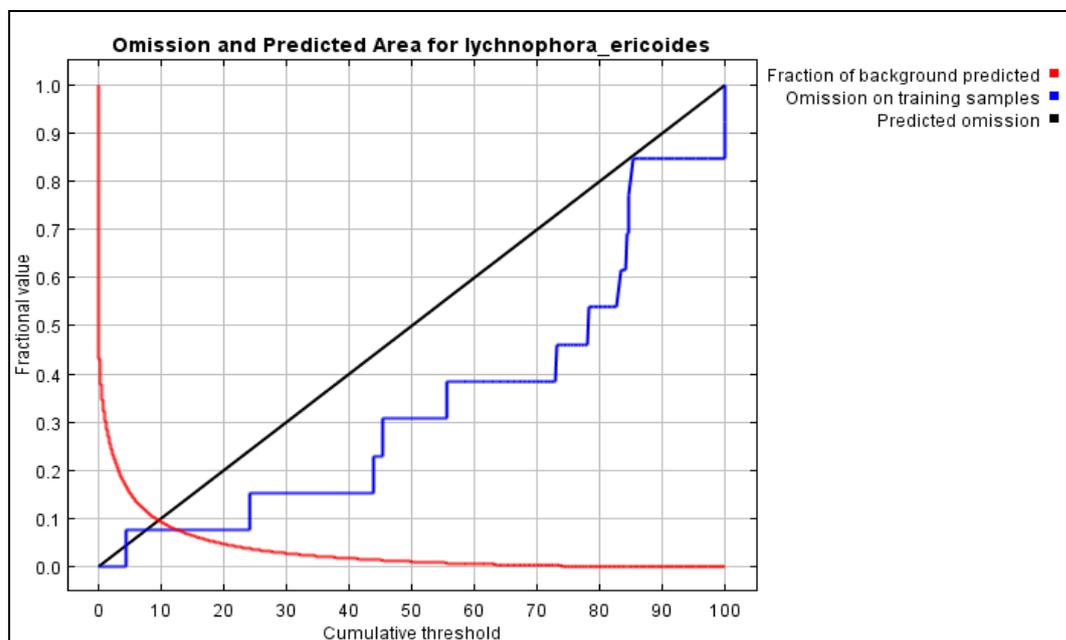


Gráfico 1: Omisión

La Tabla 6 presenta las Medidas derivadas de la matriz de confusión de resultados de los MDE's. En la tabla 7 es posible ver algunos umbrales comunes y las tasas de omisión correspondientes para Maxent.

Medida	Cálculo
Prevalencia	$(a + c)/N$
Poder de diagnóstico	$(b + d)/N$
Taxa de classificação correta	$(a + d)/N$
Sensibilidad	$a/(a + c)$
Especificidad	$d/(b + d)$
Tasa de Falso positivo (Comisión)	$b/(b + d)$
Tasa de Falso Negativo (Omisión)	$c/(a + c)$
	$\frac{(a + d) \cdot ((a + c) (a+b) + (b+d) (c+d))}{N}$
KAPPA	$\frac{N \cdot ((a+c) (a+b) + (b+d)(c+d))}{N}$
Fonte: Fielding e Bell (1997)	

Tabla 6. Medidas derivadas de la matriz de confusión de resultados de los MDE's

Umbral Cumulativo	Umbral Logístico	Descripción	Fracción Del área predicha	Índice de entrenamiento de omisión
1.000	0.008	Valor Fijo cumulativo 1	0.310	0.000
5.000	0.033	Valor Fijo cumulativo 5	0.154	0.077
10.000	0.081	Valor Fijo cumulativo 10	0.094	0.077
4.405	0.029	Presencia de prueba mínima	0.166	0.000
24.041	0.246	10 % presencia de Prueba	0.038	0.077
12.604	0.110	Prueba Igual de sensibilidad y especificidad	0.077	0.077
24.041	0.246	Prueba Maxima de sensibilidad y especificidad	0.038	0.077
4.057	0.026	Omisión de formación del equilibrio, umbral y área pronosticada valor	0.175	0.000
14.536	0.128	Equipara la entropía del umbral y distribuciones originales	0.067	77

Tabla 7. Algunos umbrales comunes y las tasas de omisión correspondientes -- Maxent

4.2 Curva ROC

El ROC-plot (Receiver Operating Characteristic) es un método gráfico para evaluación, organización y selección de sistemas de diagnóstico y/o predicción. El ROC-plot es una medida independiente de la prevalencia (Manel et al., 2001) y correlacionada con el Kappa (Anderson et al., 2003), éste suministra el área bajo la curva (Area Under the Curve – AUC), que es la medida de desempeño. Mientras más próximo a 1 (uno) sea la AUC, mejor el desempeño del modelo.

Observe que en el Gráfico 2, donde es representada la Curva ROC-PLOT, la especificidad es definida usando el área predicha en vez de la comisión verdadera. El Gráfico representa la sensibilidad versus la especificidad.

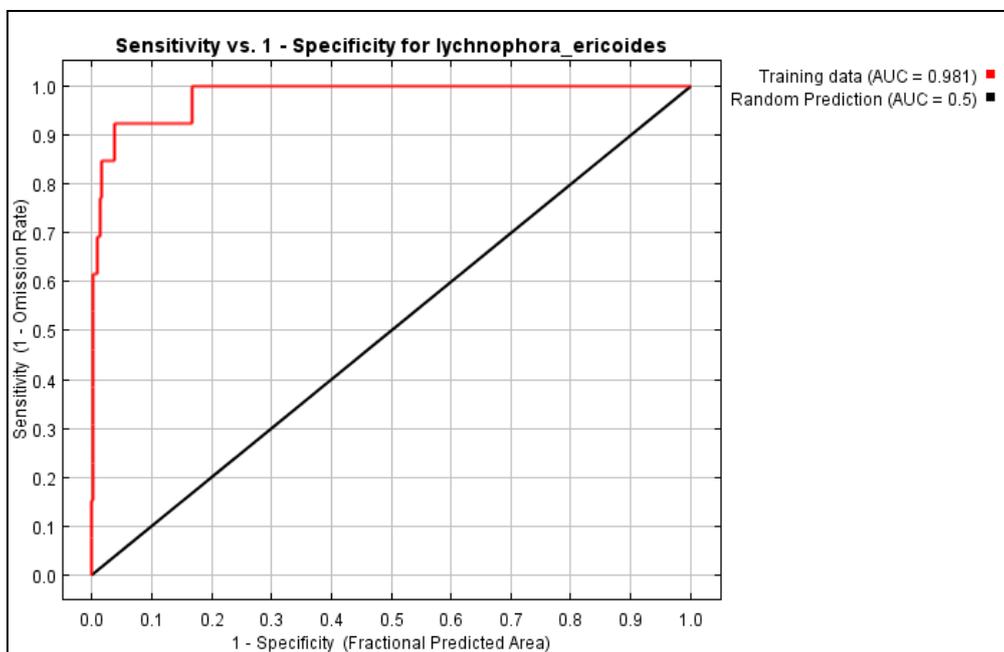
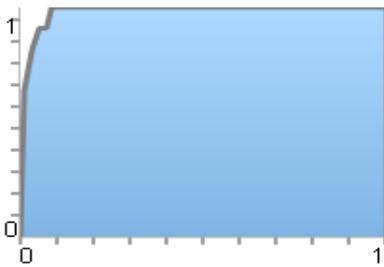


Gráfico 2. Curva ROC-PLOT para o Algoritmo Maxent

El valor de la curva AUC de la prueba externa (prueba independiente) realizado en el Maxent para *L. ericoides* fue de $0.981 \pm 0,5$ ya que el valor en la curva AUC para el algoritmo GARP fue de 0.9818 y 0.978 para entrenamiento y prueba respectivamente (ver gráficos 3a y 3b), tales valores indican la pertinencia de los puntos de localización geográfica de las especies. Pues mientras más próximo a 1 sea el valor de la AUC mejor el desempeño de los modelos.

