

# *Modelación de la distribución espacial de diez especies de aves amenazadas en jurisdicción de Corantioquia*

*Recibido para evaluación: 17 de Marzo de 2005*  
*Aceptación: 22 de Mayo de 2006*  
*Recibido versión final: 05 de Abril de 2006*

Ana María Gómez M.<sup>1</sup>  
Esteban Álvarez D.<sup>2</sup>

## RESUMEN

El avance en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha impulsado el desarrollo de técnicas para la construcción de modelos predictivos de la distribución espacial de las especies. Estos modelos constituyen criterios objetivos fundamentales para tomar decisiones en relación con la creación de los sistemas de áreas protegidas en todo el mundo. En este trabajo se modeló la distribución espacial de diez especies de aves amenazadas en jurisdicción de CORANTIOQUIA (JDC de aquí en adelante). La JDC se dividió en 177 cuadrículas de 15 x 10 Km. y dentro de cada una se cuantificaron las siguientes variables: presencia o ausencia de las especies de aves amenazadas, precipitación, temperatura, brillo solar, humedad relativa, duración del día, altitud, cobertura vegetal, pendiente y productividad primaria neta. Con base en la técnica de regresión logística se elaboraron modelos predictivos que permiten explicar entre el 24% y el 80% de la variabilidad en la distribución espacial de estas especies. Estos resultados ayudan a la identificación de áreas valiosas para la conservación de la biodiversidad. En lugares donde no existe tiempo ni recursos económicos para llevar a cabo análisis exhaustivos de la biodiversidad, los modelos permiten con base en variables ambientales predecir la probabilidad de presencia de estas especies.

**PALABRAS CLAVE:** Especies Amenazadas, Avifauna, Distribución Geográfica, Sistemas de Información Geográfica, Cartografía.

## ABSTRACT

Recently, thanks to advances made in Geographic Information Systems (GIS), techniques have been developed for the construction of models that predict the spatial distribution of species and other attributes of biodiversity. These methods have allowed for the development of objective criteria that are fundamental for making decisions regarding the creation of protected areas systems throughout the world. In this research, the spatial distribution of ten endangered species of birds found within the jurisdiction of CORANTIOQUIA (JDC from here on) was modelled, using GIS techniques. The JDC was divided into 177 squares of 15 x 10 Km and the following variables were quantified within each one: presence or absence of endangered species of birds, rainfall, temperature, sun brightness, relative humidity, day duration, altitude, vegetal cover, slope and primary net productivity. With the help of logistic regression were made predictive models.

Based on logistic regressions techniques predictive models were made. These models allow to explain a percentage between 24% and 80% of spatial distribution variability of these species.

Those results can help in the identification of valuable zones for the biodiversity conservation. In places where there are neither the time or the economic resources to carry out exhaustive analyses of biodiversity, the models can predict the probable presence of this endangered species.

**KEY WORDS:** Endangered Species, Avifauna, Biogeography, Geographic Distribution, Geographic Information System, Cartography.

---

1. *Ingeniera Forestal, Analista Ambiental ISAGEN.*  
*amgomez@isagen.com.co*  
2. *Ingeniero Forestal, M.Sc., Especialista Ambiental ISA.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La teoría ecológica predominante asume que a pequeña escala las interacciones entre poblaciones (p.e. competencia y depredación) constituyen la fuerza fundamental que regula la estructura de la comunidad y la distribución espacial de las especies (Ricklefs y Schluter, 1993). Sin embargo, esta teoría se refiere más a procesos locales y no puede explicar satisfactoriamente los patrones de distribución espacial de las especies en escalas mayores (Brown et al., 2001).

En años recientes, se ha desarrollado una nueva aproximación investigativa que se centra en evaluar la relación entre variables ambientales y características de los organismos, poblaciones o comunidades con el objetivo de construir modelos predictivos de su distribución espacial, la cual ha sido denominada "Macroecología" (Brown, 1995). En la última década esta herramienta ha permitido identificar y explicar una gran cantidad de procesos regionales e históricos que afectan significativamente la diversidad de especies a escalas espaciales amplias (Ricklefs, 1987; Ricklefs y Schluter, 1993 y Cornell y Karlson, 1996). Muchos de los estudios macroecológicos se han enfocado en identificar los determinantes ambientales de variables como la riqueza de especies con alto valor de conservación y la estructura de sus hábitats (Guisan y Zimmermann, 2000).

Las aves constituyen uno de los grupos biológicos mejor estudiados en las regiones tropicales y por ello han sido propuestas como un grupo indicador ideal para establecer prioridades de conservación. La importancia de las aves en los estudios de macroecología se explica por la gran cantidad de datos que existen actualmente debido al interés no sólo de los biólogos sino de un gran número de observadores de aves en muchas partes del mundo (ICBP, 1992). Las aves han sido usadas en estudios macroecológicos en las regiones tropicales de América (Fjeldsa, 1995; Fjeldsa y Lovett, 1997; Fjeldsa y Rahbek, 1997; Fjeldsa et al., 1997 y Moreno, 2000), Asia (Ding, 2001) y Africa (Wynberg, 2002).

En el caso de Colombia, debido a la gran diversidad de aves y al gran número de especies amenazadas, es imposible en términos prácticos adelantar planes de conservación individuales para cada especie. Una protección integral de este grupo requiere la identificación y adecuada protección de áreas en las que se concentra un buen número de especies amenazadas con distribución restringida, o en las que se encuentran grandes concentraciones de individuos durante alguna época del año (Renjifo et al., 2002). Un estudio reciente (Moreno, 2000) sugirió que a escala de Colombia las áreas con mayor número total de especies de aves tienen igualmente alto número de especies con distribución restringida y por tanto con mayor probabilidad de amenaza.

