

**Informe final\* del Proyecto CE007**  
**Efecto sobre las predicciones de GARP al incluir registros de aves de localidades con climas severos**

**Responsable:** Dr. Rodrigo Antonio Medellín Legorreta

**Institución:** Universidad Nacional Autónoma de México  
Instituto de Ecología  
Departamento de Ecología Funcional y Aplicada  
Laboratorio de Conservación y Manejo de Vertebrados

**Dirección:** Apartado Postal 70-275, Copilco-Universidad, México, DF, 04510 , México

**Correo electrónico:** medellin@miranda.ecologia.unam.mx,  
hgomez@miranda.ecologia.unam.mx

**Teléfono/Fax:** Tel: 5622 9042, 5622 9004

**Fecha de inicio:** Junio 15, 2004

**Fecha de término:** Diciembre 12, 2006

**Principales resultados:** Cartografía, Informe final

**Forma de citar\*\* el informe final y otros resultados:** Gómez de Silva, H. 2007. Efecto sobre las predicciones de GARP al incluir registros de aves de localidades con climas severos. Universidad Nacional Autónoma de México. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. CE007. México D. F.

**Resumen:**

La base de datos del SNIB se ha usado para modelar mapas de distribución de las aves mexicanas empleando el algoritmo GARP -- un algoritmo robusto que usa 1) registros de presencia de especies y, basándose en los registros, 2) parámetros del nicho de las especies (por ejemplo, altura sobre el nivel del mar, insolación, precipitación y temperaturas mensuales y anuales). Dichos mapas son muy útiles para diversos tipos de estudios sobre biodiversidad (por ejemplo, véanse Peterson 2001, Peterson et al. 2001, 2002) y conservación (por ejemplo, la estimación más precisa del "área ocupada", IUCN 1994).

Como todo método de razonamiento basado en casos ("case-based reasoning"), GARP tiene la limitante potencial de que las predicciones son incompletas si las características de los casos no cubren de manera adecuada la totalidad del espacio de soluciones (Kolodner 1993: 544). Si bien en la base de datos del SNIB existen ciertas deficiencias en la cobertura geográfica (Peterson et al. 1998, Navarro et al. 2002), posiblemente más serio para el modelaje GARP sería un sesgo hacia localidades con climas "agradables" (Gómez de Silva obs. pers.), pues el clima es precisamente uno de los factores principales que se emplean para las predicciones basadas en GARP.

El inventario de aves de las 6 localidades de climas extremos (Gómez de Silva & Medellín 2001, 2002) pudieran servir para poner a prueba la magnitud de dicho sesgo (si lo hubiere). La hipótesis nula ("GARP es robusto ante este posible sesgo") pudiera generar dos predicciones. Una predicción sería que las 151 especies registradas en las 6 localidades de climas extremos están predichas en dichas localidades por un modelo GARP basado en la base de datos existente. Una segunda predicción sería que el añadir los registros de las 6 localidades a la base de datos no alterará significativamente las distribuciones de las aves modeladas con GARP. El grado de discordancia de las predicciones hechas con y sin los datos de las 6 localidades indicaría la magnitud de sesgo. Sin embargo, para poner a prueba que el sesgo observado (si hubiere) efectivamente se debe al factor climático, sería necesario comparar dicha discordancia con la que generaría la inclusión de datos de las mismas especies en 6 localidades de climas menos extremos.

---

- 
- \* El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)
  - \*\* El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

Proyecto CE007  
Efecto Sobre las Predicciones de GARP  
de Incluir Registros de Aves  
de Localidades con Climas Severos

Dr. Héctor Gómez de Silva Garza  
Domicilio particular: Xola 314-E, 03100, México, D.F., México  
Teléfono: 55-43-00-28

**Resumen:**

El algoritmo GARP modela la distribución geográfica de las especies usando los parámetros de su nicho (por ejemplo, insolación, precipitación y temperaturas mensuales y anuales de las localidades donde éstas han sido registradas). Como todo método de razonamiento basado en casos (“case-based reasoning”), GARP tiene la limitante potencial de que las predicciones son subestimaciones si las características de las localidades usadas para modelar no representan la totalidad del nicho de las especies.

Se usaron los inventarios de aves de 6 localidades de climas extremos para poner a prueba este posible sesgo. La hipótesis nula (“GARP es robusto ante este posible sesgo”) pudiera generar dos predicciones. Una predicción sería que las especies registradas en las 6 localidades de climas extremos están predichas en dichas localidades por un modelo GARP que no usó dichas localidades. Una segunda predicción sería que el añadir los registros de las 6 localidades a la base de datos no alterará significativamente las distribuciones de las aves modeladas con GARP.

GARP cometió errores en 30% de las predicciones sin datos de localidades extremas. El incluir datos de localidades climáticamente extremas mejoró las predicciones de GARP (“con tratamiento” cometió menos de la mitad de errores de omisión pero aproximadamente el mismo número de errores de comisión que “sin tratamiento”). Al contrario de lo esperado, hubo más errores de omisión y de comisión para las especies registradas en más localidades. La localidad cuyas predicciones mejoraron más por mucho fue la localidad más árida pero fue sorprendente que las predicciones de Batosárachi hayan mejorado más con el tratamiento que las de las otras localidades frías, porque es la menos fría de las tres. Parece haber efecto entre el número de errores y la severidad climática de las localidades pero la relación no es tan simple como se creía. Probablemente hay otros factores que también inciden sobre la eficacia de las predicciones. La localidad que estaba más cercana a localidades de libre acceso del SNIB fue la que menos mejoró. En las predicciones con tratamiento, las especies cuyas predicciones acertaron para toda localidad son especies de zonas áridas que no se encuentran en bosques templados. Esto probablemente refleja el que la base de datos del SNIB incluye una mayor proporción de datos para especies de zonas áridas que de bosques. Las especies en las que hubo errores en las predicciones con tratamiento parecen ser un conjunto aleatorio de las especies; no se observa ningún patrón en cuanto a su estacionalidad, tipo de hábitat o amplitud de distribución. El área ocupada calculada aumentó en las predicciones con tratamiento para la mayoría de las especies; este aumento fue mayor a 25% para el 43% de las especies, pero este aumento no parece estar correlacionado con el número de localidades del tratamiento.