GARP – Teste Externo



Área total Bajo Curva (AUC): 0.981

Grafico 3a - Curva ROC-PLOT del Algoritmo

GARP – Prueba Interno



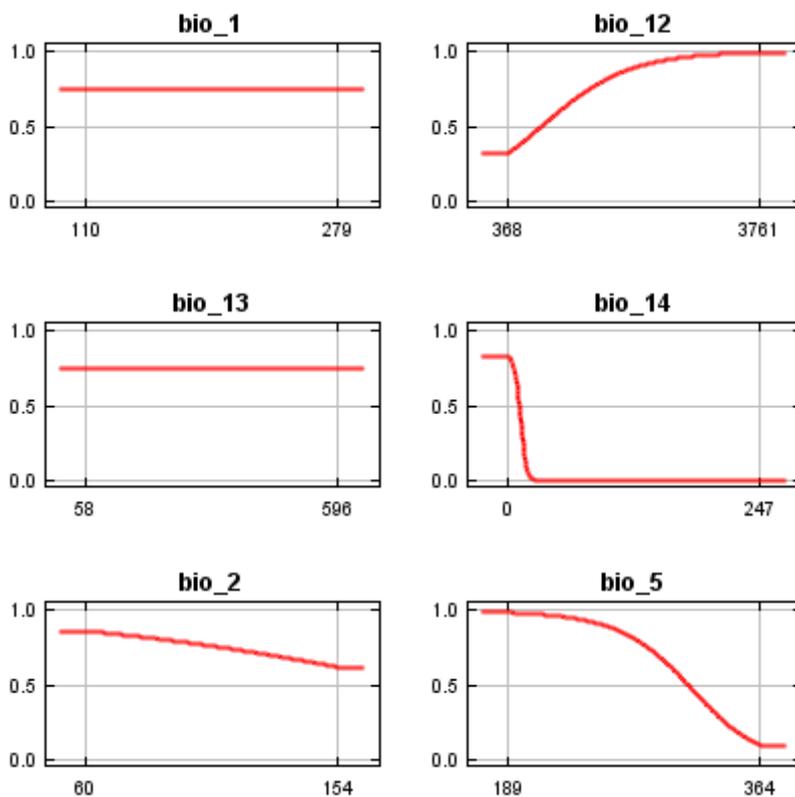
Área total Bajo Curva (AUC): 0.978

Grafico 3b - Curva ROC-PLOT del Algoritmo

4.3 Análisis de las Curvas de las Variables Ambientales - Maxent

Estas curvas muestran como cada variable ambiental influye sobre la predicción del Maxent. Las curvas muestran como la predicción logística cambia cada variable ambiental, manteniendo todas las otras variables

ambientales en su valor medio antes señalado. Note que las curvas pueden ser difíciles de interpretar si usted tiene variables fuertemente correlacionadas, el modelo puede depender de la correlación de formas que no son evidentes en las curvas. En otras palabras, las curvas muestran el efecto marginal del cambio de una variable, mientras el modelo puede restar validez a los conjuntos de variables que cambian juntas.



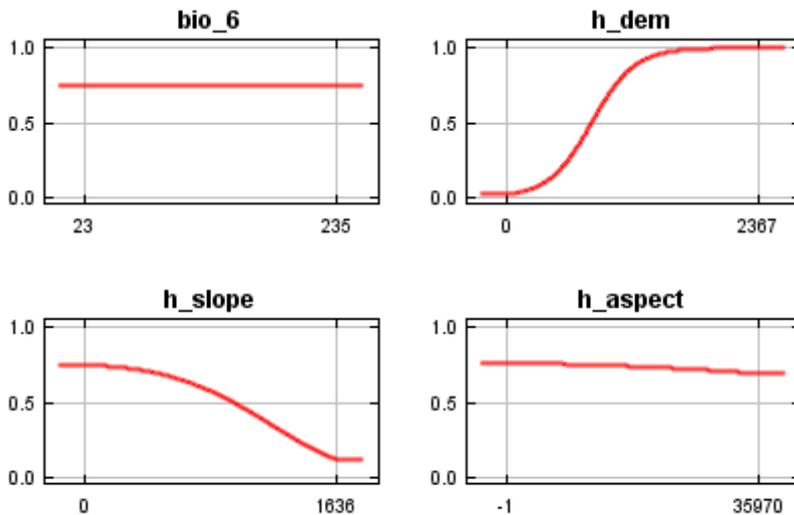


Grafico 4. Análisis de las Curvas de las Variables Ambientales - Maxent

4.4. Análisis de la Contribución de las variables Ambientales - Maxent

En contraste con la respuesta de las curvas margináis arriba, cada una de las siguientes curvas representa un modelo diferente, o sea, un modelo Maxent creado usando sólo la variable correspondiente. Estos gráficos reflejan la dependencia de la adecuabilidad prevista tanto sobre la variable seleccionada cuánto sobre las dependencias inducidas por las correlaciones entre las variables seleccionadas y otras variables. Ellos pueden ser más fáciles de interpretar, si hubiera una fuerte correlación entre variables.