En este trabajo, se analizó la distribución espacial de diez especies de aves amenazadas y su relación con variables ambientales en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA). El trabajo se enmarcó dentro de los principios de la disciplina Macroecológica (Lobo, 2001; Brown, 1995; Gaston y Blackburn, 2000, Maurer, 2000 y Nee, 2002) y pretende ilustrar la importancia y validez de la metodología para los planes de conservación de estas especies en la región mencionada. El trabajo se basó en su totalidad en consulta de fuentes secundarias, tanto para la creación de la base de datos sobre la distribución geográfica de las especies, como para la cuantificación de las variables ambientales con la que se efectuó la modelación.

## 2. MÉTODOS

### 2.1 Área de estudio

Este estudio comprende toda la JDC (Figura 1). Como unidades analíticas se usaron cuadrículas de 15 x 10 Km., equivalentes a la información cartográfica escala 1:25.000 existente en Colombia, tal como se muestra en la Figura 2. La JDC tiene un área de 36.000 Km<sup>2</sup>.



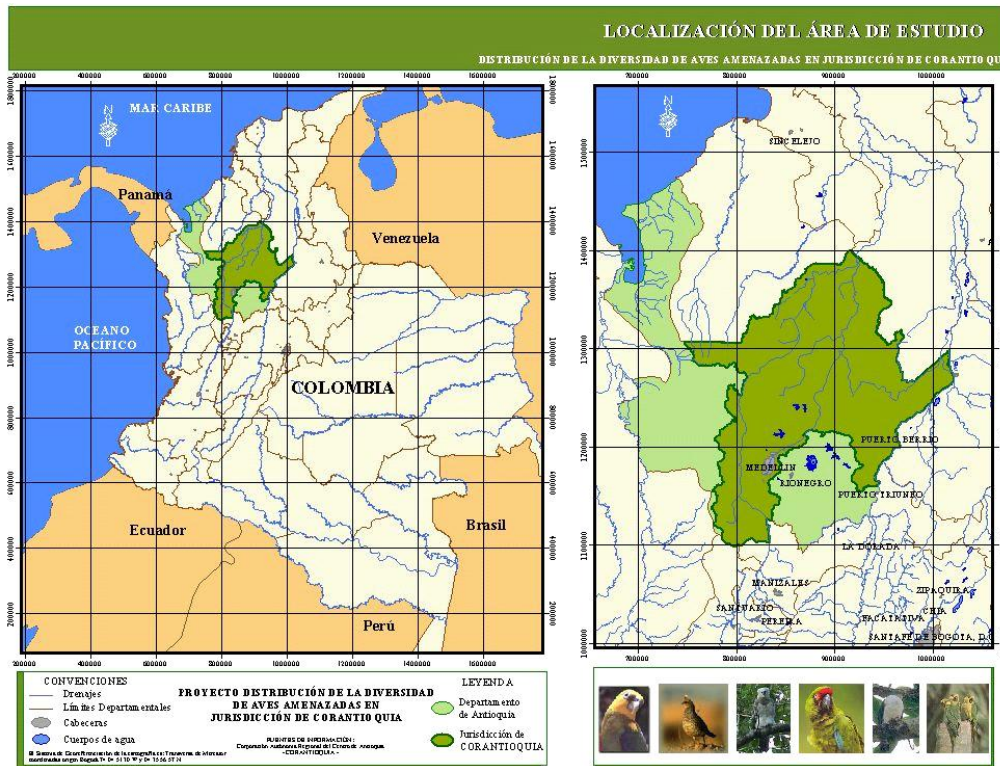


Figura 1. Área de Estudio

## 2.2 Elaboración de los mapas de distribución de especies

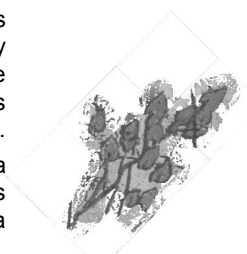
Las especies se seleccionaron con el único criterio de que tuvieran una distribución suficientemente amplia para permitir la modelación. En las 177 cuadrículas resultantes de 10 x 15 Km. se examinó la presencia y ausencia de las especies. Se trabajó con diez de las especies en peligro de extinción (Renjifo *et al.* 2002) reportadas para la JDC (Tabla 1), partiendo de una caracterización de su distribución potencial de acuerdo con métodos normalizados en estudios de biogeografía y sustentados en Sistemas de Información Geográfica (Austin 1998, Jones *et al.* 1997, Jones & Gadkov 1999). Para la sistematización de la distribución espacial de las diez aves en peligro de extinción en la JDC, se elaboraron mapas digitales en formato ArcInfo® (Esri, Redlans, 2002) a partir de las fuentes citadas en la Tabla 2.

Estos mapas se afinaron para cada especie, partiendo de los datos más gruesos (Hilty y Brown, 1986; Renjifo et all, 2002 y CORANTIOQUIA, 2006) a los más detallados (Toro y Cuervo, 2002; CORANTIOQUIA, 2000 y SAO, 2003).

