Introducción al Modelado de Nichos Ecológicos y Distribuciones de Especies

Enrique Martínez Meyer

Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México

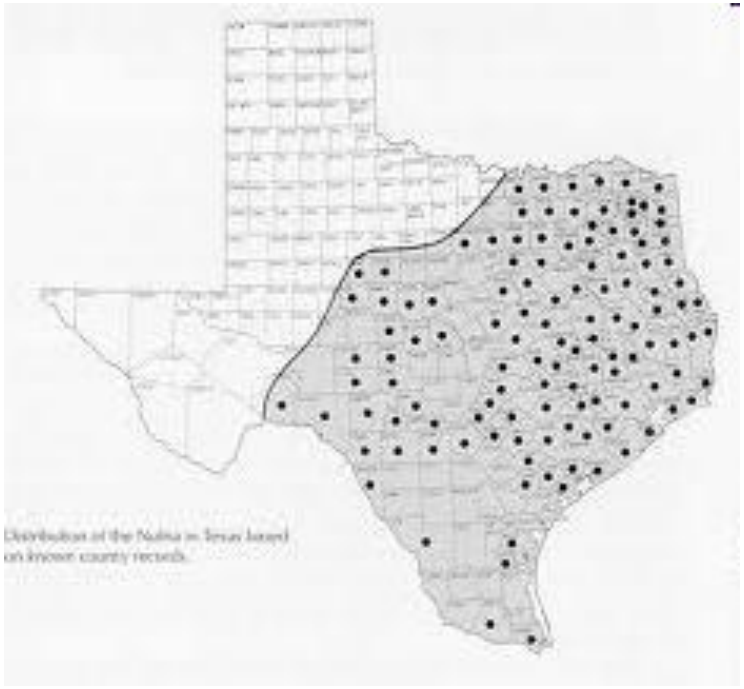
¿Qué es la distribución geográfica de una especie?

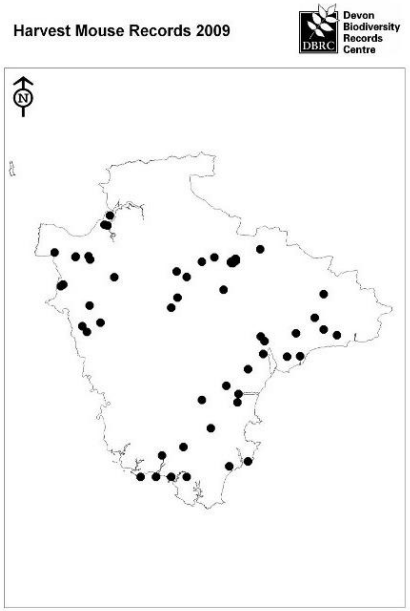
En la definición más simple, es su arreglo espacial en el planeta. Es la descripción geográfica de donde vive.

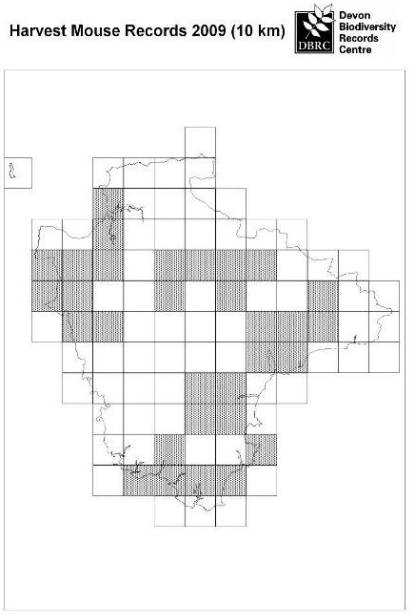
La distribución de las especies se infiere a través de los registros colectados desde hace siglos en las exploraciones biológicas

Representación de la distribución de las especies

Tradicionalmente, la distribución de las especies se ha representado de manera cartográfica a partir de los puntos georreferenciados sobre mapas

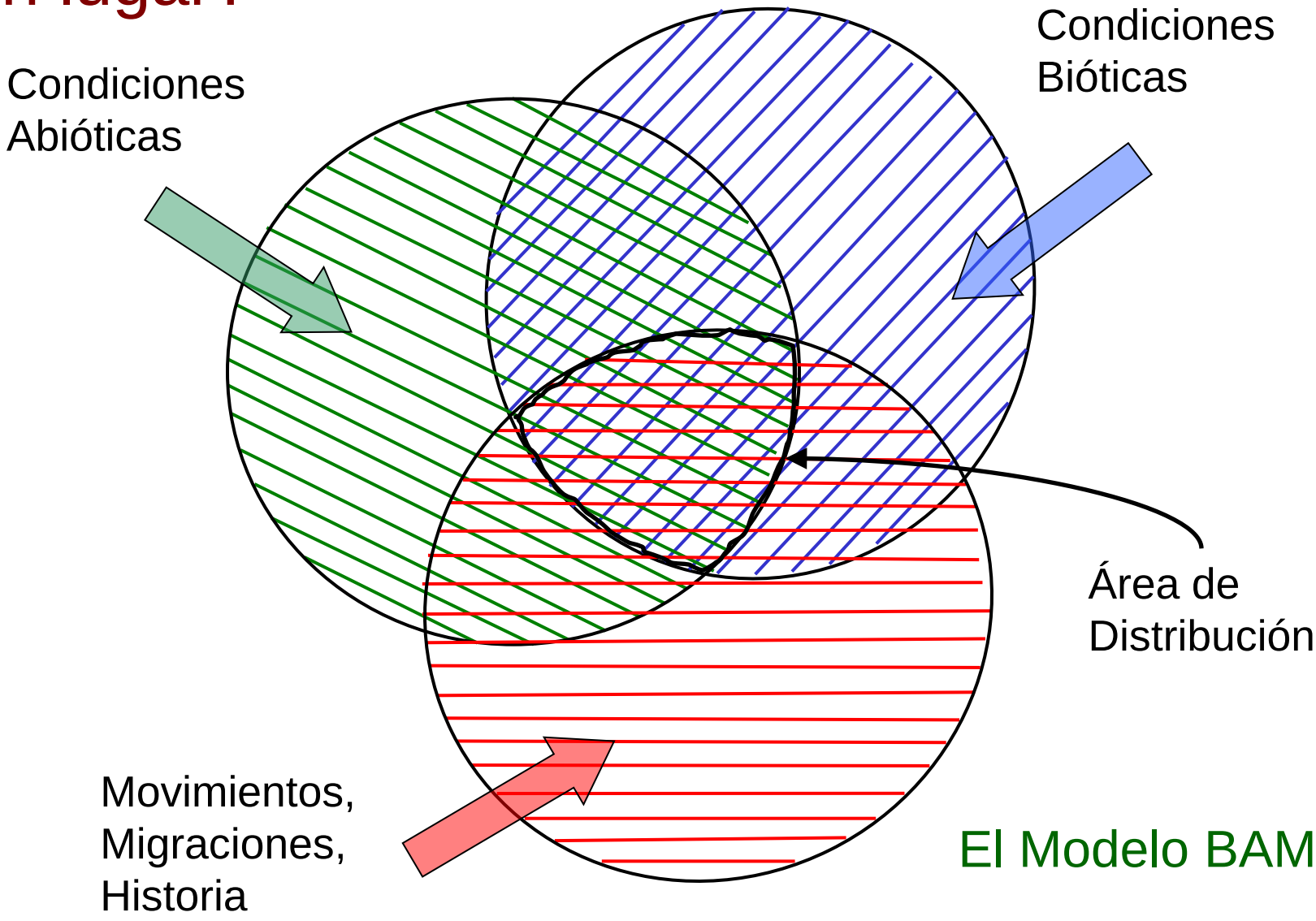






Sin considerar los factores locales que la determinan

¿Qué determina la presencia de una especie en un lugar?