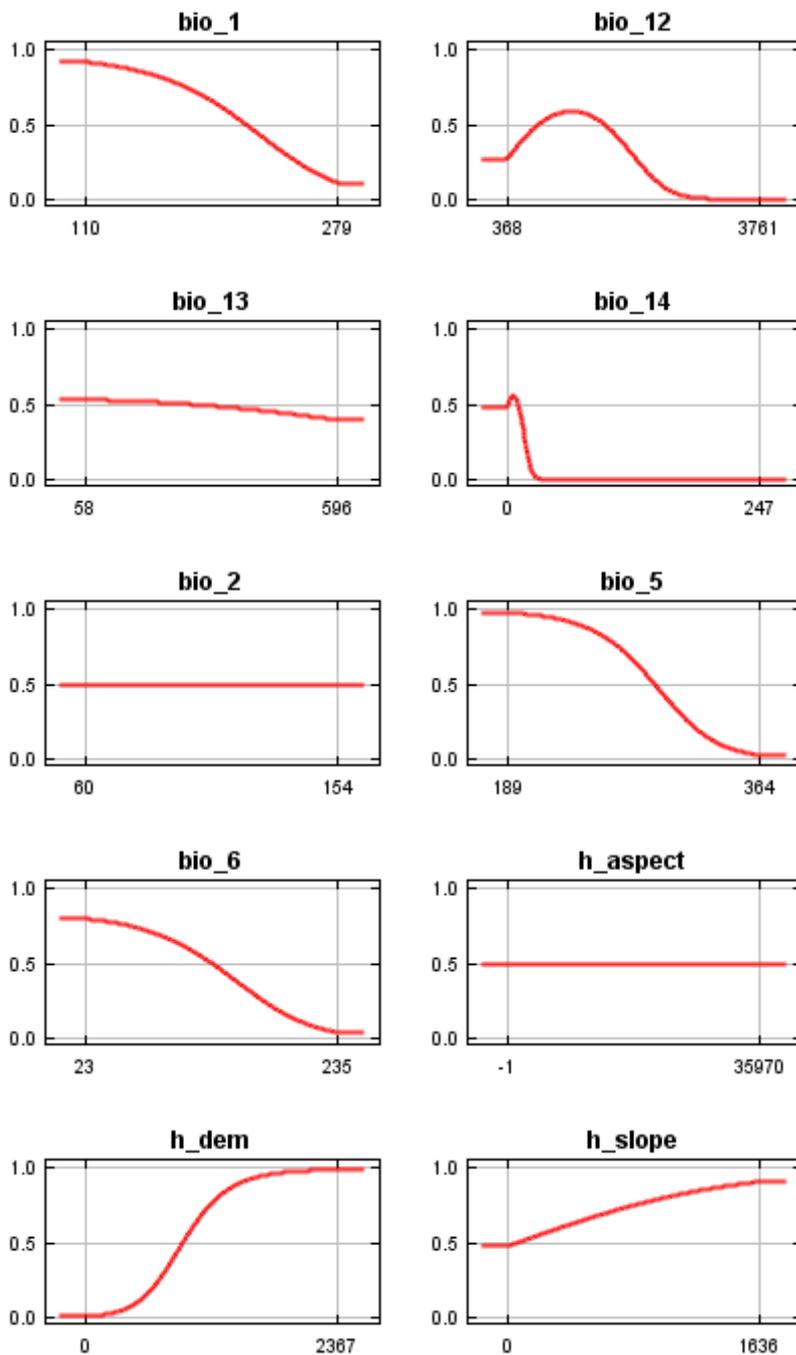


Gráfico 5. Análisis de la Contribución de las variables Ambientales - Maxent

4.5 JACKKNIFE

El JACKKNIFE es una herramienta presente en el algoritmo Maxent que permite la estimación de la significancia de cada capa ambiental en el modelo

generado (Anderson et al 2003). En el gráfico 5 es posible analizar la representatividad de cada variable ambiental utilizada.

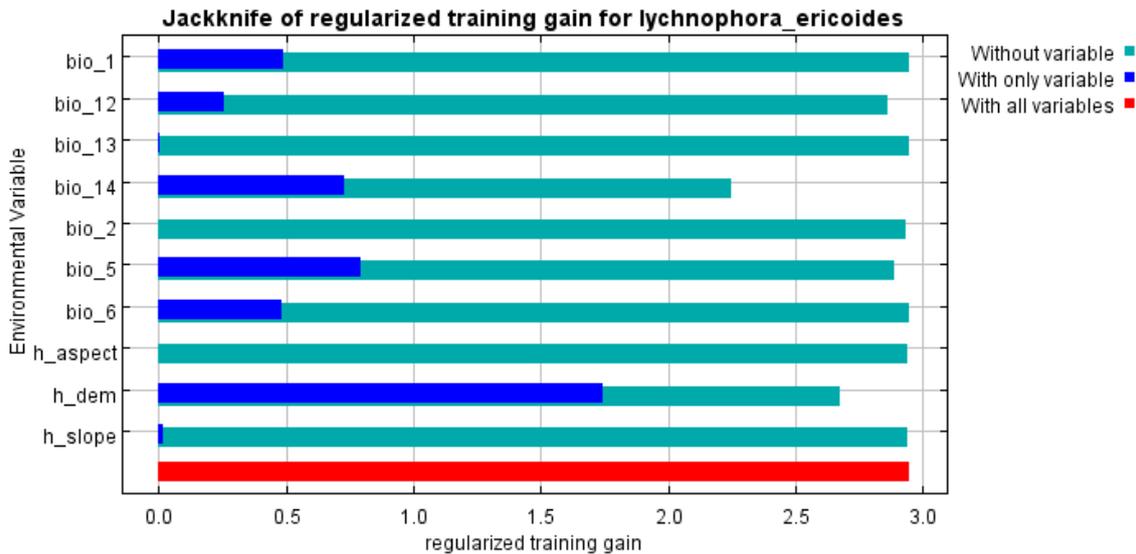


Gráfico 5. Representatividad de las Variables Ambientales – JACKKNIFE

A partir del análisis del jackknife las siguientes variables fueron seleccionadas como las más influyentes para distribución de *L. ericoides*:

- La variable ambiental con mayor ganancia cuando utilizada aisladamente es la *h_dem* (68.3%), que parece tener solo la información más útil para generar el modelo.
- Otras variables ambientales con porcentaje representativos son la *Bio_14* (23,5%) y *h_slope* (3,8%), siendo que la omisión de la *Bio_14* (23,5%) perjudicaría el modelo, pues es la variable que más reduce la ganancia según el análisis del jackknife, ya que contiene una gran cantidad de información que no está presente en las otras variables ambientales

Variable	Porcentual de Contribución
h_dem	68.3
bio_14	23.5
h_slope	3.8
bio_2	1.8
bio_12	1.4
bio_5	1
bio_13	0.1
h_aspect	0
bio_6	0
bio_1	0

Tabela 8: Representatividad de las Variables Ambientales

4.6 Mapa de Distribución de Especies

En la Figura 7, se observa que el modelo generado por Maxent, con las variables arriba seleccionadas, fue capaz de producir un modelo de predicción de la distribución de *L. ericoides* de acuerdo con la distribución citada por la literatura en SEMIR, 1991 y AMARAL, 1997 y más recientemente por SASAKI, y MELLO-SILVA, (2008).

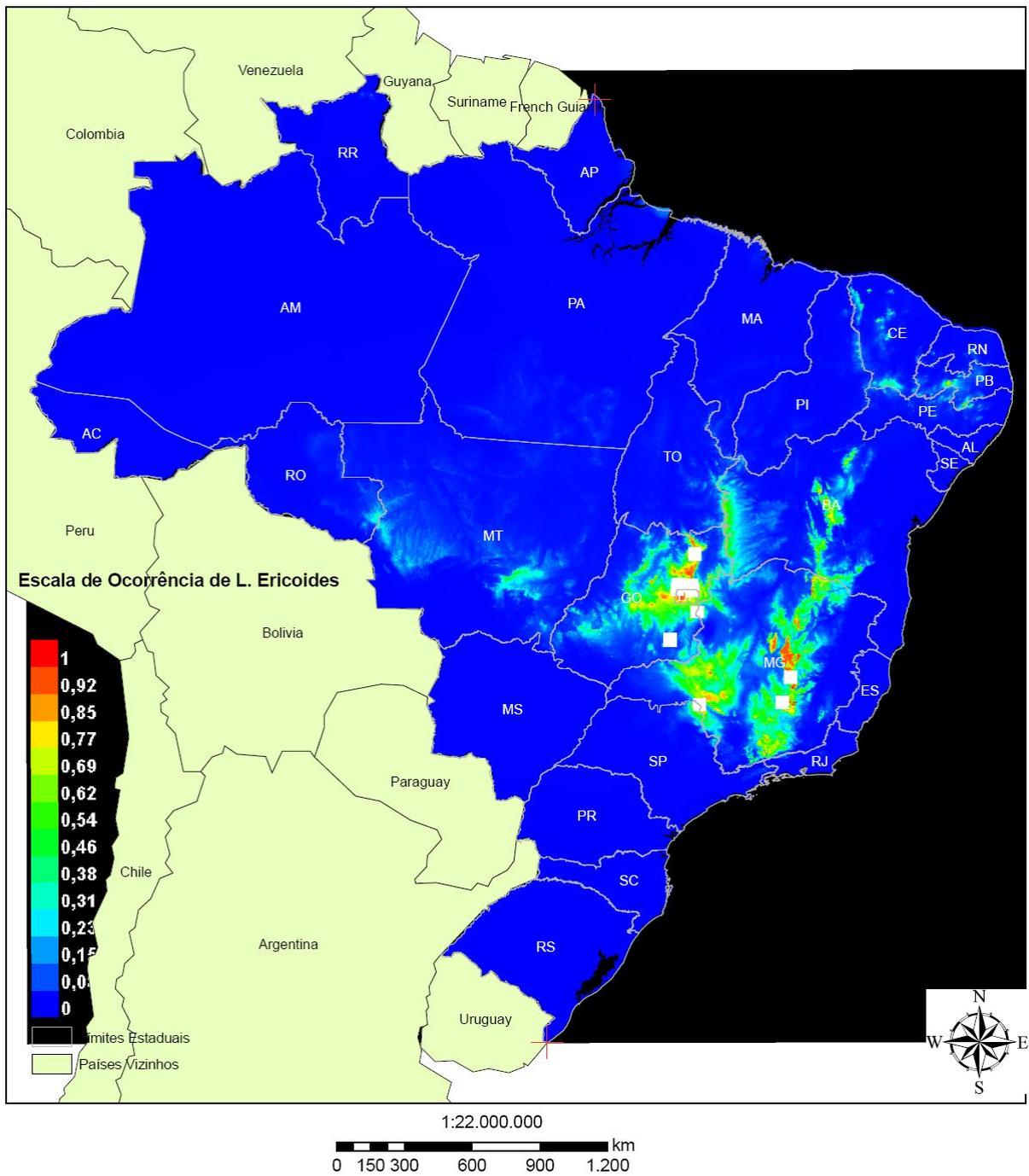


FIGURA 10: Mapa de Distribuição de *L. ericoides*, gerado por el MAXENT.