### **Antecedentes:**

El algoritmo GARP ha sido usado para modelar la distribución de las especies de aves mexicanas empleando bases de datos de localidades georreferenciadas. GARP usa los parámetros del nicho de las especies (por ejemplo, insolación, precipitación y temperaturas mensuales y anuales) basándose en los parámetros de las localidades donde éstas han sido registradas. Los modelos de distribución generados por GARP han sido muy útiles para diversos tipos de estudios ecológicos (por ejemplo, véase Peterson 2001, Peterson et al. 2001, 2002). También podrían usarse para estimar con precisión el área ocupada por la especie, parámetro que se considera un indicador importante del riesgo de extinción de la especie (IUCN 1994). Por lo tanto, es importante evaluar qué tan verosímiles son las predicciones de GARP y qué factores influyen.

GARP es un algoritmo genético basado en un enfoque de inteligencia artificial (Stockwell y Noble 1992, Stockwell y Peters 1999) que usa un “razonamiento basado en casos” (“case-based reasoning”)—los casos son las localidades donde se registra la especie en cuestión. Como todo método de razonamiento basado en casos, GARP tiene la limitante potencial de que si “las características de los casos no cubren de manera adecuada la totalidad del espacio de soluciones”, las predicciones no pueden ser más que subestimaciones (“underpredictions”; Kolodner 1993: 544). En otras palabras, si las características de las localidades donde la especie ha sido registrada no representan la totalidad del nicho de la especie.

Si bien se han identificado en la base de datos de distribución de aves de México ciertas deficiencias en la cobertura geográfica (por ejemplo, Campeche y prácticamente todo el Altiplano Mexicano están relativamente pobremente muestreados, Peterson et al. 1998, Navarro et al. 2002) y probablemente hay cierto sesgo hacia localidades accesibles por carretera (cf. Bojórquez-Tapia et al. 1999), posiblemente más serio para el modelaje GARP, dado que el clima es precisamente uno de los factores principales que se emplean para las predicciones, sería un sesgo que desfavorece el trabajo de campo en localidades con climas desagradables para los colectores. No han sido bien muestreadas ornitológicamente las localidades con climas más severos (extremadamente árido, extremadamente frío), debido a las dificultades logísticas de realizar trabajo de campo intensivo en ellas y debido a su avifauna relativamente poco diversa (Gómez de Silva, obs. pers.). Sin embargo, la capacidad de ciertas especies de aves de tolerar tales condiciones climáticas severas (Gómez de Silva 2002, Gómez de Silva & Medellín 2001, 2003) sugiere que los nichos ecológicos, y por tanto las áreas de distribución, de tales especies pueden ser más amplios que los modelados usando la base de datos existente. Sin embargo, es desconocida la magnitud de dicho efecto.

La hipótesis nula (“GARP es robusto ante este posible sesgo”) pudiera generar dos predicciones. Una predicción sería que las especies registradas en las 6 localidades de climas extremos muestreadas por Gómez de Silva están predichas en dichas localidades por un modelo GARP basado en la base de datos existente. Una segunda predicción sería que el añadir los registros de las 6 localidades a la base de datos no alterará significativamente el área ocupada por las aves modeladas con GARP. El grado de discordancia de las predicciones hechas con y sin los datos de las 6 localidades indicaría la magnitud de sesgo.

Es posible que de las 6 localidades, serán las de clima más severo las que más influyen sobre los modelos de distribución generados por GARP. Se esperaría que el desierto más árido o el bosque más frío sean las localidades más influyentes sobre los modelos (las que más mejoren las predicciones).

### **Objetivos particulares:**

1. Evaluar si GARP predice correctamente la presencia de las especies de aves en las 6 localidades con climas extremos, basándose solamente en la base de datos del SNIB, o cuántas localidades de clima extremo es necesario añadir para que los modelos sean capaces de predecir la presencia en las localidades de clima extremo.
2. Evaluar si el “área ocupada” modelada para las especies es significativamente mayor tras añadir los datos de presencia de aves en las 6 localidades extremas.
3. Evaluar si las localidades de climas más severos tienen más efecto sobre los modelos de distribución.

### **Métodos**

#### **OBTENCION DE DATOS**

Las especies de interés son las 151 especies registradas en una o más localidades de clima severo por Gómez de Silva (Gómez de Silva y Medellín 1992, 1993; ver archivo anexo “Extremas.dbf”) Las localidades climáticamente severas son áreas de 1 km<sup>2</sup> en los siguientes sitios: 1. Sierra San Pedro Mártir, Baja California (bosque frío); 2. Sierra de las Pintas, Baja California (desierto); 3. El Bocán, Samalayuca, Chihuahua (desierto); 4. Batosárachi, Chihuahua (bosque frío); 5. Peña Blanca, Querétaro (desierto), y 6. Nevado de Toluca, estado de México (bosque frío). Las condiciones climáticas y el tipo de vegetación se describen en Gómez de Silva (2002, 2003). Se buscaron datos de libre acceso del SNIB para estas especies. Estos fueron proporcionados por la Dra. Patricia Koleff el 1 de septiembre de 2004. De las especies originalmente contempladas, 17 no tenían ningún registro de libre acceso, por lo que no se pudo modelar sus distribuciones con GARP. Tampoco se modelaron a *Empidonax occidentalis* y *Vireo solitarius*, porque los registros incluyen una mezcla de registros de taxa que ya no llevan este nombre y cuyo nicho ecológico es diferente, ni a 22 especies con menos de 8 registros (ver “formato informe final CE007”), dado que es conocido que GARP no puede modelar correctamente con números de registros tan bajos (Jesús Alarcón, comunicación personal). Se modelaron las distribuciones de 111 especies de aves.

#### **OBTENCION DE MODELOS**

Se empleó DesktopGarp versión 1.1.3 para generar modelos de la distribución de cada una de las especies usando 1) un archivo con los datos del SNIB (conjunto de datos “sin tratamiento”) y 2) un archivo con los mismos datos y añadiendo los datos de Gómez de Silva y Medellín (conjunto de datos “con tratamiento”). Se usaron los mismos parámetros (“settings”) y las mismas coberturas para todas las corridas (ver “formato Garp informe final”).