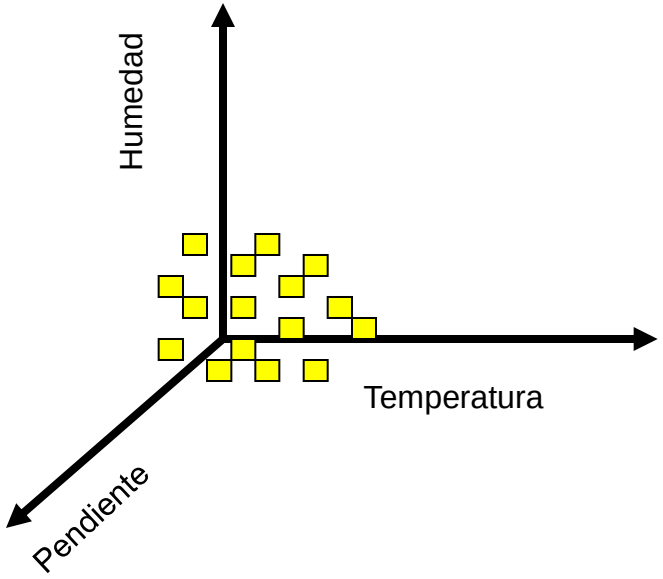


El Modelo BAM

Soberón y Peterson 2005. *Biodiv Inf* 2: 1-14

El concepto de nicho ecológico según Hutchinson

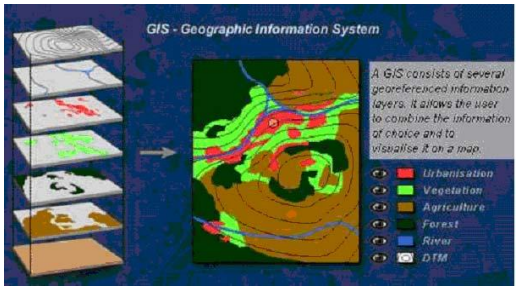
El hipervolumen *n*-dimensional en el que cada punto corresponde a un estado del ambiente que permite a las poblaciones de una especie existir indefinidamente

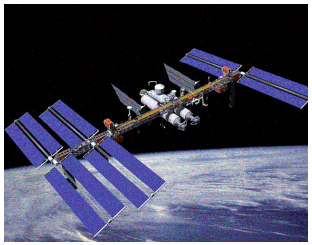


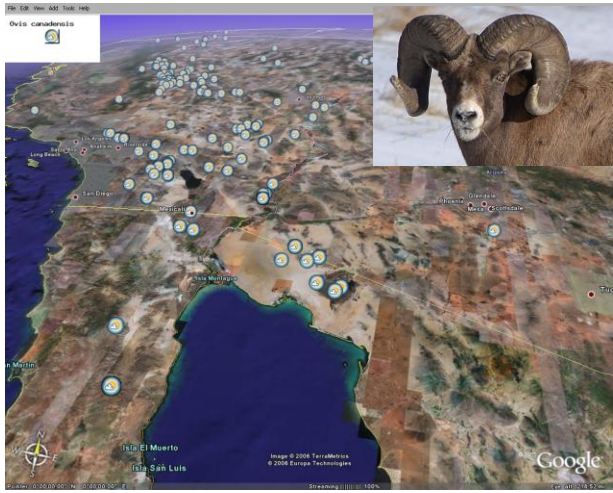
O sea:

El conjunto de condiciones ambientales (biótico y abiótico) bajo las cuales las poblaciones de una especie pueden sobrevivir indefinidamente sin la necesidad de inmigración

Las nuevas tecnologías y disciplinas emergentes, como la *Informática de la Biodiversidad*, han impulsado el desarrollo de enfoques metodológicos que permiten generar información útil a partir de datos incompletos; como el caso del modelado de los nichos ecológicos y distribuciones geográficas







Con los modelos de nicho ecológico se han generado cientos o quizás miles de investigaciones en los últimos 10 años

Regionalization of the avifauna of the Baja California Peninsula, Mexico: a parsimony analysis of endemicity and distributional modelling approach

Octavio R. Rojas-Soto [1]*, Othón Alcántara-Ayala [2] and Adolfo G. Navarro [1]
[1] Museo de Zoología and [2] Herbario, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City, Mexico

Correspondence to *Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 70-399, México DF 04510, Mexico. E-mail: orrs@minervaux2.fciencias.unam.mx

Journal of Herpetology
Published by: The Society for the Study of Amphibians and Reptiles

« previous article | next article »

Journal of Herpetology 41(4):733-740. 2007
doi: 10.1670/06-276.1

Effects of Land-Cover Transformation and Climate Change on the Distribution of Two Microendemic Lizards, Genus *Uma*, of Northern Mexico

Claudia Ballesteros-Barrera[1], Enrique Martínez-Meyer[1,2], Héctor Gadsden[3]

Conservatism of Ecological Niches in Evolutionary Time

A. T. Peterson,[1]* J. Soberón,[2] V. Sánchez-Cordero[3]

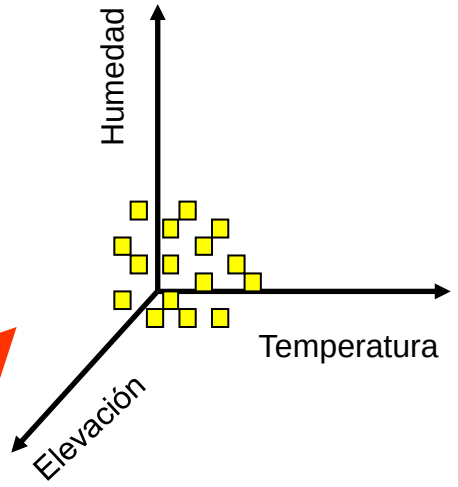
Theory predicts low niche differentiation between species over evolutionary time scales, but little empirical evidence is available. Reciprocal geographic predictions based on ecological niche models of sister taxon pairs of birds, mammals, and butterflies in southern Mexico indicate niche conservatism over several million years of independent evolution (between putative sister taxon pairs) but little conservatism at the level of families. Niche conservatism over such time scales indicates that speciation takes place in geographic, not ecological, dimensions and that ecological differences evolve later.