El modelo GARP indicó regiones de posibilidad de ocurrencia de la especie, en varios estados que no fueron citados en la literatura, tales como los estados de Roraima – RR, Río Grande del Norte – RN, Paraíba – PB, Ceará – CE y Pernambuco – PE (Figuras: 11 e 12).

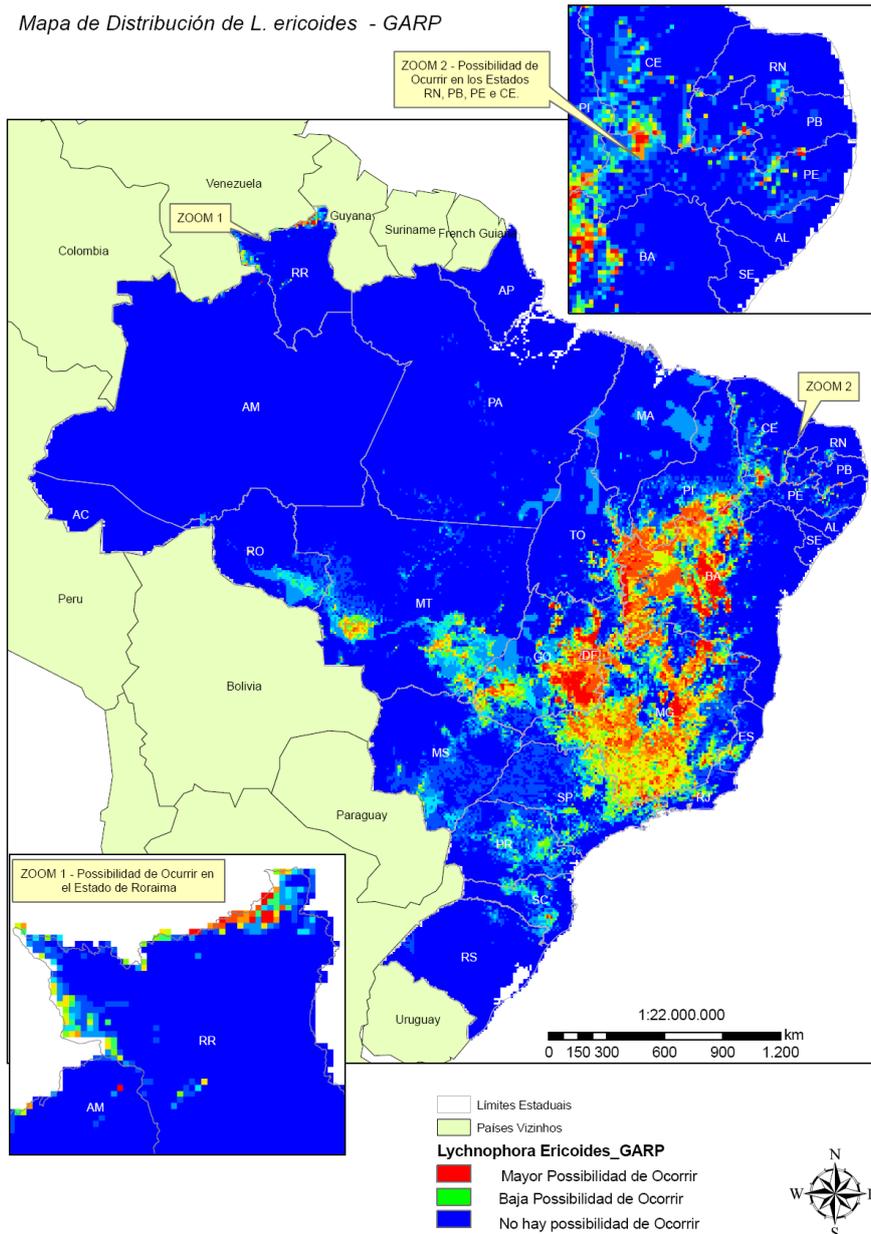


Figura 11: Mapa de Distribución de *L. ericoides* generado por el GARP

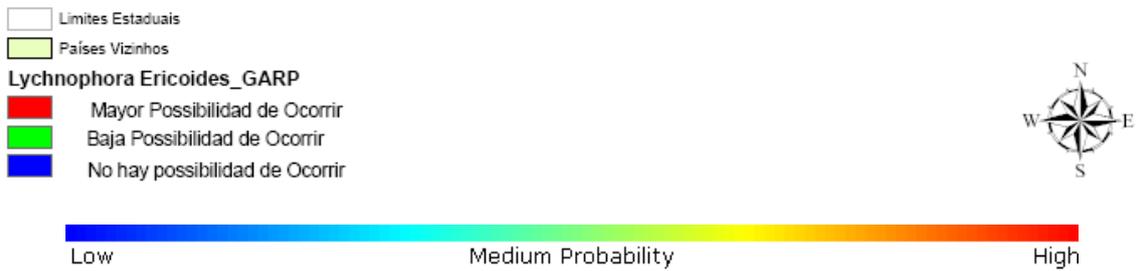
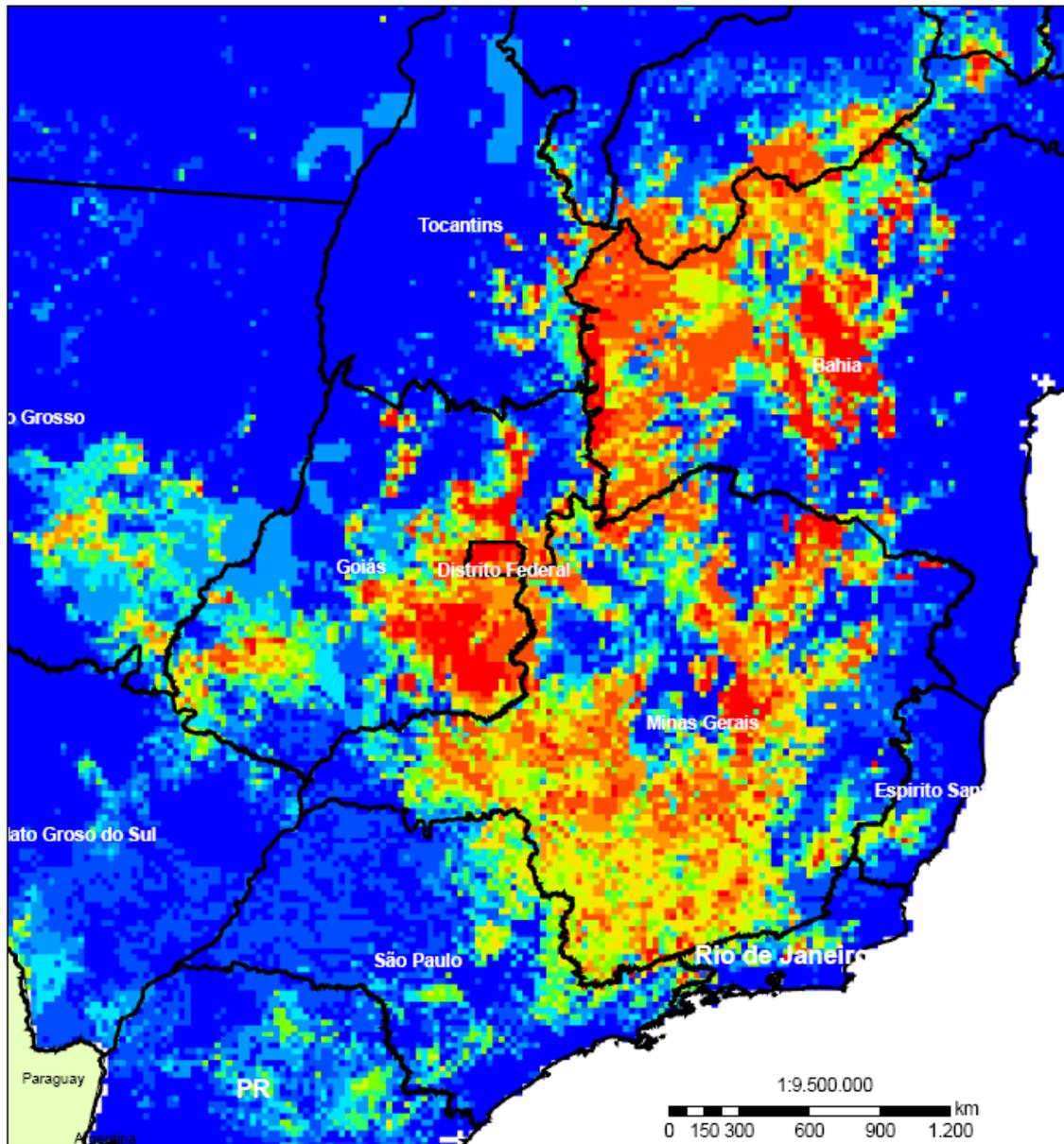