#### **ANALISIS**

Para cada especie, se compararon las predicciones con y sin tratamiento usando ESRI ArcView 3.1 con la Spatial Analyst Extension. Se usaron los datos de presencia/ausencia de especies en las 6 localidades climáticamente extremas para comparar las predicciones de GARP hechas con los dos conjuntos de datos (111 especies x 6 localidades = 666 pruebas para cada conjunto de datos). Se contabilizaron los errores totales (predicción equivocada,

sea por predecir una especie en donde no ocurre o por no predecir una especie en donde sí ocurre), los errores de omisión (no predecir una especie en donde sí ocurre) y errores de comisión (predecir una especie en donde no ocurre).

Para cada localidad, se calculó el porcentaje de especies cuyas predicciones mejoraron, es decir, el porcentaje de las especies que sin tratamiento fueron mal predichas y con tratamiento fueron correctamente predichas, del total de especies (o sea, el porcentaje de errores que se corrigieron con el tratamiento). Para discutir la relación entre las diferentes localidades climáticamente extremas y el número de errores en las predicciones correspondientes, se consideró que las localidades áridas en orden decreciente de aridez son: Las Pintas, Samalayuca, Peña Blanca. Los bosque fríos en orden decreciente de frío son Nevado de Toluca, San Pedro Mártir, Batosárachi.

Para analizar el efecto de las diferentes especies sobre los errores de predicción, se enlistaron las especies con errores de omisión y de comisión y se buscó un patrón en cuanto a estacionalidad (especie migratoria vs. residente), tipo de hábitat (generalista de hábitat, restringida a zonas áridas o restringida a zonas boscosas) y amplitud de distribución (ampliamente distribuidas a lo largo de todo México o restringidas a una parte).

Se estudió el efecto del número de registros de cada especie en el número de errores totales, de omisión y de comisión, así como el efecto del número de registros de localidades climáticamente extremas en la diferencia en área entre las predicciones sin y con tratamiento, mediante correlación de Spearman empleando el programa SigmaStat versión 3.1.

Para determinar si el añadir datos de localidades climáticamente extremas cambió significativamente el área ocupada predicha por GARP de las especies, se calculó el porcentaje en que aumentó el área ocupada (porcentaje que representa la diferencia entre área ocupada con tratamiento y área ocupada sin tratamiento entre el área ocupada sin tratamiento) y su desviación estándar. Se consideró significativo un aumento mayor a 25%. Mediante una regresión lineal se evaluó si hubo correlación entre el porcentaje de aumento de área ocupada y el número de localidades climáticamente extremas en las que la especie estuvo presente.

## **Resultados**

### **NUMERO DE ERRORES**

GARP predijo incorrectamente la presencia o ausencia de especies en 203 (30.5%) predicciones sin tratamiento (6 localidades x 111 especies = 666 pruebas). Hubo un poco más del doble de errores en las predicciones sin tratamiento que con tratamiento (203 pruebas erróneas sin tratamiento vs. 94 pruebas erróneas con tratamiento). Hubo prácticamente el mismo número de errores de comisión que de omisión (145 vs. 152) pero en las predicciones sin tratamiento hubo claramente más errores de omisión (138 vs. 65 errores de comisión) y en las predicciones con tratamiento hubo claramente más errores de comisión (80 vs. 14 errores de omisión).

## EFECTO DE LAS LOCALIDADES

### Errores totales

Para las 6 localidades climáticamente extremas, hubo más errores en las predicciones sin tratamiento que con tratamiento, aunque la proporción de error entre los dos conjuntos de datos fue variable:

Localidad	Número de errores sin tratamiento	Número de errores con tratamiento	Proporción de error (sin / con tratamiento)
Sierra San Pedro Mártir	17	9	1.9
Sierra de las Pintas	32	5	6.4
Samalayuca	29	10	2.9
Batosárachi	41	12	3.4
Peña Blanca	41	36	1.1
Nevado de Toluca	43	22	2

En la tabla anterior, se observa que las localidades cuyas predicciones sin tratamiento tienen mayor número de errores son (en orden decreciente) Nevado de Toluca, Batosárachi/Peña Blanca, Las Pintas, Samalayuca, San Pedro Mártir. Esto sugiere que las localidades con características más diferentes a las de localidades representadas en la base de datos del SNIB fueron el Nevado de Toluca, Peña Blanca y Batosárachi. Es sorprendente que la localidad Peña Blanca está dentro de este grupo, puesto que es la localidad climáticamente extrema que queda más cerca geográficamente a localidades del SNIB. Por otra parte, no sorprende que el Nevado de Toluca encabeza la lista, puesto que no están representadas en la base de datos del SNIB localidades arriba de 3500 metros sobre el nivel del mar y porque ésta es la localidad más fría de las 6 localidades climáticamente extremas. La localidad cuyas predicciones mejoraron más con el tratamiento fue por mucho Las Pintas, seguida por (en orden decreciente) Batosárachi, Samalayuca, Nevado de Toluca, San Pedro Mártir, Peña Blanca. Las Pintas es la localidad más árida (tanto por ser más caliente que por ser más seca) de las 6 localidades climáticamente extremas. Sorprende que las predicciones de Batosárachi hayan mejorado más con el tratamiento que las de las otras localidades frías, porque es la menos fría de las tres. No sorprende que Peña Blanca sea la que menos mejoró, por lo mismo que existen varias localidades en los datos del SNIB que están muy cercanos a esta localidad.

Nótese que las localidades que tuvieron menor error tras el tratamiento no tienen el mismo orden que aquellas cuyas predicciones mejoraron más con el tratamiento (en orden decreciente Peña Blanca, Nevado de Toluca, Batosárachi, Samalayuca, San Pedro Mártir y Sierra de las Pintas). Esto se debe a que la mejoría estaba acotada al número de errores en las predicciones sin tratamiento.

En conclusión, sí parece haber cierto efecto entre el número de errores y la severidad climática de las localidades pero la relación no es tan simple como se creía. Probablemente hay otros factores que también inciden sobre la eficacia de las predicciones.