en los que se ha demostrado su gran utilidad y poder de análisis

El Modelado de Nichos Ecológicos

Espacio ecológico

Modelo de nicho ecológico

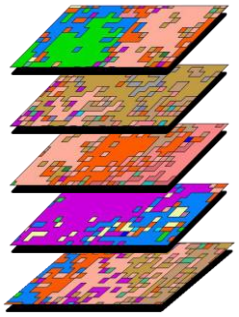


Algoritmo de modelado

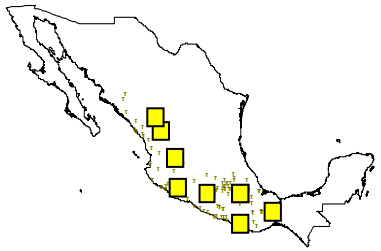
Proyección al escenario geográfico

Espacio geográfico

Datos de entrada

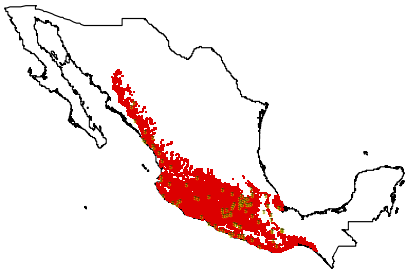


Información Ambiental



Registros de presencia de una especie

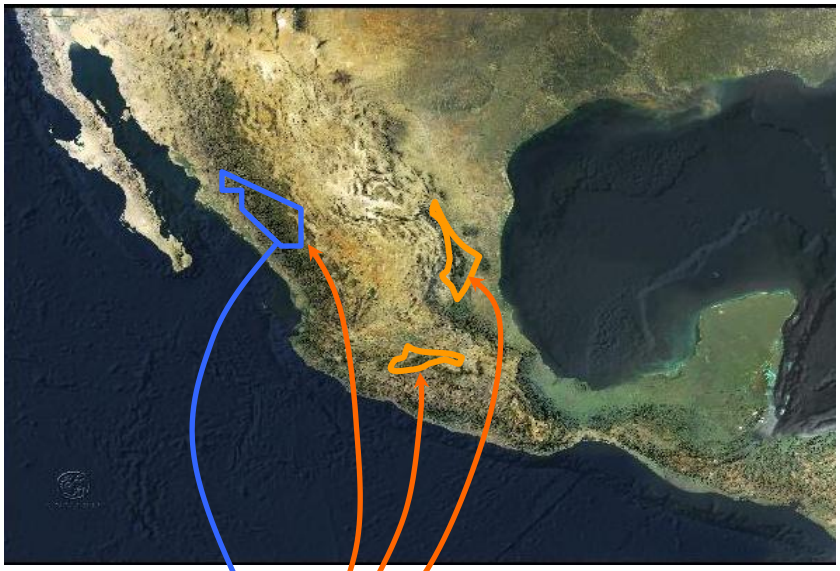
Producto



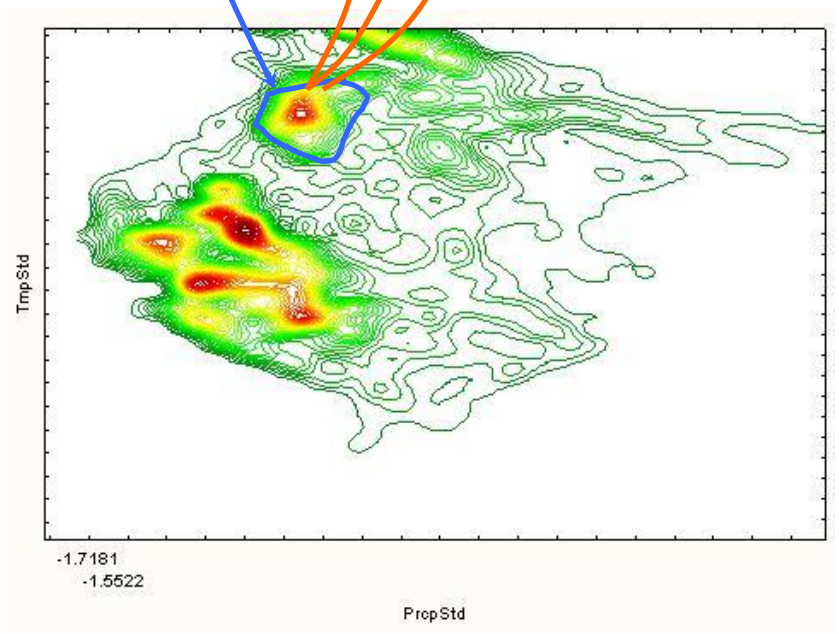
Distribución potencial predicha

El Modelado de Nichos Ecológicos

Relación del espacio geográfico y el espacio ecológico

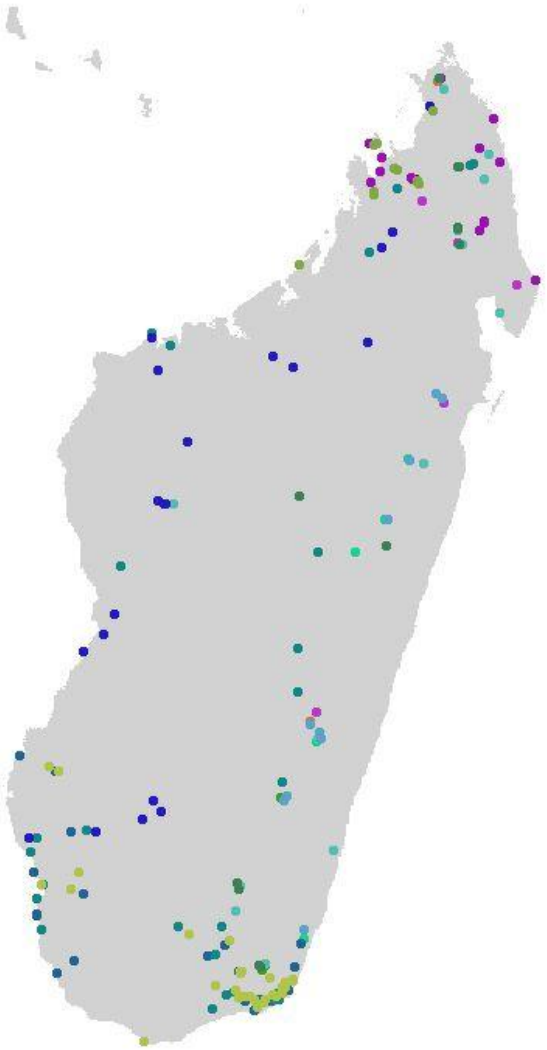


Espacio geográfico
2-dimensiones



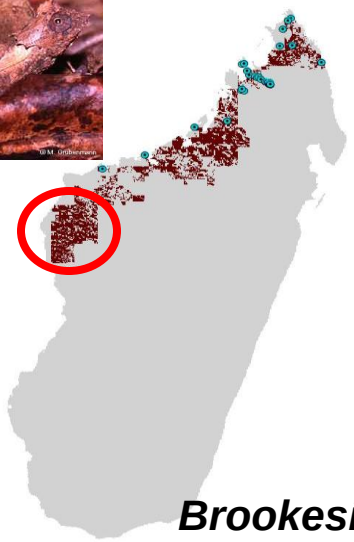
Espacio ecológico
N-dimensiones

Capacidad predictiva de los modelos de nicho: Camaleones en Madagascar

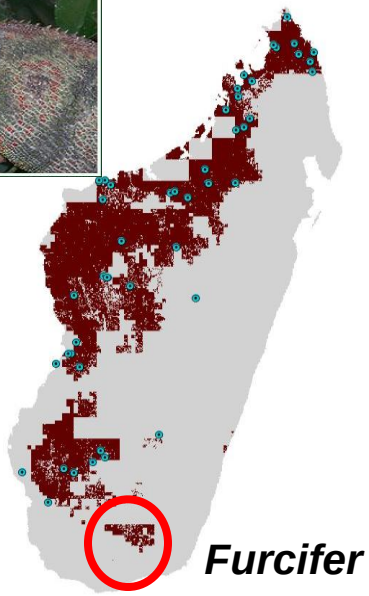


Raxworthy *et al*. 2003. *Nature* 426: 837-841

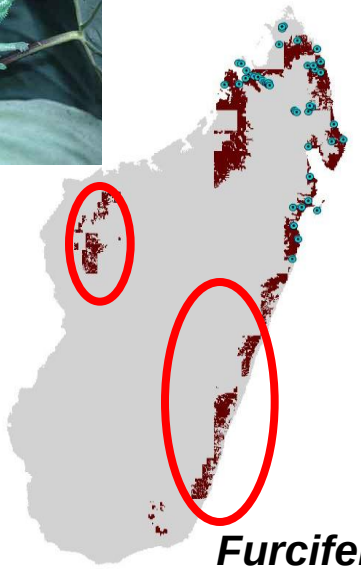
Distribución predicha de los camaleones en Madagascar