Figura 12: ZOOM en las áreas de Distribución de *L. ericoides* (GARP) y los límites estatales

Ese hecho puede estar asociado a dos motivos: (a) esa región puede ser realmente una región en potencia de la ocurrencia de *Lychonophora Ericoides*, estos sitios pueden presentar las mismas condiciones de hábitats encontrados en el centro oeste brasileño, pero, esa especie pudo haber encontrado barreras topológicas y/o biológicas, y no tuvo acceso al área, tal hipótesis demostraría que ocurrió un error de comisión (tipo B), los cuales no son considerados errores graves; o (b) el conjunto de variables o el algoritmo no fue capaz de definir correctamente los límites del potencial de distribución de *L. ericoides*, en este caso el modelo presentaría un error verdadero.

A pesar del algoritmo GARP de presentar una AUC similar al de MAXENT, los mapas de ocurrencia generados son muy distintos, el modelo de predicción de distribución de *L. ericoides* generado por el algoritmo GARP (FIGURA 12) generalizó las áreas de mayor probabilidad de ocurrencia de la especie.

Para analizar mejor los Mapas de ocurrencia generados por los algoritmos (GARP y MAXENT), fueron elaborados algunos mapas, con la intuición de validar tales áreas como posibles áreas para la reintroducción de la especie. Mapas de relieve (ilustración 13), y de curvas de nivel (ilustración 14) fueron generados para averiguar la pertinencia de los estados apuntados por el GARP y que no constan en la literatura.

A través de la literatura investigada, se sabe que esta especie habita principalmente regiones montañosas, con afloramientos rocosos de cuarsito o arenita en campos rupestres, al comparar el mapa de relieve brasileño con ambos mapas generados por el MAXENT y GARP encontramos algunos patrones.

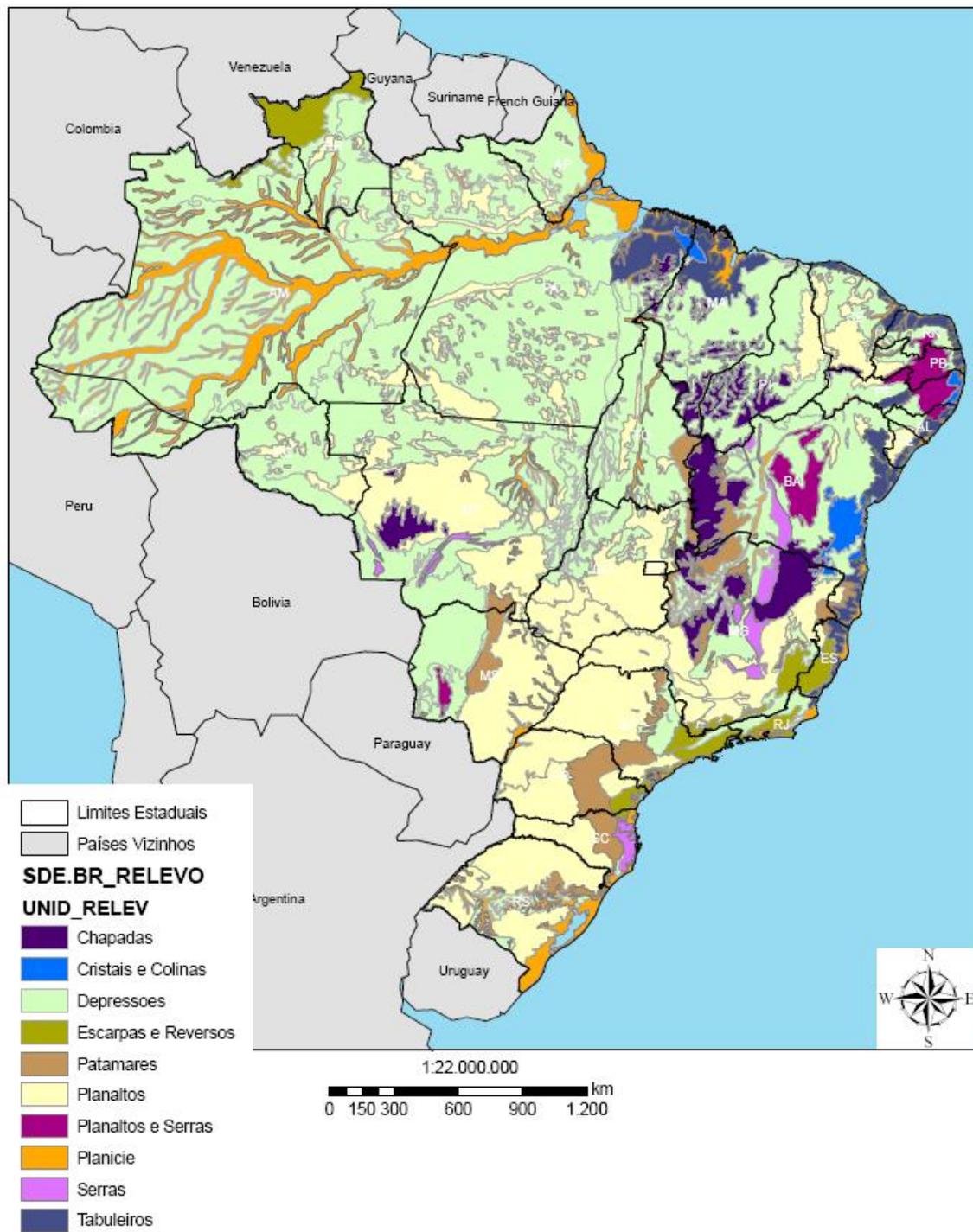


Figura 13: Mapa del relieve Brasileño. Datos: IBAMA/IBGE/ICMbio. Elaboración: Andreyra Ramos