No fue significativa la correlación entre el número de localidades donde se registró la especie y el número de errores para las predicciones sin tratamiento (Coeficiente de correlación de Spearman: 0.171;  $P = 0.0729$ ) pero sí fue significativa la correlación para las

predicciones con tratamiento (Coeficiente de correlación de Spearman: 0.469;  $P < 0.001$ ). Al contrario de lo esperado, hubo más errores para las especies registradas en más localidades.

#### Errores de omisión

La siguiente tabla muestra los errores de omisión en las diferentes localidades, considerando para cada localidad sólo las especies presentes allí:

Localidad	Con errores de omisión en ambas predicciones	Omisión sólo en las predicciones sin tratamiento	Omisión sólo en las predicciones con tratamiento	Sin errores de omisión en ninguna de las predicciones	Porcentaje de especies que mejoraron
San Pedro Mártir	0	14	0	3	82.4
Las Pintas	1	26	1	10	68.4
Samalayuca	0	23	0	16	59
Batosárachi	2	30	0	9	73.2
Peña Blanca	6	7	0	33	15.6
Nevado de Toluca	2	28	1	5	77.8

Hubo muy pocos casos en los que hubo error de omisión en las predicciones con tratamiento (lo cual tiene sentido dado que todas las predicciones de GARP se hicieron con el parámetro de “Omisión” en 0%; lo extraño es que sí se hayan dado casos de omisión). Para 5 localidades hubo un gran número de casos en que se dieron errores de omisión sólo en las predicciones sin tratamiento (las predicciones de 59 a 82% de las especies mejoraron con el tratamiento) pero en Peña Blanca la mejora fue relativamente poca (15.6%) ya que hubo una predominancia de especies para las que no hubo errores de omisión ni sin tratamiento ni con tratamiento. Es probable que esto se deba a que existían en el SNIB registros de varias localidades muy cercanas a Peña Blanca.

Es evidente que las predicciones mejoraron más en las localidades frías que en las áridas, lo cual pudiera deberse a un predominio de registros de localidades áridas en los datos consultados del SNIB.

Para dos localidades (San Pedro Mártir y Samalayuca) no hubo error de omisión en las predicciones con tratamiento para ninguna especie.

Las predicciones sin tratamiento de todas las localidades climáticamente extremas tuvieron mayor número de errores de omisión que las predicciones con tratamiento de todas; en orden descendente de número de errores: Batosárachi(sin), Nevado de Toluca(sin), Las Pintas(sin), Samalayuca(sin), San Pedro Mártir(sin), Peña Blanca(sin), Peña Blanca(con), Nevado de Toluca(con), Batosárachi(con)/Las Pintas(con), Samalayuca(con)/San Pedro Mártir(con).

El único error de omisión en alguna localidad para una especie no presente en dicha localidad fue en Peña Blanca con la especie *Selasphorus platycercus* (error en la predicción con tratamiento).

La conclusión más evidente de esta tabla es que sin incluir localidades climáticamente extremas, GARP comete errores de omisión en las localidades climáticamente extremas, la

gran mayoría de los cuales no se cometen cuando se incluye información de las localidades climáticamente extremas.

No fue significativa la correlación entre el número de localidades donde se registró la especie y el número de errores de omisión para las predicciones sin tratamiento (Coeficiente de correlación de Spearman: -0.152; P = 0.112) pero sí fue significativa la correlación para las predicciones con tratamiento (Coeficiente de correlación de Spearman: 0.235; P=0.0133). Al igual que para errores totales y al contrario de lo esperado, hubo más errores para las especies registradas en más localidades.

#### Errores de comisión

La siguiente tabla muestra los errores de comisión para cada localidad que corresponden a las especies presentes allí:

Localidad	Con errores de comisión en ambas predicciones	Comisión sólo en las predicciones sin tratamiento	Comisión sólo en las predicciones con tratamiento	Sin errores de comisión en ambas predicciones
San Pedro Mártir	0	1	0	17
Las Pintas	0	2	0	36
Samalayuca	0	0	0	39
Batosárachi	0	0	0	40
Peña Blanca	0	0	0	46
Nevado de Toluca	0	0	0	35

Hay muy pocos errores de comisión. En contraste, si se consideran para cada localidad a las especies no presentes allí, es mucho mayor el número de errores de comisión, y son considerablemente más para Peña Blanca y Nevado de Toluca, como muestra la siguiente tabla:

Localidad	Con errores de comisión en ambas predicciones	Comisión sólo en las predicciones sin tratamiento	Comisión sólo en las predicciones con tratamiento	Sin errores de comisión en ambas predicciones
San Pedro Mártir	2	0	7	84
Las Pintas	1	2	2	68
Samalayuca	5	1	5	60
Batosárachi	6	3	4	58
Peña Blanca	24	4	5	32
Nevado de Toluca	12	2	7	55

La conclusión más evidente de estas tablas es que GARP comete un número similar de errores de comisión con y sin datos de localidades climáticamente extremas ( predice especies en donde no ocurren).

Fue significativa la correlación entre el número de localidades donde se registró la especie y el número de errores de omisión tanto para las predicciones sin tratamiento (Coeficiente de correlación de Spearman: 0.391;  $P < 0.001$ ) como para las predicciones con tratamiento (Coeficiente de correlación de Spearman: 0.435;  $P < 0.001$ ). Al igual que para errores totales y de omisión, y al contrario de lo esperado, hubo más errores para las especies registradas en más localidades.

### EFECTO DE LAS ESPECIES

Con los datos sin tratamiento, hubo 10 especies (9%) cuyas predicciones acertaron en todas las pruebas, mientras que con tratamiento casi la mitad de las especies (54 de 111 especies) acertaron en todas las pruebas. La mayoría de las 10 especies sin errores en las predicciones sin tratamiento tampoco tuvieron errores con tratamiento, como es de esperarse en vista de que el tratamiento tiende a mejorar las predicciones, pero 3 de ellas (30%) tuvieron errores con tratamiento. A continuación, se enlistan estas 10 especies, señalando con asterisco las que sí tuvieron errores con tratamiento: *Amazilia violiceps*, *Archilochus colubris*, *Auriparus flaviceps*, *Cardinalis cardinalis*\*, *Columbina passerina*\*, *Cyananthus latirostris*, *Geococcyx californianus*, *Myiarchus cinerascens*, *Passerina versicolor*\*, *Sayornis saya*. Las 10 son especies de zonas áridas que no se encuentran en bosques templados. Esto es significativo porque el patrón se da a pesar de que el 62% de las especies son ya sea generalistas de hábitat o exclusivas de bosque templado (38.7% son tanto de zonas áridas como bosques templados y el 23.3% adicional son únicamente de bosques). Esto probablemente refleja el que la base de datos del SNIB incluye una mayor proporción de datos para especies de zonas áridas que de bosques.