Brookesia stumpffi



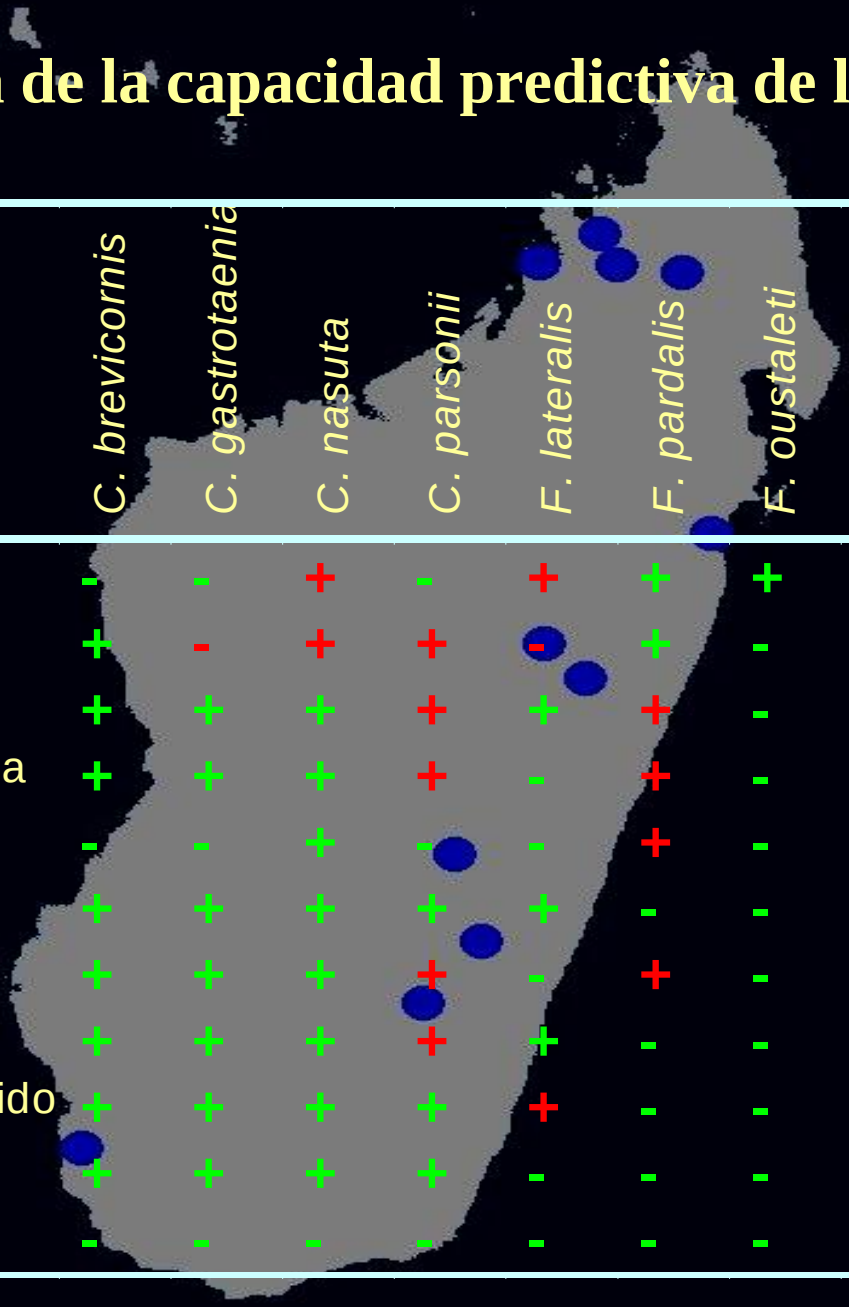
Furcifer oustaleti



Furcifer pardalis

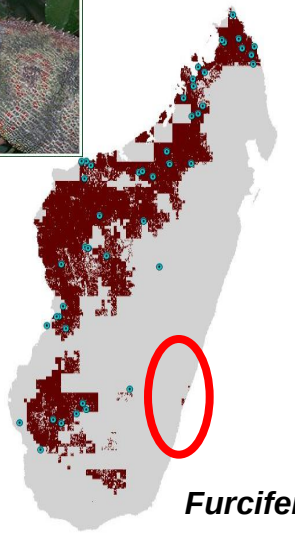
Furcifer verrucosus

Evaluación de la capacidad predictiva de los modelos

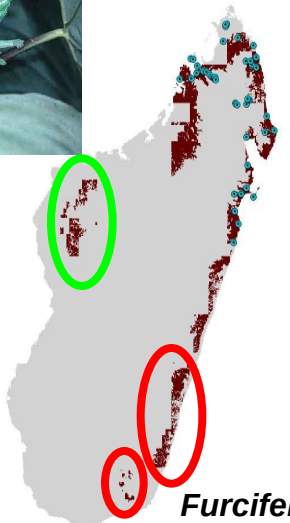


Sitios	*C. brevicornis*	*C. gastrotaenia*	*C. nasuta*	*C. parsonii*	*F. lateralis*	*F. pardalis*	*F. oustaleti*	*F. verrucosus*	*B. nasus*	*B. stumpffi*	*B. superciliaris*
Berara	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	-
NE Manongari	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	-
Bemanevika	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-
Lohanandroranga	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-
Tampolo	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-
Andranomay	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+
Ambatovy	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+
Ankazomivady	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
And./Rano. Corrido	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	+
Ivohibe Corridor	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+
Bemananteza	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-

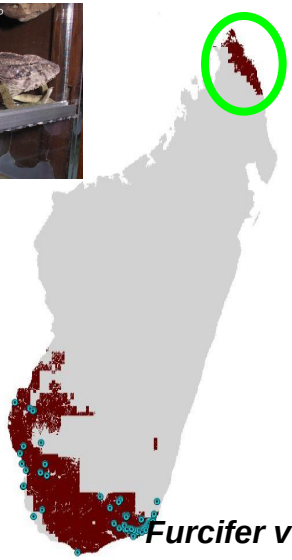
Zonas de sobrepredicción en los modelos



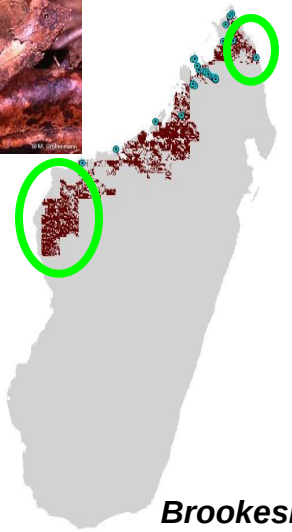
Furcifer oustaleti



Furcifer pardalis



Furcifer verrucosus



Brookesia stumpffi

Muestreo en campo dirigido:

7 especies nuevas en los sitios de sobre-predicción

El modelado de nichos ecológicos a través del espacio

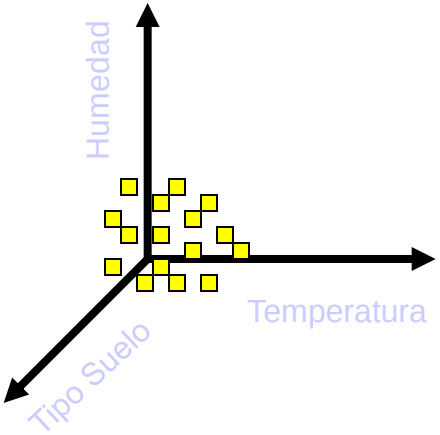
Espacio Ecológico

Espacio Geográfico

Modelo de nicho

Algoritmo de Modelado

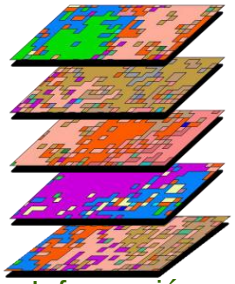
Regresión logística, Análisis de Cluster, GARP, Redes Neuronales, MaxEnt, etc.