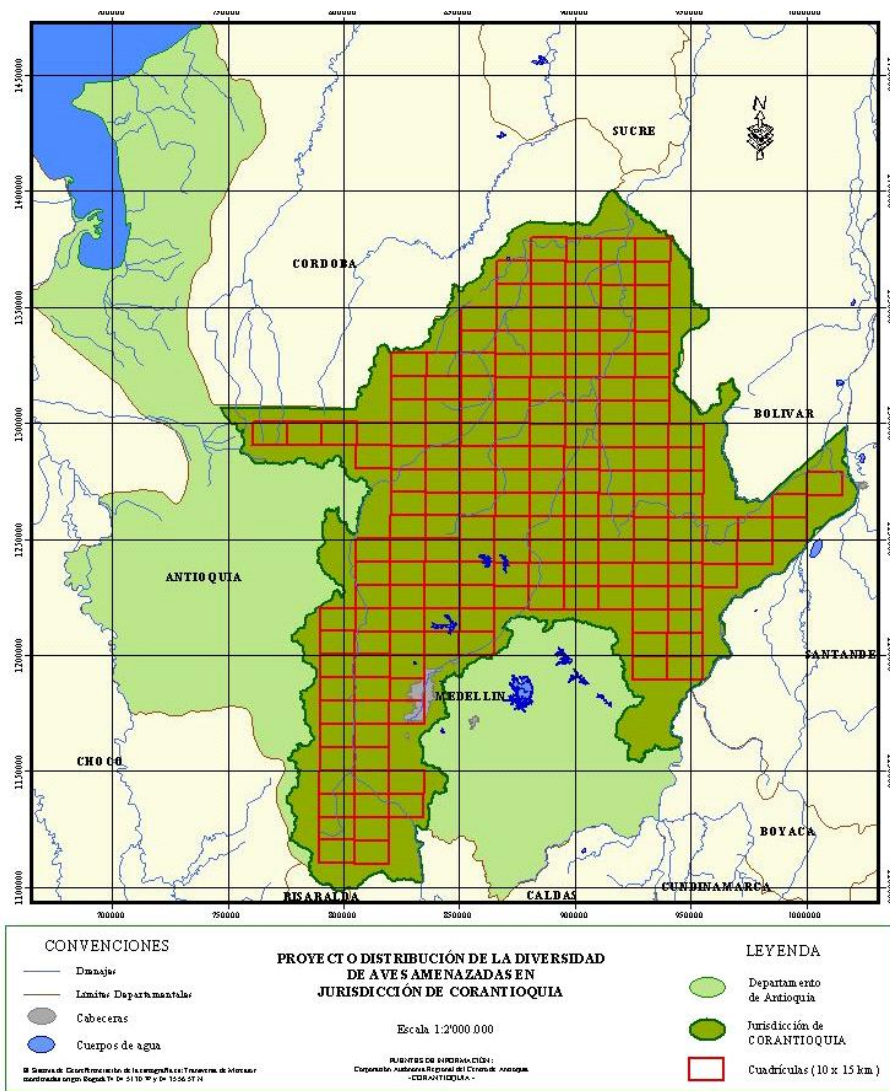
## 2.3 Recopilación de información climática y elaboración de la base de datos ambiental

Actualmente existen programas que permiten estimar la distribución potencial de las especies como Floramap (Jones y Gladkov, 1997), Bioclim (Austin, 1998), Garp (Peterson et all, 2000) y Worldmap (Williams, 1999) con base en variables climáticas principalmente. Sin embargo, mediante técnicas estadísticas como Regresión Lineal Múltiple (RM), Logística (RL) o Modelos Lineales Generalizados (MGL) (Guisan y Zimmermann, 2000), se puede desarrollar modelos más detallados.

Para el caso del presente estudio, se generó una base de datos ambiental a partir de la información contenida en el programa HIDROSIG®, versión 3.0 beta. Estos datos fueron migrados al programa ArcInfo® (Esri, Redlans, 2002) en el cual se realizó la modelación espacial de esta



**Cuadro 1.**  
*Tipos de tratamientos biológicos*



**Figura 2. Cuadrantes 10 x 15 Km<sup>2</sup>.**

investigación. Para cada cuadrícula de 10x15 km en JDC se establecieron los rangos, valores máximos y mínimos, los valores promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación para las siguientes variables: Precipitación, Temperatura, Brillo Solar, Humedad Relativa, Duración del día, Altitud, Cobertura Vegetal y Pendiente

Estos estadísticos se calcularon sólo para las cuadrículas que tuvieran el 100% de su área dentro de la JDC y se obtuvieron a partir de análisis zonales; una herramienta para la modelación espacial de información en formato raster del programa ArcInfo® (Esri, Redlans, 2002) (Figura 2).

Las unidades de las variables y la resolución espacial de los mapas en formato raster obtenidos del HIDROSIG®, versión 3.0 beta, se muestran en la Tabla 3.

Para la estimación de la productividad primaria neta (PPN) existen diferentes aproximaciones conceptuales y empíricas (Aava-Olsson 2001, Seino 2004). En esta investigación se construyó un mapa de la distribución espacial de la productividad primaria neta, asumida como el incremento potencial en biomasa aérea en ton/ha/año: Para ello, se utilizó un modelo que estima la PPN en función de la precipitación y la temperatura, realizado a través de un proceso de álgebra de mapas entre estas dos variables obtenidas del software HIDROSIG®, versión 3.0 beta. Este modelo fue desarrollado con base en los datos de Clark *et al.* (2001) y se muestra en la Ecuación 1.

	Nombre Científico	Nombre Común	Código spp.
1	<i>Andigena nigrirostris</i>	Tucán de Montaña	tuca_mont
2	<i>Ara militaris</i>	Guacamaya Verde	guac_verd
3	<i>Clytoctantes alixi</i>	Hormiguero de Pico Curvo	horm_pico
4	<i>Crax alberti</i>	Paujil de Pico Azul	pauj_pica
5	<i>Habia gutturalis</i>	Habia Ahumada	habi_ahum
6	<i>Leucopternis semiplumbea</i>	Águila Gris	agui_gris
7	<i>Lipaugus weberi</i>	Arriero Antioqueño	arre_anti
8	<i>Melanerpes chrysauchen</i>	Carpintero Nuquidorado	carp_nuqd
9	<i>Ognorhynchus icterotis</i>	Loro Orejiamarillo	loro_orea
10	<i>Oroaetus isidori</i>	Águila Crestada	agui_cres

**Tabla 1.**  
*Aves en peligro de extinción en la JDC.*

Estudio	Autor	Escala del trabajo
Libro de aves de Colombia	Hilty & Brown 1986	1:1'000.000
Libro rojo de aves de Colombia	Renjifo <i>et al.</i> 2002	1:500.000
Libro de aves en peligro de extinción en jurisdicción de CORANTIOQUIA	Toro & Cuervo 2002	1:100.000
Base de datos de avifauna de CORANTIOQUIA	CORANTIOQUIA 2000	1:1
Base de datos de la Sociedad Antioqueña de Ornitología (SAO)	SAO 2003	1:1