Para la mayoría de las especies (100 de las 111 especies), hubo más errores en las predicciones sin tratamiento que en las predicciones con tratamiento, lo cual concuerda con la idea de que las predicciones tienden a mejorar al incluir localidades climáticamente extremas. Para tratar de entender si hay algún patrón que hace que haya predicciones equivocadas aún con el tratamiento para ciertas especies, es importante saber cuáles especies son y si tienen algo en común. Las especies en que hubo más errores con tratamiento que sin tratamiento son *Stelgidopteryx serripennis*, *Passerina versicolor*\*, *Melospiza lincolni*, *Hirundo rustica*, *Dendroica petechia*, *Dendroica coronata*, *Chordeiles acutipennis*, *Coragyps atratus*, *Columbina passerina*\*, *Columbina inca* y *Cardinalis cardinalis*\*. Esta lista incluye tanto a especies residentes como a especies migratorias y tanto a especies de zonas áridas como especies generalistas de hábitat (ninguna es exclusiva de bosques templados); pero el patrón claro es que todas son especies ampliamente distribuidas geográficamente en México (se encuentran, dentro del hábitat adecuado, a lo largo de todo el país, de norte a sur).

Las especies en las que hubo errores de omisión con el tratamiento son *Calypte costae*, *Columbina inca*, *Coragyps atratus*, *Dendroica coronata*, *Hylocharis leucotis*, *Melospiza lincolni*, *Vireo huttoni* y *Zenaida asiatica*. Entre estas también hay especies residentes y migratorias. En cuanto a tipo de hábitat hay de zonas áridas, generalistas de hábitat, y de bosques templados. Siete (el 87.5%) son ampliamente distribuidas pero una está restringida al noroeste de México.

Las especies en las que hubo errores de comisión con el tratamiento son más numerosas: *Accipiter striatus* (2), *Athene cunicularia*, *Buteo albonotatus*, *Carduelis psaltria* (2), *Cardinalis cardinalis*, *Carpodacus mexicanus* (2), *Cathartes aura*, *Catharus ustulatus*, *Chondestes grammacus*, *Chordeiles acutipennis* (3), *Circus cyaneus*, *Columbina inca* (2), *Columbina passerina* (2), *Contopus pertinax*, *Contopus sordidulus*, *Coragyps atratus* (2), *Corvus corax* (2), *Dendroica coronata* (3), *Dendroica occidentalis*, *Dendroica petechia* (3), *Dendroica townsendi*, *Empidonax hammondi* (2), *Empidonax minimus*, *Falco sparverius* (2), *Guiraca caerulea* (2), *Hirundo rustica* (4), *Hylocharis leucotis*, *Melospiza lincolni* (3), *Oporornis tolmiei*, *Passer domesticus* (3), *Passerculus sandwichensis*, *Passerina versicolor*, *Petrochelidon pyrrhonota*, *Pheucticus melanocephalus* (3), *Picoides scalaris*, *Picoides villosus*, *Piranga ludoviciana*, *Psaltriparus minimus*, *Regulus calendula*, *Spizella pallida*, *Spizella passerina* (3), *Stelgidopteryx serripennis*, *Tachycineta thalassina*, *Toxostoma curvirostre*, *Turdus migratorius* (2), *Vireo gilvus*, *Wilsonia pusilla* (3), *Zenaida asiatica* y *Zonotrichia leucophrys* (2). Entre estas también hay especies residentes y migratorias; en cuanto a tipo de hábitat tanto de zonas áridas, como generalistas de hábitat, y de bosques templados; y en cuanto a distribución, tanto ampliamente distribuidas como de distribución restringida.

Las especies en las que hubo tanto errores de omisión como errores de comisión con el tratamiento son *Columbina inca*, *Coragyps atratus*, *Dendroica coronata*, *Hylocharis leucotis*, *Melospiza lincolni* y *Zenaida asiatica*. No se observa patrón en cuanto a su estacionalidad, tipo de hábitat o amplitud de distribución.

#### PREDICCIÓN DEL ÁREA OCUPADA

El área ocupada calculada aumentó en las predicciones con tratamiento (promedio de aumento 78%, desviación estándar 355.9, promedio quitando las dos especies con valores extremos 32.3%, desviación estándar sin las dos especies con valores extremos 45.6). Para 48 especies (43%) el aumento de área ocupada fue mayor a 25%. Para 20 especies (18%) el área ocupada disminuyó, aunque en 16 (80% de aquellas en que disminuyó) la disminución fue menor a 11%.

Las especies con valores extremos fueron *Oreoscoptes montanus* (porcentaje de aumento 1827.5%) y *Athene cunicularia* (porcentaje de aumento 3305.4%).

No hay evidencia de que este aumento del área ocupada esté significativamente correlacionado con el número de localidades climáticamente extremas que se usaron para calcular la predicción con tratamiento ( $\log_{10}(\text{aumento}) = 1.441 - (0.268 * \log_{10}(\text{número de localidades extremas}))$ ;  $P=0.365$ ;  $r^2 = 0.00923$ ; sin embargo el poder estadístico fue bajo 0.46, por lo que sólo se puede concluir que “no hay evidencia de correlación” y no que “hay evidencia de que no hay correlación”).