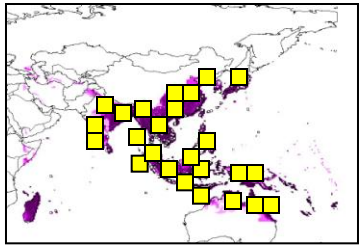
Proyección al Escenario geográfico

Datos de entrada

Región Nativa

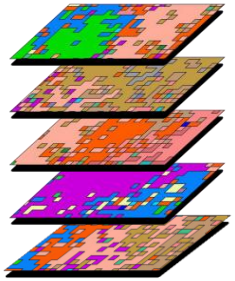


Información Ambiental



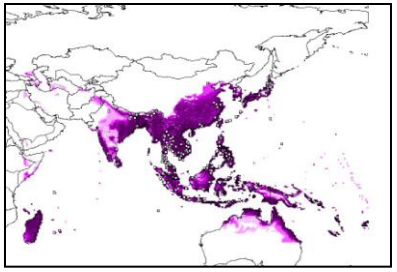
Localidades de registro de la especie

Otra Región

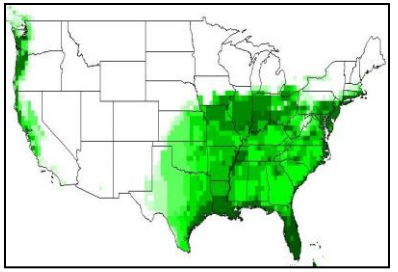


Información ambiental

Productos



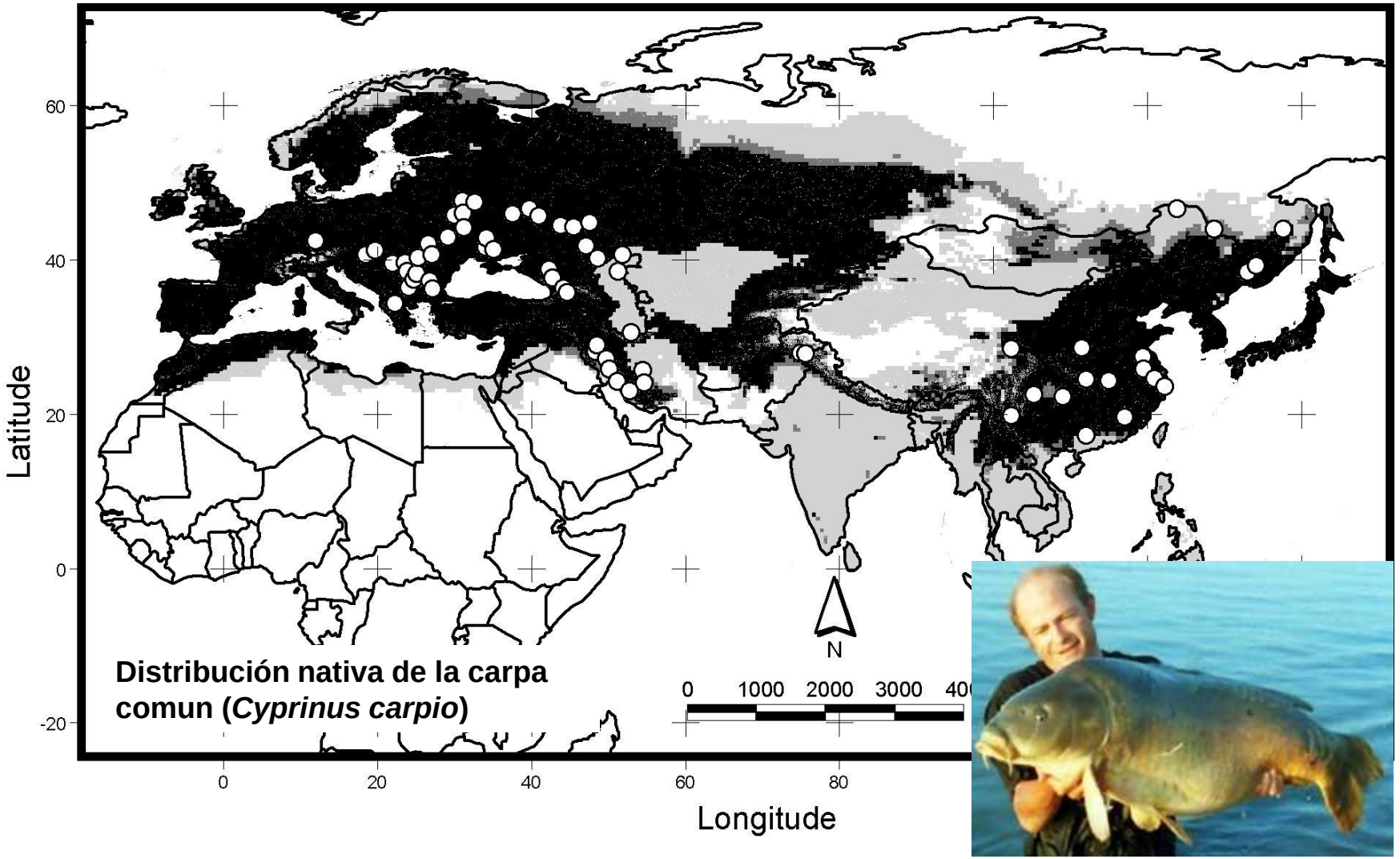
Distribución nativa predicha



Distribución predicha en otra región

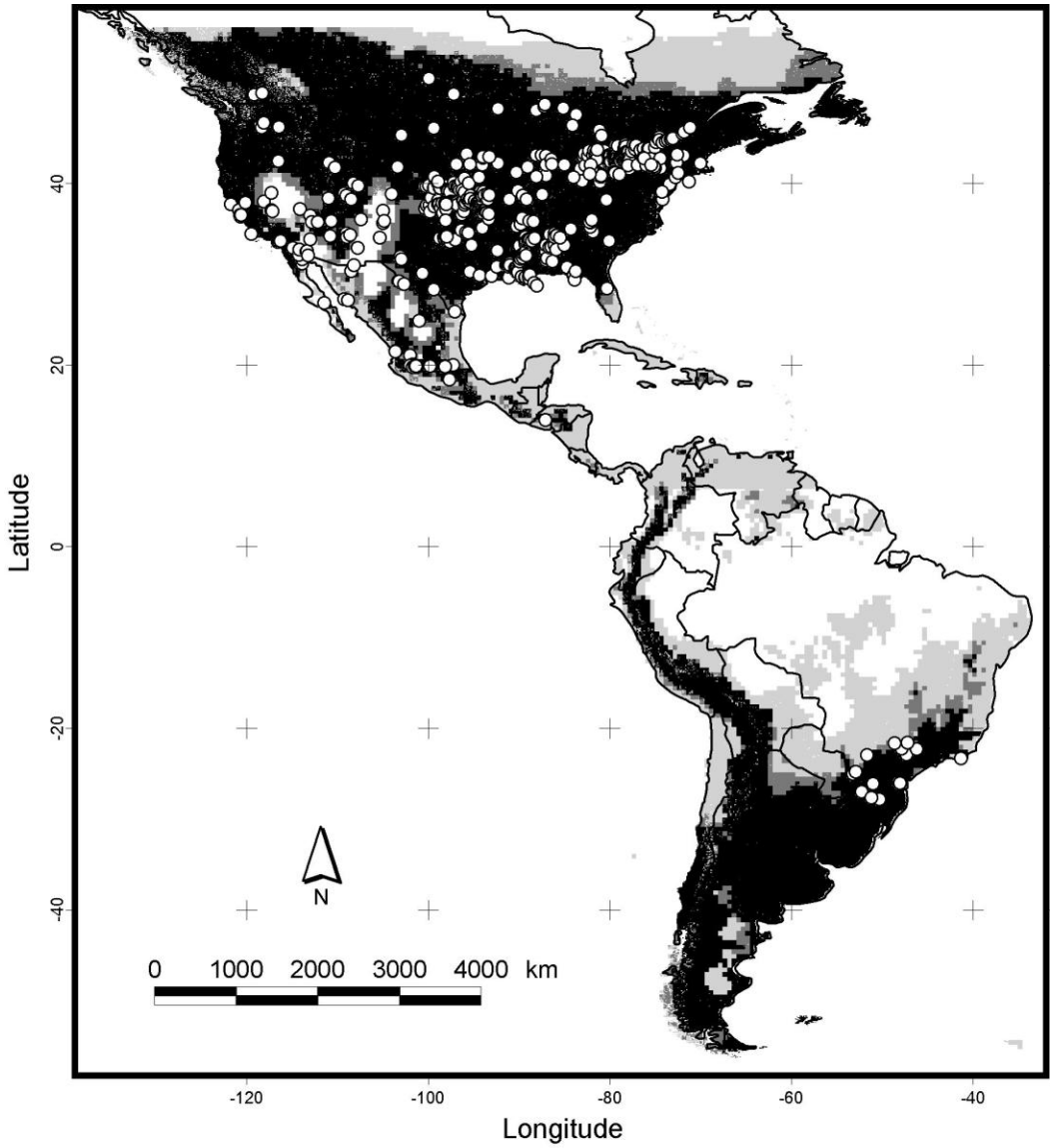
Potencial de invasión de especies exóticas

Zambrano *et al*. 2006. *Canadian J. Fisheries*



Potencial de invasión de especies exóticas

Zambrano *et al*. 2006. *Canadian J. Fisheries*



Distribución potencial en América.

Los puntos representan poblaciones establecidas

El Modelado de nichos ecológicos en el tiempo