La previsión hecha para *L. ericoides* a través del MAXENT fue más restringida, en términos de área en relación al resultado generado por el GARP, pudiendo ser entendida por las características típicas de ocurrencia de la especie y su nicho, una vez que la especie crece principalmente en áreas de altas altitudes, cuya cobertura es reducida al Planalto Céntrico. Notándose su asociación esencialmente con las Cadenas Montañosas y Planaltos. El MAXENT no traza ninguna ocurrencia en los estados de Piauí y Roraima y en los estados de Mato Grosso, Tocantins, y en el suroeste del Goiás la probabilidad de ocurrencia es prácticamente nula, ya el GARP presenta una probabilidad mayor de ocurrencia en el extremo Norte de la Bahia, en el Distrito Federal los resultados fueron similares a los encontrados por el MAXENT, en el estado de Minas Gerais el GARP extrapola sus resultados para prácticamente todo el estado comprendiendo diversas formaciones de relieve.

Como fue citado, la especie tiene ocurrencia en altas altitudes, variando entre 800 a 2000 metros, y para evaluar la representatividad de la altitud para el GARP (Ya que el algoritmo no suministra resultados indicando cuáles las capas fueron más representativas) fue construido un mapa de Curvas de nivel, (FIGURA 14) donde fueron trazadas las curvas con altitudes a partir de 800 metros hasta 2000 metros, a través del análisis visual y comparando con los datos generados por el GARP es posible inferir que la capa ambiental H_DEM (relativa a la altitud), tuvo gran representatividad para los resultados finales, el patrón florístico del ecosistema, en general, es latitudinal y altitudinal. El patrón latitudinal es debido a la amplitud de los Cerrados en el Brasil, que se distribuyen al largo de 20° (-4° a 24° S). En términos de altitud, los Cerrados del Litoral y del Nordeste corresponden al de baja altitud (0 a 500 m), los del

Sudeste, a los Cerrados de media altitud (500 a 900 m) y los del Planalto Central, a los Cerrados de alta latitud (900 a 1200 m), sin embargo el Mapa de curvas de nivel cuando comparado al de ocurrencia generado por el GARP sugiere que la adecuabilidad de la especie para áreas que ni al menos tienen manchas de cerrado.

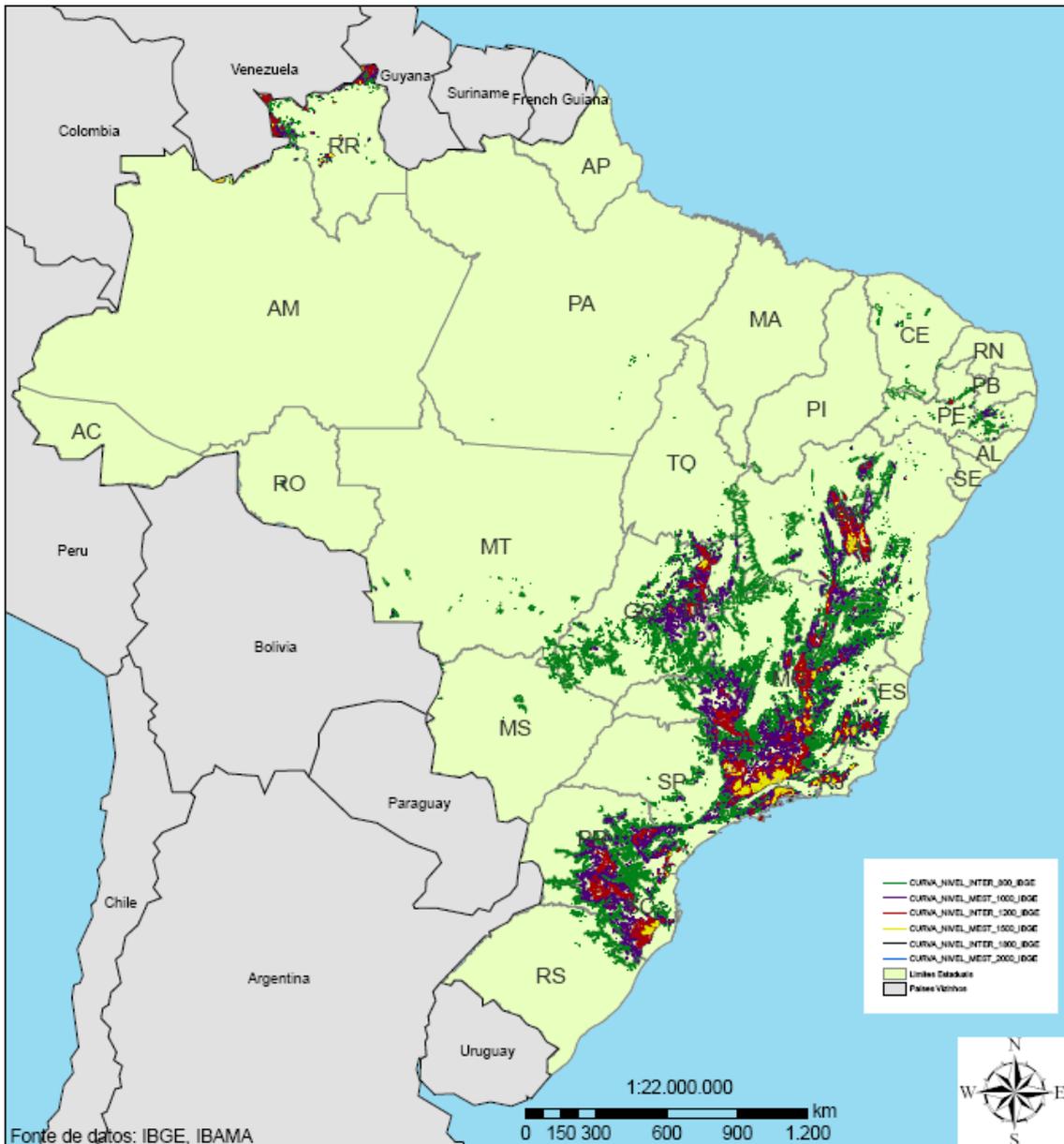


Figura 14: mapa de Curvas de nivel. Datos: IBAMA/IBGE/ICMbio. Elaboración: Andreyra Ramos

Lo que lleva a creer que el valor atribuido a otras capas ambientales fue bajo. En ambos modelos, tanto el GARP, cuanto el Maxent, las curvas ROC indicaron buenos resultados. Los valores de AUC variaron en torno a 0,9, tanto para los datos de entrenamiento cuanto de prueba. Para la evaluación de los modelos, además de los análisis de curvas y gráficos obtenidos durante el procesamiento de los modelos, se hizo una evaluación comparativa considerando los registros y referencias de localización encontrados en la literatura. Además de eso, los mapas de ocurrencia de *L. ericoides*, pasaron por el criba del especialista de la especie Roberto Fontes Vieira, investigador Doctor de la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria – EMBRAPA/Recursos Genéticos y Biotecnología, renombrada empresa pública brasileña que tiene por misión promover una agricultura sostenible y mejorar la calidad ambiental en beneficio de la sociedad brasileña. El doctor Roberto Fontes Vieira concluyó que el Mapa generado por el algoritmo Maxent representa mejor las características y necesidades de la especie en el espacio en que fue trazada, no descartando la posibilidad de un estudio más profundo para verificar la posibilidad de reintroducción de la especie en áreas que presentan manchas de cerrado y sus principales características que fueron mostradas como áreas adecuadas para la especie en los mapas de ocurrencia generados por los algoritmos.