**Tabla 2.**  
*Fuentes utilizadas en la elaboración de los mapas de distribución de aves en peligro en la JDC.*

Tipo de Variable	Unidades	Resolución Espacial
Brillo Solar	Horas/día	30" x 30"
Cobertura Vegetal	*	300" x 300"
Altitud	m.s.n.m.	30" x 30"
Duración del Día	Horas	30" x 30"
Humedad Relativa	%	300" x 300"
Pendiente	%	30" x 30"
Precipitación promedia anual	Mm	30" x 30"
Temperatura promedia anual	Grados centígrados	30" x 30"
Productividad Primaria Neta	Ton/ha/año	30" x 30"

**Tabla 3.**  
*Variables Ambientales tomadas del HIDROSIG®, versión 3.0 beta.*

\* Categorías de Cobertura Vegetal: valores entre 1 y 10 según la predominancia de los diferentes tipos de cobertura: Sin Información, Bosques densos, Pasto Arbolado, Rastrojo Alto, Rastrojo Bajo, Pastos, Cultivos, Suelo Desnudo.

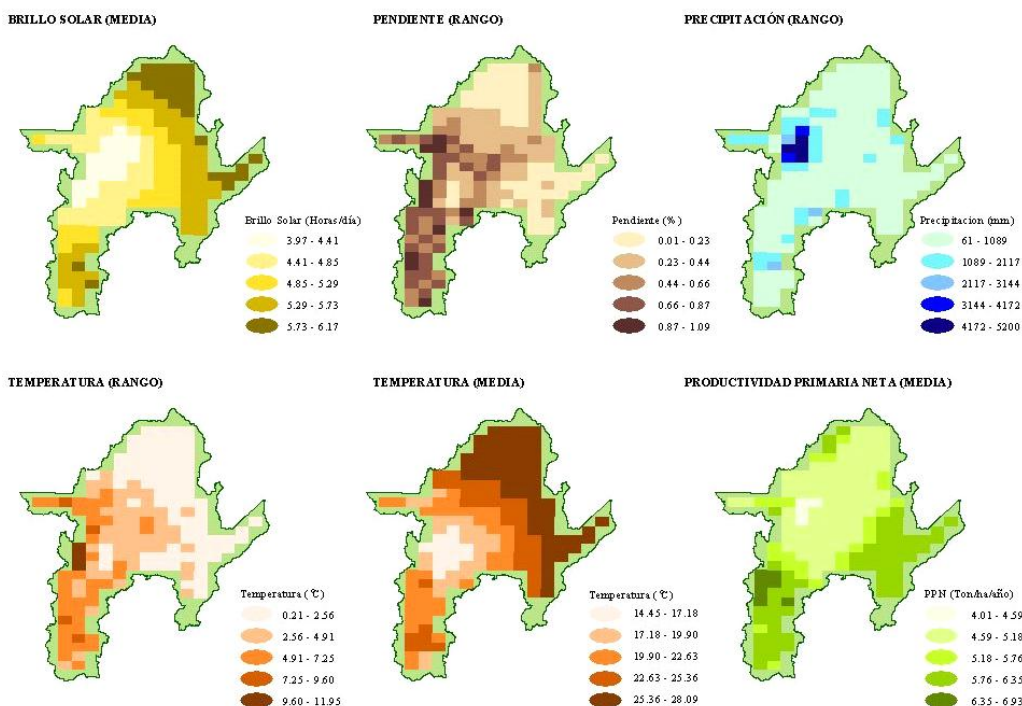
$$PPN = -0,6243x^2 + 2,3475x + 0,546 \quad (R^2 = 0,5211) \quad (1)$$

Donde:  $x = \frac{\text{Temperatura media anual}}{\text{Precipitación media anual}}$

Finalmente, se utilizó un análisis de componentes principales (PCA) para evaluar la relación entre los valores máximo, mínimo, promedio, rango, desviación estándar y coeficiente de variación dentro de cada tipo de variable independiente para poder seleccionar las variables más adecuadas para la modelación de la distribución individual de las especies. Los estadísticos de las 18 variables independientes (o variables predictoras) seleccionadas se presentan en la Tabla 4. La distribución espacial de algunas de estas variables en la JDC se presenta en la Figura 3.

**Tabla 4.**  
*Estadísticos de las variables ambientales predictoras usadas para elaborar modelos de la distribución espacial de las especies. Para el cálculo de los estadísticos se utilizaron los valores de cada variable en los 177 cuadrantes en que se dividió el área.*

Variable	Unidades	Código	Promedio	Desv. Stand	Rango	Max	Min
1. Brillo Solar (Rango)	Horas/día	RANBS	0,24	0,10	0,56	0,59	0,03
2. Brillo Solar (Promedio)	Horas/día	MEBS	5,13	0,56	2,20	6,17	3,97
3. Cobertura Vegetal (Rango)	*	RANCOB	1,34	2,10	9,00	9,00	0,00
4. Cobertura Vegetal (Promedio)	*	MECOB	5,67	2,87	11,00	12,00	1,00
5. Altitud (Rango)	m.s.n.m.	RANALT	971,43	482,57	2603,00	2644,00	41,00
6. Altitud (Promedio)	m.s.n.m.	MEALT	1468,33	771,69	2669,78	3196,59	526,81
7. Duración del Día (Rango)	Horas	RANDD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8. Duración del Día (Promedio)	Horas	MEDD	12,00	0,00	0,00	12,00	12,00
9. Humedad Relativa (Rango)	%	RANHR	0,29	0,46	3,13	3,13	0,00
10. Humedad Relativa (Promedio)	%	MEHR	76,02	1,31	4,54	78,97	74,43
11. Pendiente (Rango)	%	RANPEN	0,42	0,27	1,08	1,09	0,01
12. Pendiente (Promedio)	%	MEPEN	0,09	0,07	0,26	0,26	0,00
13. Precipitación (Rango)	mm	RANP	848,73	864,52	5139,00	5200,00	61,00
14. Precipitación (Promedio)	mm	MEP	3182,38	948,83	4646,68	6118,90	1472,22
15. Temperatura (Rango)	°C	RANT	3,37	2,34	11,74	11,95	0,21
16. Temperatura (Promedio)	°C	MET	22,92	3,52	13,64	28,09	14,45
17. Productividad Primaria Neta (Rango)	Ton/ha/año	RANPPN	1,55	0,71	5,00	6,00	1,00
18. Productividad Primaria Neta (Promedio)	Ton/ha/año	MEPPN	5,44	0,55	2,93	6,93	4,01