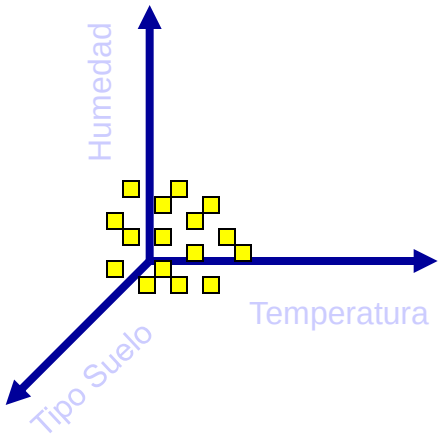
Espacio Ecológico

Espacio Geográfico

Modelo de nicho

Algoritmo de Modelado

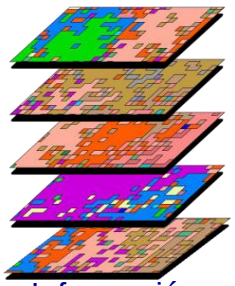
Regresión logística, Análisis de Cluster, GARP, Redes Neuronales, MaxEnt, etc.



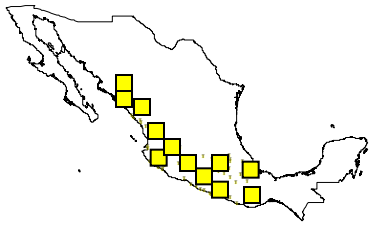
Proyección al escenario geográfico

Datos de entrada

Tiempo 1

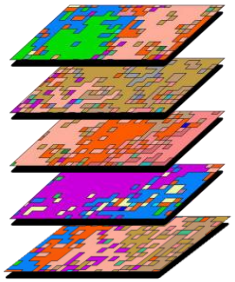


Información Ambiental



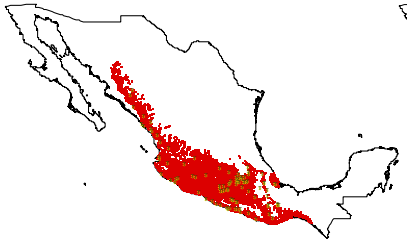
Localidades de registro de la especie

Tiempo 2

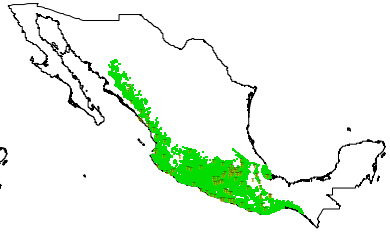


Información ambiental

Productos



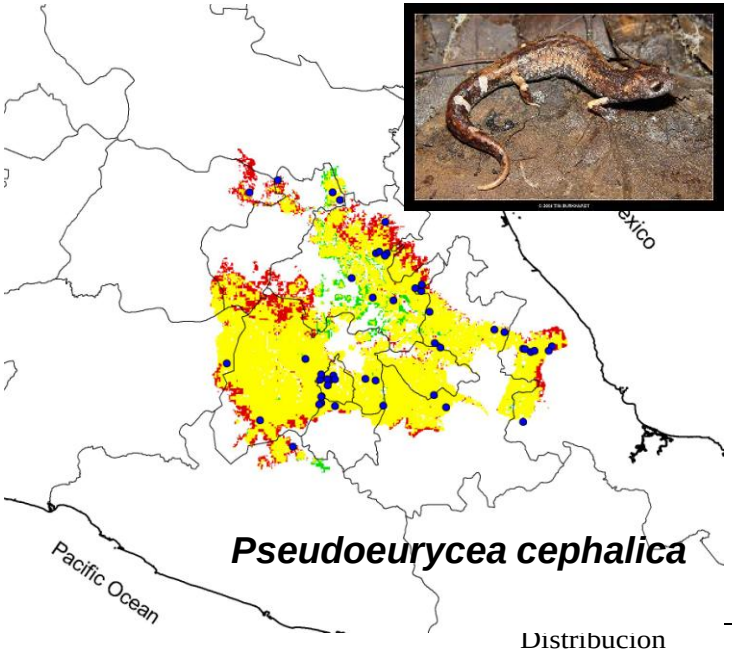
Distribución predicha para el T1



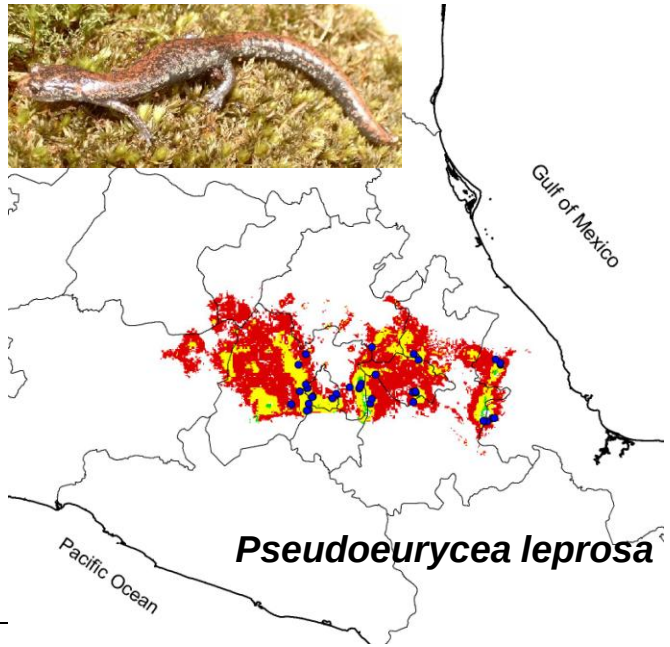
Distribución predicha para el T2

Efecto del cambio climático en la distribución de 2 salamandras en el centro de México