Se encuentra en la literatura diversos trabajos similares que agrupan los resultados obtenidos y evaluaciones realizadas en este trabajo, se destacan los trabajos de: Arasato et al, (2009) que desarrollaron un estudio para generar modelos predictivos de distribución de la *Y. edulis* con los algoritmos GARP best subset y MAXENT, este estudio fue hecho para probar la influencia de los

datos de SRTM, así como de los datos climáticos y bioclimáticos. Utilizaron un conjunto de datos de ocurrencia georeferenciada de la especie, que fueron compilados, las variables ambientales seleccionadas fueron las que produjeron el mejor modelo predictivo de distribución. Los modelos generados con diferentes conjuntos de variables bióticas o abióticas fueron comparados para verificar la influencia de las variables en los modelos. Y constataron que el algoritmo GARP, a pesar de mantener básicamente, los mismos límites de ocurrencia de *Y. edulis* generalizó las áreas de mayor probabilidad de ocurrencia de la especie, y que el algoritmo MAXENT, presentó mejores resultados para la especie.

Saatchi et al. (2008) trabajaron con cinco especies de la flora amazónica utilizando también el Maxent. Utilizaron además de los puntos georeferenciados, capas de imágenes de detección remota, con 1 Km de resolución espacial, y capas climáticas del WorldClim. Los modelos de distribución generados por el algoritmo MAXENT presentó valores de AUC variando entre 0,7 y 0,8, significativamente mejores que el aleatorio (0,5) para las especies *Calophyllum brasiliense* (Clusiaceae), *Carapa guianensis* (Meliaceae), *Hura crepitans* (Euphorbiaceae), *Manilkara bidentata* (Sapotaceae), y *Virola surinamensis* (Myristicaceae).

Sérgio et al. (2007) estudiaron la distribución de *Antitrichia californica*, *Riccia sommieri*, *Cryphaea heteromalla* y *Racomitrium hespericum*. Estas briófitas, que tienen una distribución restringida en Europa y ocurren principalmente en la Península Ibérica, están en riesgo de extinción de acuerdo con la lista roja de la IUCN. Los autores realizaron pruebas con tres algoritmos diferentes, Maxent, Garp y Enfa-Ecological niche factor análisis, y la de mejor desempeño, para

tres de las especies estudiadas, fue el Maxent, con excepción de *Antitrichia californica*.

Benedito de Pando, B. & Peñas de Giles, J. (2007), realizaron un trabajo de modelaje múltiple, con la selección y combinación de modelos basados en presencia, para generar mapas de riesgo de extinción de especies amenazadas, aplicando la conservación de la biodiversidad en el sudeste de la Península Ibérica, concretamente en la provincia de Almería. Los algoritmos utilizados fueron: BIOCLIM DOMAIN, ENFA, GARP y MAXENT. Y también concluyeron que el MAXENT y también DOMAIN, se mostraron superiores en relación a la capacidad de discriminación de los otros algoritmos por ellos utilizados.

Phillips et al. (2006), que también desarrollaron un estudio envolviendo GARP y MAXENT, notaron que la AUC fue casi siempre mayor para el último, el qué indicaría que el algoritmo separa mejor las áreas apropiadas de las inapropiadas para la distribución de las especies.

Tales resultados, semejantes a los alcanzados por este trabajo, confirman la eficiencia del algoritmo Maxent en la previsión de la distribución potencial de plantas. En esta investigación la AUC fue la misma y aun así, las áreas apropiadas fueron mejor definidas por el MAXENT, probando que aunque el algoritmo GARP tenga los mismos valores que el MAXENT, este último es aún más eficiente.

CAPÍTULO 5

Conclusiones Finales



Foto: Márcio Cabral/ Serra da Canastra – Minas Gerais/Brasil

5. CONCLUSIONES

1. El conocimiento de las principales variables (los factores bióticos y abióticos) que influyen en la distribución de la especie hacen que los resultados obtenidos sean más confiables.
2. El GARP ha generado mapas de distribución muy amplios. A pesar del algoritmo GARP presentar una AUC similar al MAXENT, los mapas de ocurrencia generados son muy distintos, el modelo de predicción de distribución de *L. ericoides* generado por el algoritmo GARP generalizó las áreas de mayor probabilidad de ocurrencia de la especie.
3. Maxent predijo el nicho potencial de *L. ericoides* con una alta significancia estadística, produciendo un modelo verás según los requerimientos ecológicos de la especie conocidos en la revisión bibliográfica. Los datos de distribución obtenidos en el mapa generado por el MAXENT representan una buena aproximación respecto de los datos de campo existentes. Los valores de validación (índice Kappa) son muy buenos (Fielding y Bell, 1997).
4. Los valores de AUC para GARP fueran de 0.9818 y 0.978 y para MAXENT fue $0.981 \pm 0,5$. Según la literatura mientras más próximo a 1 (uno) sea la AUC, mejor el desempeño del modelo. De acuerdo con este concepto y tomando en cuenta la experiencia de los expertos en el tema, podemos decir los mapas son bastante acercados a la realidad.
5. Se confirmó las expectativas de que una de las variables más importantes fuera la Elevación. La ocurrencia de *L. ericoides* está

directamente asociada a las grandes altitudes del planalto central brasileño.

6. Las especies con distribuciones restringidas y requerimientos de hábitat específicos como la especie aquí tratada, muestran valores bajos de error general (Kappa) (Segurado y Araujo, 2004), y los modelos pueden construirse sobre la base de relativamente pocos datos de presencia. En este trabajo se utilizó 13 puntos georreferenciados.
7. Sugiero estudios detallados para la reintroducción de la especie en áreas propuestas por el programa GARP, aunque los resultados del MAXENT sean más próximos a los registros existentes. Las áreas de Cerrado al Norte del País son poco exploradas y a través de estudios podrían ser ambientes adecuados para la reintroducción, cambios en los patrones de distribución, áreas ocupadas y potenciales para realizar el manejo de sus poblaciones son algunos de los estudios para viabilizar la reintroducción de la especie.

Capítulo 6

BIBLIOGRAFÍA



Foto: Márcio Cabral

Bibliografía

- Anderson, R. P., Lew, D. y Peterson, A. T. (2003): "Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models", *Ecological Modelling*, 162, pp. 211-232.
- Arasato, L. S.; Amaral, S. & Ximenes, A. de C. - Densidade de Drenagem e HAND (*Height Above the Nearest Drainage*) do SRTM para modelagem de distribuição de espécie de palmeiras no Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE São José dos Campos - SP, Brazil
- Austin, M. P., L. Belbin, J. A. Meyers, M. D. Doherty, and M. Luoto. 2006. Evaluation of statistical models used for predicting plant species distributions: Role of artificial data and theory. *Ecological Modelling* 199:197-216.
- Avelino, A.S. 2005. Biologia reprodutiva de *Lychnophora ericoides* Mart. (Asteraceae: Vernoniae). Tese de Mestrado. Brasília, Universidade de Brasília.
- Chaves, F.M.C.; Ming, L.C.; Carvalho, E.A.V.; Fernandes, D.M.; Marques, M.O.M.; MEIRELES, M.A.M. Produção de biomassa, rendimento de óleo essencial e teor de eugenol em alfavaca cravo, em função de adubação orgânica e sazonalidade. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.20, n.2, p.360, 2002. Suplemento 2.
- Corrêa Júnior, C. *Influência das adubações orgânica e química na produção de camomila [Chamomilla recutita (L.) Raucschert] e do seu óleo essencial*. 1994. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP
- Coyle, N.C. & Jones, S.B. 1981. *Lychnophora* (Compositae; Vernoniae), a genus endemic to the Brazilian planalto. *Brittonia* 33: 528-54