**Figura 3.**  
*Variables Ambientales*

#### 2.4. Modelos de la distribución espacial de las especies

Para cada especie se calibró un modelo con el método de la regresión logística que predice la probabilidad de presencia o ausencia de la especie en cada cuadrante (n=177) con base en las variables ambientales. Estos modelos fueron usados posteriormente para elaborar mapas predictivos de la distribución espacial de cada especie.

Para la selección de los mejores modelos se utilizó el análisis de desviación (ANADE) y una prueba de razón de verosimilitud. Para las dos pruebas se consideró un valor-p menor a 0,05. Las pruebas de regresión logística fueron realizadas con el programa Statgráficos.

### 3. RESULTADOS

En la Tabla 5, se presentan los resultados del análisis de regresión logística para todas las especies estudiadas. Los mejores modelos, los cuales explicaron más del 70%, en la variación de la presencia o ausencia corresponden a las especies *Leucopternis semiplumbea*, *Andigena nigrirrostris* y *Habia gutturalis*.

Los modelos con un poder de predicción intermedio, entre el 30-70%, correspondieron a las especies: *Clytoctantes alixi*, *Oroaetus isidori*, *Melanerpes chrysaunchen*, *Ara militaris* y *Crax alberti*.

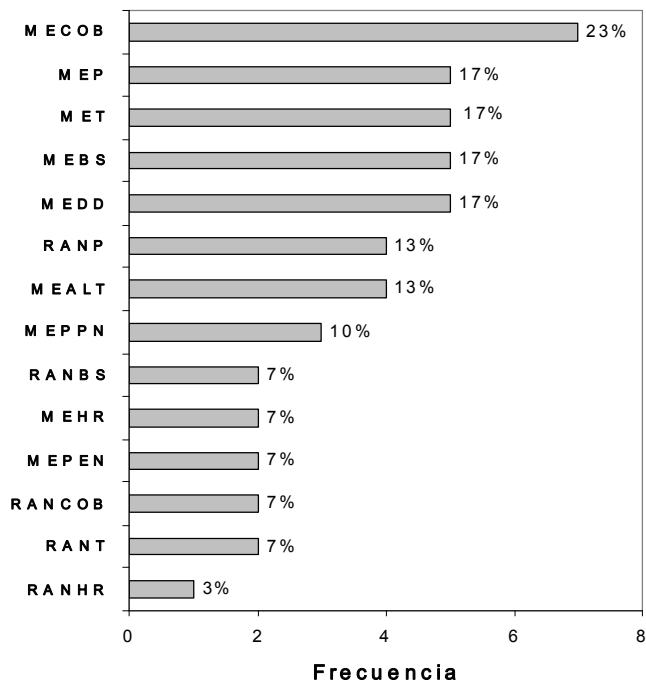
El modelo para la especie *Lipaugus weberi*, explica menos del 30% en la variación de su presencia o ausencia.

Para el ANADE el valor-p en todos los modelos fue menor a 0,05; por lo tanto la relación entre las variables resultó significativa al 95%, lo cual se corroboró con el análisis de los residuales (valor-p mayor o igual a 0,05). En la prueba de razón de verosimilitud, cada variable del modelo presenta un valor-p menor de 0,05, lo cual aseguró que las variables no fueran redundantes.