Parra *et al*. 2005. *Biotropica* 37: 202-208



Pseudoeurycea cephalica



Pseudoeurycea leprosa

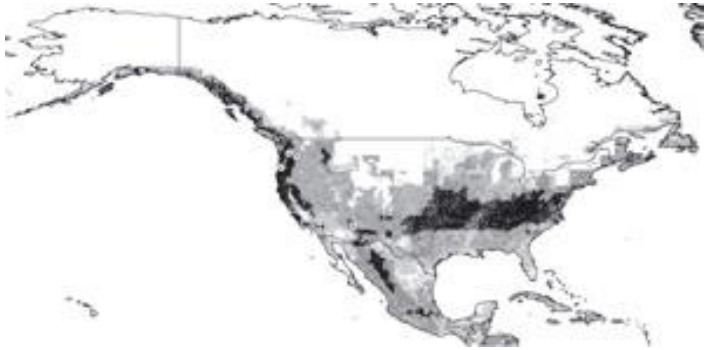
Especie	Distribucion Historica	Distribucion predicah al 2050	Se mantiene	Se peirde	Se gana
P. leprosa	27,025 km^2	7,204 km^2	6,861 km^2 (25.38%)	20,164 km^2 (74.61%)	343 km^2 (1.26%)
P. cephalica	44,551 km^2	39,356 km^2	37,794 (84.83%)	6,757 km^2 (15.16%)	1,562 km^2 (3.50%)

Plantas en el Pleistoceno-Reciente

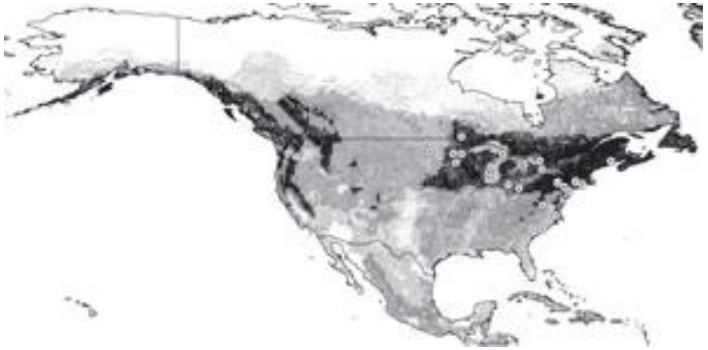
(Martínez-Meyer & Peterson. 2006. *J. Biogeo.* 33: 1779-1789)

Modelo para *Braschenia schreberi*

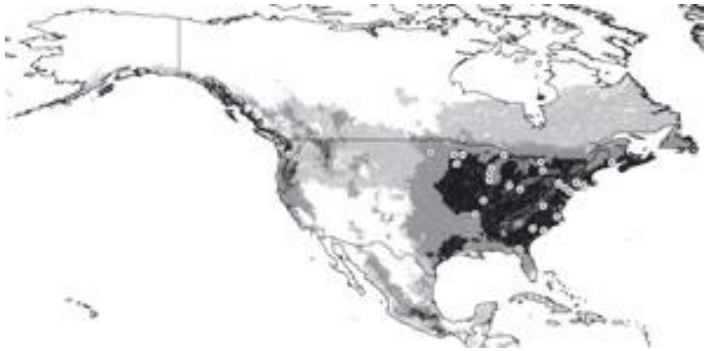
Modelo 21k



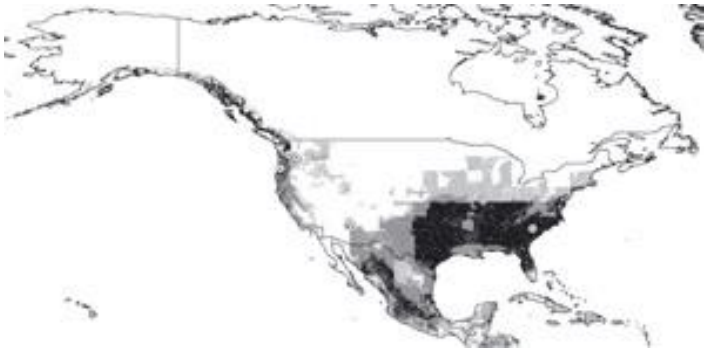
Proyección al presente



Modelo en el presente



Proyección a 21k

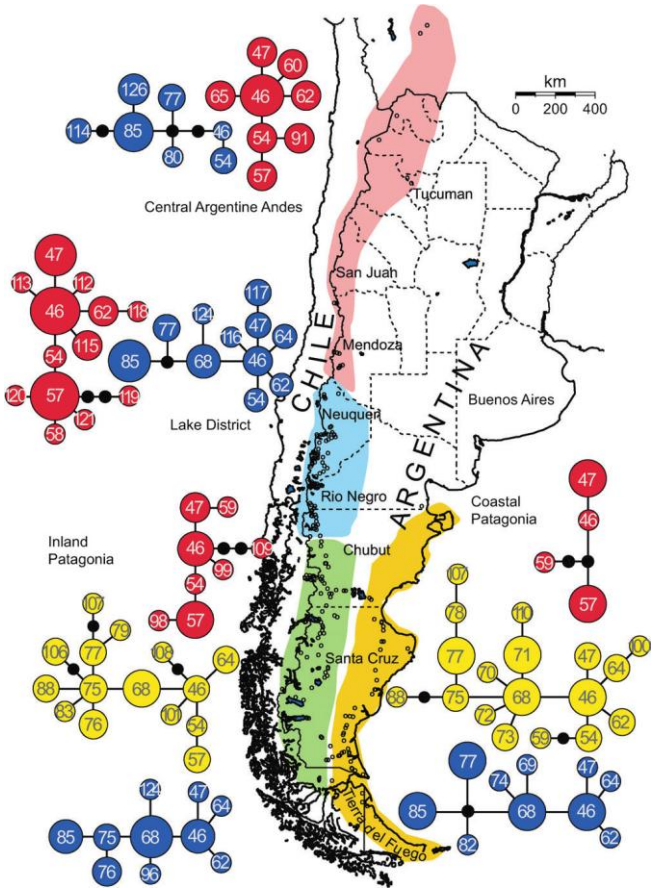


Otras aplicaciones de las reconstrucciones climáticas

Phylogeographic Analyses and Paleodistribution Modeling Indicate Pleistocene In Situ Survival of *Hordeum* Species (Poaceae) in Southern Patagonia without Genetic or Spatial Restriction