- Crisci, J. V., L. Katinas & P. Posadas. 2003. Historical Biogeography: an introduction. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts. 250pp.
- Cunningham, D.C.; Anderson, E.R.; Walsh, K.B. Ecology and biogeography of *Cassia brewstri*: assessment of potential sites for cultivation. Australian Journal of Experimental Agriculture, Melbourne, v. 42, p. 1071 – 1080, 2002.
- De Siqueira, M. F.; Barreto, F. C. C.; Gomes, P.B. 2007. Modelagem de biodiversidade - Instituto de Geociências – UNICAM
- Dias, B.F.S. 1992. Cerrado: uma caracterização. Pp. 11-34. In: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais /Fundação Pró-Natura. Alternativas de desenvolvimento das cerrados: manejo e conservação dos recursos renováveis. Brasília, DF.
- Eiten, G. 1977. Delimitação do conceito de Cerrado. Arquivos do Jardim Botânico, Rio de Janeiro 21: 125-134.
- ELLSTRAND N.C., ELAM D.R. 1993. Population genetic consequences of small population size: implications for plant conservation. Annual review of ecology and systematics 24:217-242.
- Faleiro, F. G. et al 2008 - Savanas “Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais”. EMBRAPA cerrados. p. 24 – 37.*
- Godown, M.E.; Petterson, A.T. Preliminary distributional analysis of US endangered bird species. Biodiversity and conservation, London, v 9, p. 1313-1322, 2000.
- Goedert, W. J, Wagner, E. & Barcellos, A. de O. 2008 - Savanas “Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais”. EMBRAPA cerrados p. 38 – 67.
- Hutchinson, G.E., 1957. Concluding remarks. In: Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology 22, 415–427.

- Iwashita, F. Sensibilidade de modelos de distribuição de espécies a erros de posicionamento de dados de coleta / Fábio Iwashita. - São José dos Campos: INPE, 2007. 100 p.; (INPE-15174-TDI/1291)
- Jayat, P. & Pacheco, S. - Distribución de *Necomys Lactensy* y *Phyllotis Osilae* (Rodentia: Cricetidae: Sigmodontinae) em el noroeste Argentino: modelos predictivos basados em el concepto de Nicho Ecológico. *Mastozoología Neotropical*, 13(1):69-88, Mendoza, 2006.
- Jaynes, E.T., 1957. Information theory and statistical mechanics. *Phys. Rev.* 106, 620–630.
- Klink, C. A. & Machado, R. B. 2005 - A conservação do cerrado brasileiro. *MEGADIVERSIDADE*, Vol 1 N° 1.
- Lima, M. R., Déstro, G. F. G , Bottura, G. - modelagem de distribuição potencial de três orquídeas do gênero *cyrtopodium* r. br. (orchidaceae juss.) no brasil. no prelo.
- Marques, A.C. Lamas, C.J.E. 2006 - Taxonomia Zoológica no Brasil: Estado da Arte, Expectativas e Sugestões de ações Futuras Volume 46(13):139-174, 2006
- Mattos, R. S. & Veiga, A. 2002 - Otimização de entropia: implementação computacional dos princípios maxent e minxent, *Pesquisa Operacional*, v.22, n.1, p.37-59.
- Melo, L.Q. 2006. Estratégias para Conservação *ex situ* de *Arnica (Lychnophora ericoides* Less) - Asteraceae. Dissertação de Mestrado. Brasília, Universidade de Brasília.
- Mittermeier, R.A. 1988. Primate diversity and the tropical forest. In: E.O. Wilson (Ed.) *Biodiversity*. National Academy Press, Washington D.C.
- Mittermeier, R.A.; Gil, P.R. & Mittermeier, C.G. (Eds.). 1997. *Megadiversity: earth's biologically wealthiest nations*. Cemex, Mexico.

- Mittermeier, R. A. et al 2003. Wilderness and biodiversity conservation *PNAS* 2003 100:10309-10313; published online before print August 20, 2003, doi:10.1073/pnas.1732458100
- Oliveira Júnior, A.C.; Faquim, V.; Pinto, J.E.B.P.; Lima Sobrinho, R.R.; Bertolluci, S.K.V - Teor e rendimento de óleo essencial no peso fresco de arnica, em função de calagem e adubação. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.23, n.3, p.735-739, jul-set 2005.
- Pando, B. B. de y Giles, J. P de – Aplicación de Modelos de Distribución a la Conservación de la Biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. Unidad de Conservación Vegetal, Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Avda. Severo Ochoa, C.P. 18071, Granada, España.
- Peterson, A. T., M. Papes, and J. Soberón. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling* 213:63-72.
- Ponder, W.F., Carter, G.A., Flemons, P., Chapman, R.R., 2001. Evaluation of museum collection data for use in biodiversity assessment. *Conserv. Biol.* 15, 648–657.
- Prakasa Rao, E.V.S.; Singh, M.; Ganesha Rao, A.R.S.; Narayana, M.R. Response of palmarosa (*Cymbopogon Martini* (Roxb) Wats. var motia) to farmyard manure and nitrogen. *Indian Journal of Agronomy*, Nova Delhi, v.34. n.3, p.376-378, 1989.
- Rodrigues, C.R.; Faquin, V. Trevisan D.; Pinto, J.E.B.P.; Bertoluccil, S.K.V.; Rodrigues, T.M. Nutrição mineral, crescimento e teor de óleo essencial da menta em solução nutritiva sob diferentes concentrações de fósforo e épocas de colheita. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.22, n.3, p. 573-578, 2004.
- Salm, R.; Salles, N.V.; Alonso, W.J.; Schuck-Paim, C. Cross-scale determinants of palm species distribution. *Acta Amazonica*, v.31, n.1, pp. 17-26, 2007.

- Sasaki, D. and Mello-Silva, R. - Levantamento florístico no cerrado de Pedregulho, SP, Brasil. *Acta Bot. Bras.* [online]. 2008, vol.22, n.1, pp. 187-202. ISSN 0102-3306. doi: 10.1590/S0102-33062008000100019.
- Semir J. Revisão Taxonômica de *Lychnophora* Mart. (Vernoniae: Compositae). 1991. 549 f. Tese de Doutorado em Biologia Vegetal – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 1991.
- Singh, R.S.; Bhattacharyya, T.K.; Kakti, M.C.; Bordoloi, D. N. Effect of nitrogen, phosphorus and potash on essential-oil production of palmarosa (*Cymbopogon martini* varmotia) under rainfed condition. *Indian Journal of Agronomy*, Nova Delhi, v.37, n.2, p.305-308, 1992.
- Sociedade Botânica do Brasil. *Centuria plantarum brasiliensium extitions miniata*. Brasília, 1992. 167 p.
- Souza, A.V. *Propagação in vitro e aspectos anatômicos de arnica* (*Lychnophora pinaster* Mart.) 2003. 127 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- Stockwell, D. R. B., and A. T. Peterson. 2002. Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecological Modelling* 148:1-13.
- Stockwell, D.R.B., Peterson, A.T., 2002a. Controlling bias in biodiversity data. In: Scott, J.M., Heglund, P.J., Morrison, M.L., Haufler, J.B., Raphael, M.G., Wall, W.A., Samson, F.B. (Eds.), *Predicting Species Occurrences: Issues of Accuracy and Scale*. Island Press, Washington, DC 537–546.
- Yadav, R.L.; Anwar, R.M.; Ram, M. Fertilizer-nitrogen recovery and growth of Java citronella as influenced by row spacing and nitrogen. *Indian Journal Agronomy*, Nova Delhi, v.29, n.3, p.305-308, 1984.

Sítios pesquisados en Internet:

<http://www.pbase.com/marciocabral/profile>