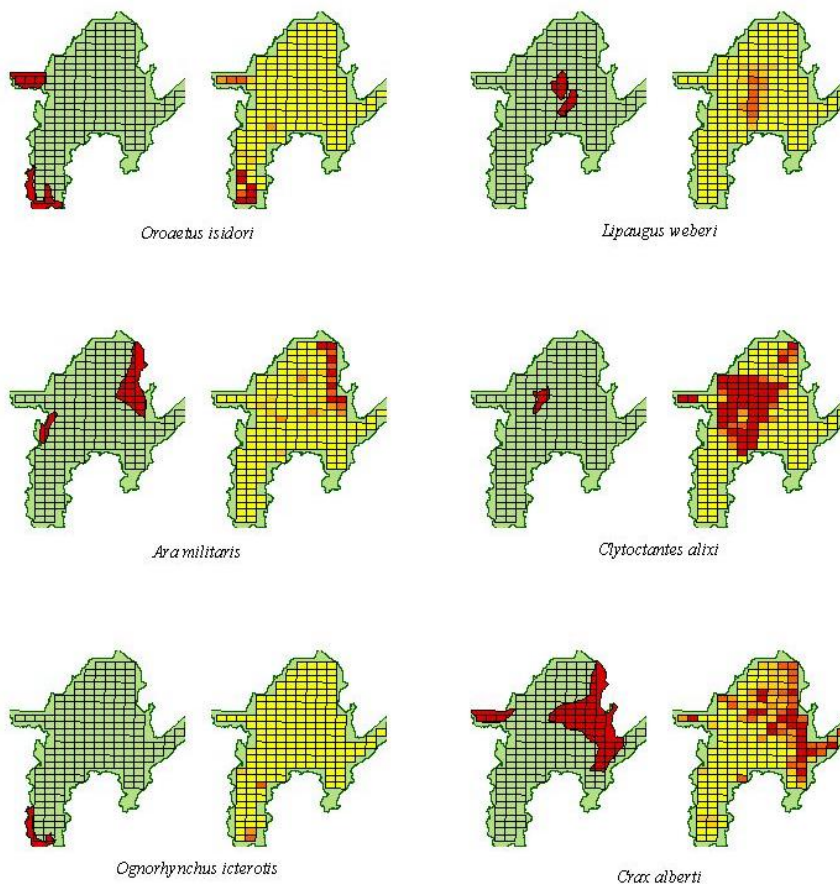
En la Figura 4 se presentan las variables ordenadas por el número de modelos en el que aparecen explicando significativamente parte de la variación en la presencia o ausencia de los 30 modelos construidos. Las variables más importantes en orden de frecuencia de participación en los modelos fueron: la precipitación promedia (MEP), el rango de precipitación (RANP), la temperatura promedia (MET), el índice promedio de cobertura (MECOB), el brillo solar promedio (MEBS) y la duración del día promedia (MEDD) las cuales aparecieron al menos en 50% de los modelos. Las variables que aparecieron con menor frecuencia (máximo 5 modelos) fueron la productividad primaria promedia (MEPPN), la humedad relativa promedia (MEHR), la pendiente promedia (MEPEN), el rango de cobertura (RANCOB), el rango de temperatura (RANT) y el rango de humedad relativa (RANHR). En la Figura 5 se muestran algunos ejemplos de la distribución potencial de las especies según los modelos que mejor se ajustaron para éstas (Tabla 5).

Nombre científico	Modelos de regresión logística	Porcentaje ajustado	P-Value
1 <i>Andigena nigrirrostris</i>	$\eta = -181846,0 - 6,75361*MEBS - 0,00813847*MEALT + 15139,0*MEDD + 4,5127*MEHR - 0,00107105*RANP - 0,00554278*MEP + 1,04485*RANT - 8,87091*MEPPN$	73,7348	0,0000
2 <i>Ara militaris</i>	$\eta = 77376,9 + 3,22242*MEBS - 0,66243*MECOB - 6452,0*MEDD + 10,6219*RANPEN$	39,6834	0,0000
3 <i>Clytoctantes alixi</i>	$\eta = 0,674664*MECOB + 0,00988763*MEP - 1,75068*MET$	68,1978	0,0000
4 <i>Crax alberti</i>	$\eta = 36924,6 - 1,45901*MEBS - 0,375708*MECOB - 3092,58*MEDD + 1,83235*MEHR + 39,5751*MEPEN - 0,00171525*RANP + 1,72973*MET$	34,7169	0,0000
5 <i>Habia gutturalis</i>	$\eta = 91575,4 + 8,52687*MEBS - 0,397729*RANCOB - 0,444145*MECOB - 7635,25*MEDD - 15,393*MEPEN - 3,61682*MEPPN$	70,1422	0,0000
6 <i>Leucopternis semiplumbea</i>	$\eta = 426352,0 - 0,483148*MECOB - 0,00483939*MEALT - 35540,5*MEDD - 0,00187862*MEP$	80,4246	0,0000
7 <i>Lipaugus weberi</i>	$\eta = 38,6313 + 9,05381*RANBS - 0,00642706*MEALT - 0,00146937*RANP - 1,45697*MET$	24,2742	0,0000
18 <i>Melanerpes chrysaunchen</i>	$\eta = 18,925 + 4,70206*MEBS - 0,442872*RANCOB - 0,528653*MECOB + 2,80262*RANHR - 0,00292264*MEP - 0,455348*RANT + 0,77087*MET - 8,32322*MEPPN$	62,2568	0,0000
9 <i>Ognorhynchus icterotis</i>	$\eta = 15,5648*RANBS - 0,00345616*MEP$	34,3643	0,0002
10 <i>Oroaetus isidori</i>	$\eta = -73,7736 + 2,01991*MECOB + 0,0103666*MEALT + 1,54777*MET$	64,7266	0,0000

**Tabla 5.**  
Modelos de Regresión logística  
(Ver Tabla 4 para explicación de los códigos de las variables).



**Figura 4.**  
Ordenamiento de las variables por el número de veces que aparecen en los modelos presentados en la Tabla 5 (Ver Tabla 4 para explicación de los códigos).



**Figura 5.**  
Predicción de la Distribución de algunas de las especies incluidas en este estudio. Para cada especie, la Figura de la izquierda representa la distribución observada y la de la derecha, la predicha con los modelos de la Tabla 5.



## 4. DISCUSIÓN

### 4.1. Importancia de los modelos

Los estadísticos de las variables predictoras indican una gran heterogeneidad ambiental en el área de la JDC (ver Figura 3). Por ejemplo, los rangos de precipitación promedio (4646 mm), altitud promedio (2669 m) y temperatura promedio (13,6 °C) dan una idea de la gran cantidad de hábitats que alberga la JDC. La “hipótesis de heterogeneidad del hábitat” es una de las piedras angulares de la ecología. Ésta asume que en los ambientes que son espacialmente más heterogéneos se puede esperar que coexistan una mayor cantidad de especies puesto que en ellos existen una mayor variedad de microhábitats, un rango elevado de microclimas, y por tanto mayores oportunidades para la especialización. Por tanto de este análisis es posible deducir el enorme potencial que tienen las diferentes áreas en JDC para la conservación de la biodiversidad.

Mediante la metodología propuesta, fue posible elaborar modelos predictivos para todas las especies y éstos explicaron parte de la variación en su distribución espacial. Con base en estos resultados se podrían elaborar modelos más complejos que permitan identificar los determinantes ambientales de otras variables más complejas como la riqueza total de las especies de aves amenazadas en la JDC.