#### Conclusiones

- GARP cometió errores en 30% de las predicciones sin datos de localidades extremas.
- El incluir datos de localidades climáticamente extremas mejoró las predicciones de GARP (“con tratamiento” cometió 10 veces menos errores de omisión y un poco más de 2/3 de los errores de comisión que “sin tratamiento”). Específicamente, en las predicciones sin tratamiento hubo claramente más errores de omisión (138 vs. 65

errores de comisión) y en las predicciones con tratamiento hubo claramente más errores de comisión (80 vs. 14 errores de omisión).

- La localidad cuyas predicciones mejoraron más por mucho fue la localidad más árida pero fue sorprendente que las predicciones de Batosárachi hayan mejorado más con el tratamiento que las de las otras localidades frías, porque es la menos fría de las tres.
- Parece haber efecto entre el número de errores y la severidad climática de las localidades pero la relación no es tan simple como se creía. Probablemente hay otros factores que también inciden sobre la eficacia de las predicciones.
- La localidad que estaba más cercana a localidades de libre acceso del SNIB fue la que mejoró menos con el tratamiento.
- Hubo muy pocos errores de omisión en las predicciones con tratamiento (lo cual tiene sentido dado que todas las predicciones de GARP se hicieron con el parámetro de “Omisión” en 0%).
- Para dos localidades (San Pedro Mártir y Samalayuca) no hubo error de omisión en las predicciones con tratamiento para ninguna especie.
- en las predicciones con tratamiento, las especies cuyas predicciones acertaron para toda localidad son especies de zonas áridas que no se encuentran en bosques templados. Esto probablemente refleja el que la base de datos del SNIB incluye una mayor proporción de datos para especies de zonas áridas que de bosques.
- Las especies en las que hubo errores en las predicciones con tratamiento parecen ser un conjunto aleatorio de las especies; no se observa ningún patrón en cuanto a su estacionalidad, tipo de hábitat o amplitud de distribución.
- El área ocupada calculada aumentó en más de 25% en las predicciones con tratamiento para el 43% de las especies pero este aumento no parece estar correlacionado con el número de localidades del tratamiento.
- Al contrario de lo esperado, hubo más errores de omisión y de comisión para las especies registradas en más localidades

## LITERATURA CITADA

- Anderson, R.P., D. Lew y A. T. Peterson. 2003. Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162: 211-232.
- Bojórquez-Tapia, L.A., P. Balvanera y A. Cuarón. 1994. Biological inventories and computer data bases: their role in environmental assessments. *Environmental Management* 18: 775-785.
- Gómez de Silva, H. 2002. Elevational and winter records of birds on two Mexican mountains. *Ornitología Neotropical* 13: 197-201.
- Gómez de Silva, H. y R.A. Medellín. 2001. Evaluating completeness of species lists for conservation and macroecology: case-study of Mexican land birds. *Conservation Biology* 15: 1384-1395.
- Gómez de Silva, H. y R.A. Medellín. 2002. Are landbird assemblages functionally saturated?: an empirical test in Mexico. *Oikos* 96: 169-181.
- IUCN. 1994. IUCN Red List categories, as approved by the 40th meeting of the IUCN Council. IUCN- The World Conservation Union. Gland, Suiza.
- Kolodner, J. 1993. Case-based reasoning. Morgan Kaufman Publishers, Inc. San Mateo, California.
- Navarro, A.G., A. T. Peterson y A. Gordillo-Martinez (2002). Museums working together: the atlas of Mexican birds. In: Prys-Jones, R. & N. Collar (eds.) *Avian archives in an age of extinction*. Bulletin of the British Ornithologists' Club.
- Peterson, A. T. 2001. Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modeling. *Condor* 103, 599–605.
- Peterson, A. T. et al. 2001. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecol. Model.* 144, 21–30.
- Peterson, A. T., A. G. Navarro-Sigüenza y H. Benítez-Díaz. 1998. The need for continued scientific collecting: A geographic analysis of Mexican bird specimens. *Ibis* 140, 288–294.
- Peterson, A.T., M.A. Ortega-Huerta, J. Bartley, V. Sánchez-Cordero, J. Soberón, R.H. Buddemeier y D.R.B. Stockwell. 2002. Future projections for Mexican faunas under future climate change scenarios. *Nature* 416: 626-629.
- Stockwell, D.R.B. e I.R. Noble. 1992. Induction of sets of rules for animal distribution data: a robust and informative method of data analysis. *Mathematics and Computers in Simulation* 33: 385-390.
- Stockwell, D.R.B. y D. Peters. 1999. The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographic Information Science* 13: 143-158.

“Formato Informe Final CE007”

**Información general:**

***Título del proyecto: Efecto sobre las predicciones de GARP al incluir registros de aves de localidades con climas severos***

Fecha de inicio: junio 2004

Fecha de término: enero de 2006

Tema: Predicciones de GARP con y sin localidades de climas severos

Descripción del proyecto:

Evaluar el efecto sobre las predicciones de GARP al incluir localidades con climas severos

Porcentaje de avance: **100%**

**Información del Solicitante**

Nombre del solicitante:

Asunto:

Analistas asignados:

Ruta de asignación:

**Información sobre las especies y el origen de los datos**

Especies con mas de 8 registros, sin duplicados y dentro del territorio nacional.

***Especies involucradas (111) y número de localidades registradas para cada una:***

ESPECIE	LOCALIDADES
<i>Accipiter striatus</i>	16
<i>Aeronautes saxatalis</i>	12
<i>Aimophila ruficeps</i>	8
<i>Amazilia violiceps</i>	16
<i>Amphispiza bilineata</i>	32
<i>Archilochus colubris</i>	20
<i>Athene cunicularia</i>	8
<i>Auriparus flaviceps</i>	32