En general, los modelos desarrollados permitieron cuantificar el efecto de algunas de las principales variables ambientales que afectan la distribución de las especies. A pesar de que gran parte de los modelos presentaron un poder de predicción modesto (30-70%), éstos fueron significativos. La variación no explicada en estos modelos puede ser causada por: (i) imprecisiones en la espacialización del hábitat potencial por parte de los expertos, (ii) espacialización de las variables ambientales, (iii) descriptores ambientales no considerados en el estudio (por ejemplo, cantidad de meses secos en el año), ó (iv) variables ambientales que no se pueden detectar en la escala utilizada en este estudio. Sin embargo, la variación en las proporciones de varianza explicada por los modelos en la JDC fue similar a la reportada en otros estudios de modelación ecológica (Jaberg y Guisan, 2001; Borcard et al., 1992 y Guisan et al., 1999).

Por otra parte, estos modelos permiten hacer recomendaciones para futuras colecciones de datos y por tanto pueden contribuir a reducir los problemas (financieros y logísticos) inherentes a la exploración de áreas remotas (Manel *et al.* 1999). Posteriores investigaciones deben intentar mejorar los modelos, adicionando otros descriptores del paisaje a escalas más detalladas y adicionando datos más precisos a los modelos. Por ejemplo, la inclusión de variables como la estructura del paisaje y disponibilidad de alimentos, pueden mejorar enormemente el poder predictivo de los modelos. Algunos autores recomiendan (Jaberg & Guisan 2001) que los modelos de distribución de especies de fauna pueden ser mejorados haciendo observaciones en diferentes periodos o analizando diferentes grupos demográficos. Es bien conocido que individuos de la misma especie pueden tener diferentes requerimientos ecológicos dependiendo de su estado reproductivo o del tiempo del año (Anthony y Kuntz, 1977 y Arlettaz, 1995). Finalmente, como lo sugieren Manel et al (1999), los modelos pueden ser aplicados a nuevos sitios con el fin de probar hipótesis que enlacen las relaciones causa – efecto a la estructura del paisaje y la distribución de las aves.

### 4.2. Aplicación de los modelos con fines de conservación en JDC

La conservación de la biodiversidad requiere del establecimiento de Sistemas Regionales de Áreas Protegidas (SIRAP) eficientes que permitan mantener poblaciones viables de la mayor cantidad posible de especies. Los criterios para definir estos sistemas son muy diversos y en ocasiones, subjetivos (Margules y Pressey, 2000; Cabeza y Moilanen, 2001). Una estrategia ampliamente utilizada, como en el caso de CORANTIOQUIA, consiste en el diseño de un SIRAP tendiente a representar los diferentes tipos de ecosistemas (paisajes, hábitat, ecorregiones, etc.) presentes en un territorio (Faith, 2003). Desde esta perspectiva, se asume que la diversidad de ecosistemas es un indicador de los diferentes aspectos de la diversidad de especies.

No obstante, la crítica principal a esta aproximación se centra en que desde un punto de vista espacial, las poblaciones de una especie se encuentran distribuidas de tal modo que pueden





formar parte de sistemas ecológicos muy diferentes, pudiendo ejercer distintas especies el mismo papel ecológico en comunidades o ecosistemas similares, y la misma especie diferentes papeles en distintos ecosistemas (Araujo et al, 2001; Araujo et al, 2003; Faith, 2003 y Lawton, 1999). Estas consideraciones sugieren que no existe una correspondencia estricta entre las especies y los ecosistemas, de modo que diseñar una red de reservas sólo con criterios ambientales, sin tener en cuenta a las especies, no garantiza una correcta conservación de la diversidad biológica (Araujo et al, 2001).

De tal manera, aceptando que una estrategia de conservación debe también considerar las especies, es necesario recopilar la mayor cantidad de información taxonómica y ecológica posible con el fin de diseñar redes de reservas capaces de proteger el mayor número de especies con alto valor de conservación (Peterson et al, 2000 y Austin 1998). Numerosas iniciativas nacionales e internacionales están dedicadas a este propósito en muchas regiones del mundo incluyendo las regiones templadas y tropicales. No obstante, en la mayoría de los casos, incluso en países desarrollados con gran cantidad de información y recursos económicos disponibles, la conclusión final es que existe una gran cantidad de áreas sin datos confiables sobre su biodiversidad.

Esta situación justifica el desarrollo de modelos de la distribución espacial de especies. En este estudio se utilizó esta aproximación como parte de la estrategia de conservación para diez especies de aves reportadas con algún tipo de amenaza (sensu Instituto Alexander von Humboldt y Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) en la JDC.

## 5. RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia –CORANTIOQUIA– por el apoyo financiero a esta investigación.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Aava-Olsson, B. 2001. Plant productivity: A predictor of animal species and community characteristics. Ecological patterns from local to global scale. Doctoral thesis. ISSN 1401-6230, ISBN 91-576-6084-0.
- Anthony, E.L.P. y Kuntz, T.H. 1977. Feeding strategies of the little brown bat, *Myotis lucifigus*, in southern New Hampshire. *Ecology*, 58: 775-786.
- Araujo, M.B., Densham, P. y Humphries, C. 2003. Predicting species diversity with ED: the quest for evidence. *Ecography*, 26: 380-383.
- Araujo, M.B., Humphries, C.J., Densham, P.J., et al. 2001. Would environmental diversity be a good surrogate for species diversity? *Ecography*, 24: 103-110.
- Arlettaz, R. 1999. Habitat selection as a major resource partitioning mechanism between the two sympatric sibling bat species *Myotis myotis* and *Myotis blythii*. *Journal of Animal Ecology*, 68: 460-471.
- Austin, P. M. 1998. An ecological perspective on biodiversity investigations: examples from Australian eucalypt forest. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 85 (1): 3-17.
- Borcard, D., Legendre, P. y Drapeau, P. 1992. Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology*, 73:1045-1055.
- Brown, J.H., Ernest, S.K.M., Parody, J.M, et al. 2001. Regulation of diversity: maintenance of species richness in changing environments. *Oecologia*, 126: 321-332.
- Cabeza, M. y Moilanen, A. 2001. Design of reserve networks and the persistence of biodiversity. *Trends in Ecology & Evolution*, 16: 242-248.
- Clark, D.A., Brown, S., Kicklighter, D., et al. 2001. NPP in tropical forests: an evaluation and synthesis of existing field data. *Ecological Applications*, 11: 371-384.
- CORANTIOQUIA. (Disponible en <http://www.cornatioquia.gov.co>) (consultada en marzo de 2006).
- Ding, T.S. 2001. Species diversity at different spatial scales: birds in Yushan, Taiwan, and East