<i>Bubo virginianus</i>	14
<i>Buteo albonotatus</i>	20
<i>Buteo jamaicensis</i>	59
<i>Buteo swainsoni</i>	10
<i>Calamospiza melanocorys</i>	13
<i>Calypte costae</i>	17
<i>Callipepla squamata</i>	21
<i>Campostoma imberbe</i>	44
<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>	28
<i>Caprimulgus vociferus (=arizonae)</i>	20
<i>Cardinalis cardinalis</i>	45
<i>Cardinalis sinuatus</i>	20
<i>Carduelis pinus</i>	17
<i>Carduelis psaltria</i>	71
<i>Carpodacus mexicanus</i>	109
<i>Cathartes aura</i>	150
<i>Catharus guttatus</i>	14
<i>Catharus occidentalis</i>	29
<i>Catharus ustulatus</i>	23
<i>Catherpes mexicanus</i>	52
<i>Certhia americana</i>	11
<i>Circus cyaneus</i>	13
<i>Colibri thalassinus</i>	15
<i>Columbina inca</i>	88
<i>Columbina passerina</i>	46
<i>Contopus pertinax</i>	41
<i>Contopus sordidulus</i>	19
<i>Coragyps atratus</i>	92
<i>Corvus corax</i>	99
<i>Corvus cryptoleucus</i>	17
<i>Cyananthus latirostris</i>	47
<i>Chondestes grammacus</i>	41
<i>Chordeiles acutipennis</i>	33
<i>Dendroica coronata</i>	70
<i>Dendroica graciae</i>	11
<i>Dendroica occidentalis</i>	15
<i>Dendroica petechia</i>	68
<i>Dendroica townsendi</i>	30
<i>Diglossa baritula</i>	11
<i>Empidonax affinis</i>	9
<i>Empidonax hammondi</i>	13
<i>Empidonax minimus</i>	57

<i>Empidonax wrightii</i>	15
<i>Ergaticus ruber</i>	26
<i>Falco columbarius</i>	10
<i>Falco peregrinus</i>	12
<i>Falco sparverius</i>	72
<i>Geococcyx californianus</i>	22
<i>Guiraca caerulea</i>	49
<i>Hirundo rustica</i>	105
<i>Hylocharis leucotis</i>	46
<i>Icterus parisorum</i>	18
<i>Junco phaeonotus</i>	29
<i>Lampornis clemenciae</i>	8
<i>Lanius ludovicianus</i>	83
<i>Loxia curvirostra</i>	8
<i>Melospiza lincolni</i>	31
<i>Mimus polyglottos</i>	59
<i>Myiarchus cinerascens</i>	50
<i>Myioborus miniatus</i>	34
<i>Myioborus pictus</i>	18
<i>Oporornis tolmiei</i>	35
<i>Oreoscoptes montanus</i>	8
<i>Oriturus superciliosus</i>	12
<i>Otus trichopsis</i>	8
<i>Parula superciliosa</i>	22
<i>Passer domesticus</i>	62
<i>Passerculus sandwichensis</i>	14
<i>Passerina versicolor</i>	22
<i>Petrochelidon pyrrhonota</i>	27
<i>Peucedramus taeniatus</i>	16
<i>Phainopepla nitens</i>	12
<i>Pheucticus melanocephalus</i>	56
<i>Picoides scalaris</i>	76
<i>Picoides villosus</i>	23
<i>Piranga flava</i>	38
<i>Piranga ludoviciana</i>	19
<i>Polioptila caerulea</i>	116
<i>Psaltriparus minimus</i>	24
<i>Regulus calendula</i>	27
<i>Salpinctes obsoletus</i>	20
<i>Sayornis saya</i>	44
<i>Selasphorus platycercus</i>	14
<i>Sialia mexicana</i>	10

<i>Sitta carolinensis</i>	15
<i>Spizella breweri</i>	11
<i>Spizella pallida</i>	11
<i>Spizella passerina</i>	41
<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	77
<i>Tachycineta thalassina</i>	26
<i>Thryomanes bewickii</i>	48
<i>Toxostoma curvirostre</i>	55
<i>Troglodytes aedon</i>	55
<i>Turdus migratorius</i>	35
<i>Tyto alba</i>	11
<i>Vermivora celata</i>	23
<i>Vermivora ruficapilla</i>	28
<i>Vireo gilvus</i>	25
<i>Vireo huttoni</i>	23
<i>Wilsonia pusilla</i>	66
<i>Zenaida asiatica</i>	81
<i>Zenaida macroura</i>	42
<i>Zonotrichia leucophrys</i>	10

**Especies que no fueron incluidas en los GARPs por tener muy pocos de puntos de colección (22)**

<i>Accipiter cooperii</i>	4
<i>Callipepla gambelii</i>	3
<i>Cardellina rubrifrons</i>	5
<i>Carpodacus cassinii</i>	1
<i>Coccothraustes vespertinus</i>	1
<i>Contopus cooperi</i>	7
<i>Cyanocitta stelleri</i>	7
<i>Cypseloides niger</i>	5
<i>Chordeiles minor</i>	7
<i>Dendroica nigrescens</i>	7
<i>Glaucidium gnoma</i>	6
<i>Junco hyemalis</i>	5
<i>Micrathene whitneyi</i>	1
<i>Phalaenoptilus nuttallii</i>	4
<i>Picoides stricklandi</i>	7
<i>Pipilo chlorurus</i>	7
<i>Poecile sclateri</i>	7
<i>Selasphorus rufus</i>	5
<i>Sitta pygmaea</i>	4
<i>Sphyrapicus nuchalis</i>	2

<i>Toxostoma crissale</i>	3
<i>Tyrannus verticalis</i>	6

**Especies que no se modelaron porque existe una confusión taxonómica en los datos**

<i>Empidonax difficilis</i>	38
<i>Vireo plumbeus</i>	30

**Especies que no fueron incluidas en los GARPs por falta de datos de libre acceso en el SNIB**

<i>Amphispiza belli</i>
<i>Aphelocoma californica</i>
<i>Calypte anna</i>
<i>Carduelis lawrencei</i>
<i>Chamaea fasciata</i>
<i>Colaptes auratus</i>
<i>Euptilotis neoxenus</i>
<i>Gymnorhinus cyanocephalus</i>
<i>Icterus bullocki</i>
<i>Myadestes townsendi</i>
<i>Nucifraga columbiana</i>
<i>Oreortyx pictus</i>
<i>Otus kennicottii</i>
<i>Pipilo maculatus</i>
<i>Poecile gambeli</i>
<i>Polioptila melanura</i>
<i>Sphyrapicus thyroideus</i>

***Proyectos involucrados :***

Proyectos						
B010	BO43	B114	B144	C004	C024	H027
H028	H160	H291	H324	L018	L121	P025
P028	P060	R196				

***Procedencia de los datos:*** SNIB Conabio. Los registros de localidades con climas severos provienen de Gómez de Silva (2001). Reglas de ensamble generales en las comunidades de aves. Tesis de doctorado. Instituto de Ecología, UNAM.