- Asia. PhD Dissertation. Davis (CA): Univ of California. 129 p.
- ESRI. 2002. ARC/INFO 8 User Guide. Redlands, CA USA.
- Faith, D.F. 2003. Environmental diversity (ED) as surrogate information for species-level biodiversity. *Ecography*, 26: 374-379.
- Fjeldsa, J., Ehrlich, D., Lambin, E., et al. 1997. "Are Biodiversity 'Hotspots' Correlated with Current Ecoclimatic Stability? A Pilot Study Using the NOAA-AVHRR Remote Sensing Data". p. 401-422. En: Chapman & Hall (eds.) *Biodiversity and Conservation Volume 6*. London.
- Fjeldsa, J. y LOVETT, J.C. 1997. Biodiversity and environmental stability. *Biodiversity and Conservation*, 6: 315-323.
- Fjeldsa, J. y Rahbek, C. 1997. Species richness and endemism in South American birds. Implications for the design of networks of nature reserves: pp 466-482. En: W. Laurance & R.O. Bierregard Jr. (eds.). *Tropical forest remnants: Ecology, management and conservation of fragmented communities*. University of Chicago Press. Chicago.
- Fjeldsa, J. 1995. Response of ornithology to the "biodiversity crisis" and the biodiversity convention. *Journal of avian biology*, 26 (2): p89-93.
- Gaston, K. J. y T. M. Blackburn. 2000. *Pattern and process in macroecology*. Blackwell Science, Oxford, UK.
- Guisan, A. y Zimmermann, N. E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135:147-186.
- Hilty, S. L. y Brown W. L. 1986. *A guide to the birds of Colombia*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- Jaberg, C. y Guisan, A. 2001. Modelling the distribution of bats in relation to the landscape structure in a temperate mountain environment. *Journal of Applied Ecology*, 38: 1169-1181.
- Jones, P.G. y A. Gladkov. 1999. *FloraMap: A computer tool for predicting the distribution of plants and other organism in the wild*. CIAT. Ciudad. 99 pp + 1 CD.
- Jones, P.G., Beebe, S.E. y Tohme, J. 1997. The use of geographical information systems in biodiversity exploration and conservation. *Biodiversity and Conservation*, 6: 947-958.
- Lobo, J. 2001. Spatial and environmental determinants of vascular plant species richness distributions in the Iberian peninsula and Balearic Islands. *Biological journal of the Linnean Society*, 73: 233- 253.
- Manel, S., Dias, J.M., Buckton, S.T., et al. 1999. Alternative methods for predicting species distribution: an illustration with Himalayan river birds. *Journal of Applied Ecology*, 37: 756-747.
- Margules, C. y Pressey, R. 2000. Systematic conservation planning. *Nature*, 405: 243-253.
- Moreno, M. 2000. *Patrones de diversidad de aves en Colombia*. Trabajo de grado Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 89 p.
- Nee, S. 2002. Thinking big in ecology. *Nature*, 417: 229-230.
- Peterson, A. T., Egbert, S. L., Sanchez-Cordero, V., et al. 2000. Geographic analysis of conservation priorities using distributional modeling and complementarity: endemic birds and mammals in Veracruz, Mexico. *Biological Conservation*, 93:85-94
- Renjifo, L. M., Franco-Maya, A. M., Amaya-Espinel, J. D., et al. (Eds.). 2002. *Libro rojo de aves de Colombia*. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia.
- Ricklefs, R. E. 1987. Community diversity: Relative roles of local and regional processes. *Science*, 233: 167-171.
- Ricklefs, R. E. y Schluter, D. 1993. Species diversity: regional and historical influences: p. 350-363. En: R. E. Ricklefs & D. Schluter (eds.). *Species Diversity: Historical and Geographical Perspectives*. University of Chicago Press, Chicago.
- Seino, H. 2004. *Distribution Maps of Net Primary Productivity (NPP) of Natural Vegetation and Related Climatic Resources*. Disponible en: [http://cse.naro.affrc.go.jp/hseino/G7/clmres\\_e.html](http://cse.naro.affrc.go.jp/hseino/G7/clmres_e.html) (consultada en junio de 2004).



- Sociedad Antioqueña de Ornitología (SAO). 2004. DATAVES (Datos Aves), Medellín. Disponible en: [http://www.sao.org.co/frames/base\\_ppal.htm](http://www.sao.org.co/frames/base_ppal.htm). (consultada en agosto de 2004).
- Toro, J. L. y Cuervo, A.M. 2002. Aves en peligro de extinción en la jurisdicción de Corantioquia. Medellín: Corantioquia. pp 96.
- Williams P.H. 1999. WORLDMAP 4 WINDOWS: Software and help document 4.1. London: Disponible en: <http://www.nhm.ac.uk/science/projects/worldmap>. (consultada en agosto de 2004).
- Wynberg, R. 2002. A decade of biodiversity conservation and use in South Africa: tracking progress from the Rio Earth Summit to the Johannesburg World Summit on Sustainable Development. South African Journal of Science, 98: 233-243.