***Validación:***

Georreferencia: los datos del SNIB están georreferidos de origen.

**Información de la cartografía digital anexa**

Parámetros de la proyección: geográfica

Resolución: aprox. 1 km<sup>2</sup>

Formato Arc/Info Grids

Sistema operativo: Windows XP. Quemado con el Exporador de Windows.

### **Información de las coberturas**

#### **a) WORLDCLIM**

*Resolución 30 segundos de grado*

Las siguientes son las variables empleadas:

AMEXBIO1 = Temperatura Media Anual

AMEXBIO2 = Variación Diurna promedio (media mensual de la temp max – temp min)

AMEXBIO3 = Isotermalidad (P2/P7) (\* 100)

AMEXBIO4 = Estacionalidad de la Temperatura (desviación estándar \*100)

AMEXBIO5 = Temperatura Max del Mes más Caliente

AMEXBIO6 = Min del Mes más Frío

AMEXBIO7 = Varición Anual de Temperatura (P5-P6)

AMEXBIO8 = Temperatura Media del Trimestre más Húmedo

AMEXBIO9 = Temperatura Media del Trimestre más Seco

AMEXBIO10 = Temperatura Media del Trimestre más Caliente

AMEXBIO11 = Temperatura Mediadel Trimestre más Frío

AMEXBIO12 = Precipitación Anual

AMEXBIO13 = Precipitación del Mes más Lluvioso

AMEXBIO14 = Precipitación del Mes más Seco

AMEXBIO15 = Precipitación Estacionalidad (Coeficiente de Variación)

AMEXBIO16 = Precipitación del Trimestre más Húmedo

AMEXBIO17 = Precipitación del Trimestre más Seco

AMEXBIO18 = Precipitación del Trimestre más Caliente

AMEXBIO19 = Precipitación del Trimestre más Frío

#### **b) Hydro 1K**

*Resolución 30 segundos de grado*

Las siguientes son las variables empleadas:

h aspect = La dirección del cambio de elevación máximo entre cada celda y sus 8 vecinas

h dem = Modelo digital del terreno corregido hidrológicamente

h slope = La diferencia máxima en elevación entre una celda y sus 8 vecinas.

h topind = El índice topográfico compuesto.

#### **c) Edafología**

*Escala 1:1 000 000*

INIFAP -- CONABIO, 1995. “Mapa edafológico”. Escalas 1:250 000 y 1:1 000 000.

México. Proyección Cónica Conforme de Lambert.

Bajado de la página de la Conabio.

### **Información del garp:**

Runs= **(50)**

Coverage Limit=**(0.001)**

Max Iterations = **(3000)**

Rule types:

Atomic	X
Range	X
Negated range	X
Logistic regression	X

Options:

Use **(50)** % for training  
at least **(20)** training points

Best Subset = **(Active)**

Omission measure = **(Intrinsic)**

Omission threshold = **(Hard)**

Omission % = **(0)**

Total models = **(50)**

Comission threshold % = **(10)**

How layer will be used

**(All selected layers)**

(véase en el Apéndice una muestra de la pantalla de un archivo gxl usado para correr los GARPs).

### **Criterios de evaluación del modelo:**

Suma de los Best Subsets

### **Delimitación del modelo resultante:**

Se usó una de dos máscaras para delimitar la predicción de las siguientes especies:

#### **Máscara “al norte de la Cuenca del Balsas”**

generada a partir del mapa bajado de la página de la Conabio: Ferrusquía-Villafranca, I. (1990). "Provincias Bióticas (con énfasis en criterios morfotectónicos)" en Regionalización Biogeográfica, IV.8.10. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escal 1. 4 000 000. Instituto de Geografía, UNAM. México. *Amphispiza bilineata*, *Athene cunicularia*, *Buteo swainsoni*, *Calamospiza melanocorys*, *Calypte costae*, *Callipepla squamata*, *Campylorhynchus brunneicapillus*, *Cardinalis sinuatus*, *Corvus cryptoleucus*, *Geococcyx californianus*, *Oreoscoptes montanus*, *Sialia mexicana*, *Spizella breweri* y *Zonotrichia leucophrys*.

### **Máscara “al oeste del Istmo de Tehuantepec”**

generada a partir del mapa bajado de la página de la Conabio: Ferrusquía-Villafranca, I. (1990). "Provincias Bióticas (con énfasis en criterios morfotectónicos)" en Regionalización Biogeográfica, IV.8.10. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1: 4 000 000. Instituto de Geografía, UNAM. México.

*Aimophila ruficeps, Amazilia violiceps, Catharus occidentalis, Cynanthus latirostris, Chondestes grammacus, Empidonax wrighti, Ergaticus ruber, Icterus parisorum, Lampornis clemenciae, Lanius ludovicianus, Mimus polyglottos, Oriturus superciliosus, Phainopepla nitens, Pheucticus melanocephalus, Sayornis saya, Sitta carolinensis, Spizella pallida, Thryomanes bewicki, Toxostoma curvirostre y Turdus migratorius.*

### **Comentarios y observaciones:**

En el CD que se entrega adjunto, se encuentran

- dos archivos con terminación dbf, correspondientes a las localidades de registro de las especies del SNIB y las de Gómez de Silva.
- 3 grids y 3 archivos de Word para cada especie (333 grids y 333 archivos de Word). Los archivos de Word son archivos de metadatos y tienen el mismo nombre que el grid correspondiente. Sus nombres se basan en el nombre científico de la especie en forma abreviado (casi siempre, las 3 letras iniciales del género, un guión, y las dos letras iniciales del nombre específico). Los archivos cuyos nombres tienen un sufijo “-s” son las predicciones de GARP sin tratamiento, los terminados en “-c” son los correspondientes a los modelos con tratamiento, y los que no tienen sufijo corresponden al área donde coincidieron los modelos sin tratamiento y con tratamiento para cada especie.

## APÉNDICE. Muestra de un gxl empleado para correr los GARPs