***Mol. Biol. Evol.* 26: 907-923. 2009**

Sabine S. Jakob, Enrique Martinez-Meyer,† and Frank R. Blattner**



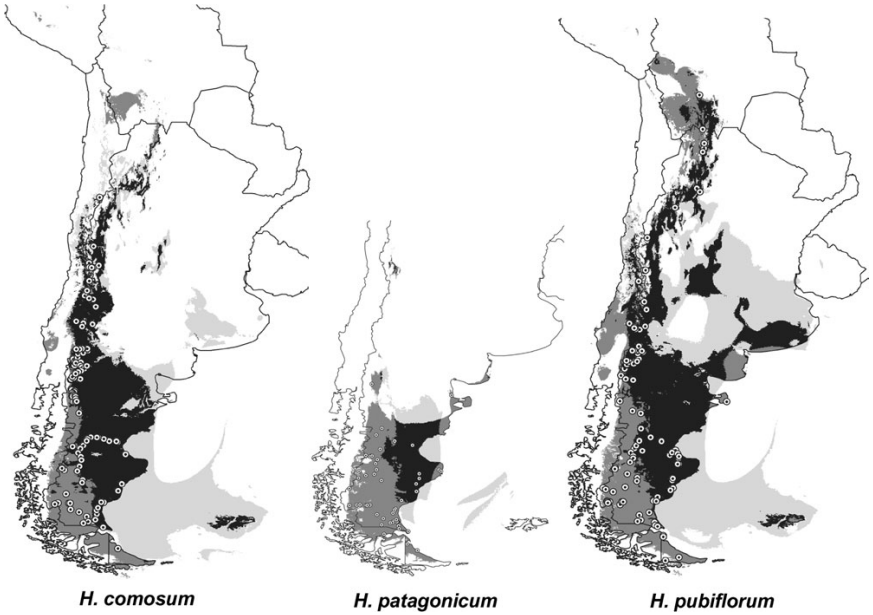


FIG. 4.—Present (dark gray and black) and past (light gray and black) distribution models of the three *Hordeum* species in southern South America calculated with GARP on the basis of extant occurrence points (white dots) of the species. The given potential distribution areas during the last glacial maximum (about 21,000 years ago) are consensus areas from two different Pleistocene climate models. Apart from inland Patagonia and Tierra del Fuego, the models infer the potential distribution of the *Hordeum* species in all areas where they occur today also during the last glacial maximum.

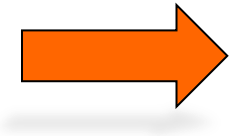
Recapitulando:

El proceso del modelado de nichos

Paso 1

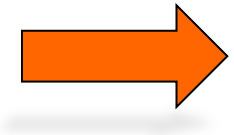
Reunir y procesar datos biológicos:

1.Georreferenciar y dar formato a datos de presencia (y de ausencia cuando existen) de las especies a analizar.
2.Cuando es necesario, manipular los datos para reducir el sesgo del muestreo



Reunir y procesar capas ambientales para generar las variables predictoras:

1.Dar formato adecuado
2.Seleccionar el área de análisis
3.Analizar las capas para identificar problemas de colinealidad y, en su caso, reducir el número de variables



Recapitulando:

El proceso del modelado de nichos

Paso 2

Decidir el tipo de algoritmo de modelación (e.g., GLM, GAM, GARP, MaxEnt, Bioclim, etc.) según el tipo de datos biológicos con los que se cuenten (e.g., sólo presencia, presencia-ausencia)

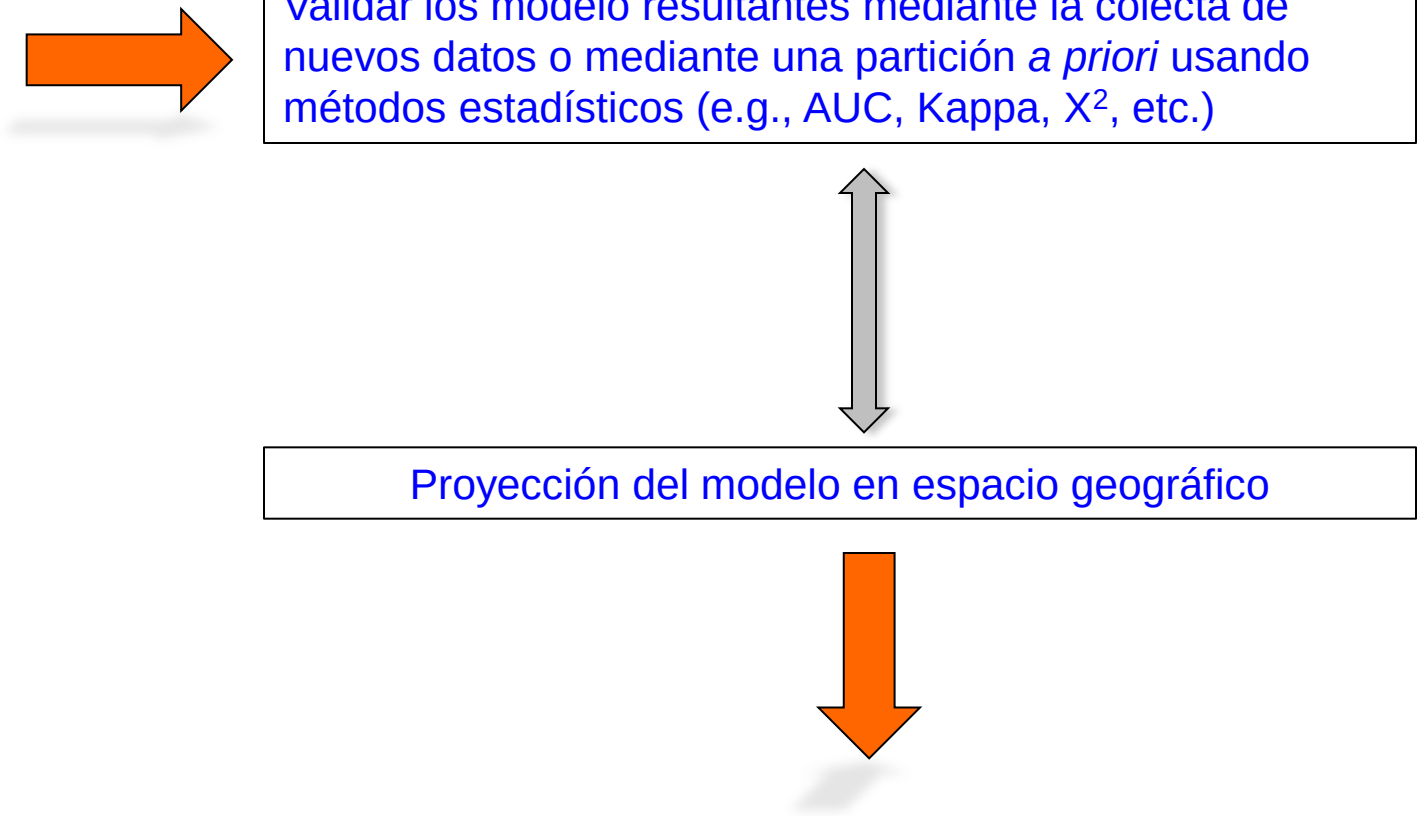
Calibrar y parametrizar el algoritmo de modelado:

1. Establecer los datos de calibración/validación
2. Establecer los parámetros de modelación
3. Hacer pruebas para determinar la importancia de las variables predictoras

Recapitulando:

El proceso del modelado de nichos

Paso 3

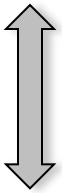


Recapitulando:

El proceso del modelado de nichos

Paso 4

Proyección a otro escenario geográfico (espacial o temporal) y evaluar estadísticamente (si es posible) dicha predicción



Procesamiento *post hoc* para abordar la pregunta inicial, e.g.:

1.Recortar el mapa de distribución potencial para aproximarlo a distribución histórica o actual.
2.Análisis de distribución en espacio ecológico

El lado obscuro de los modelos de nicho

son las fuentes y los niveles de incertiduimbre

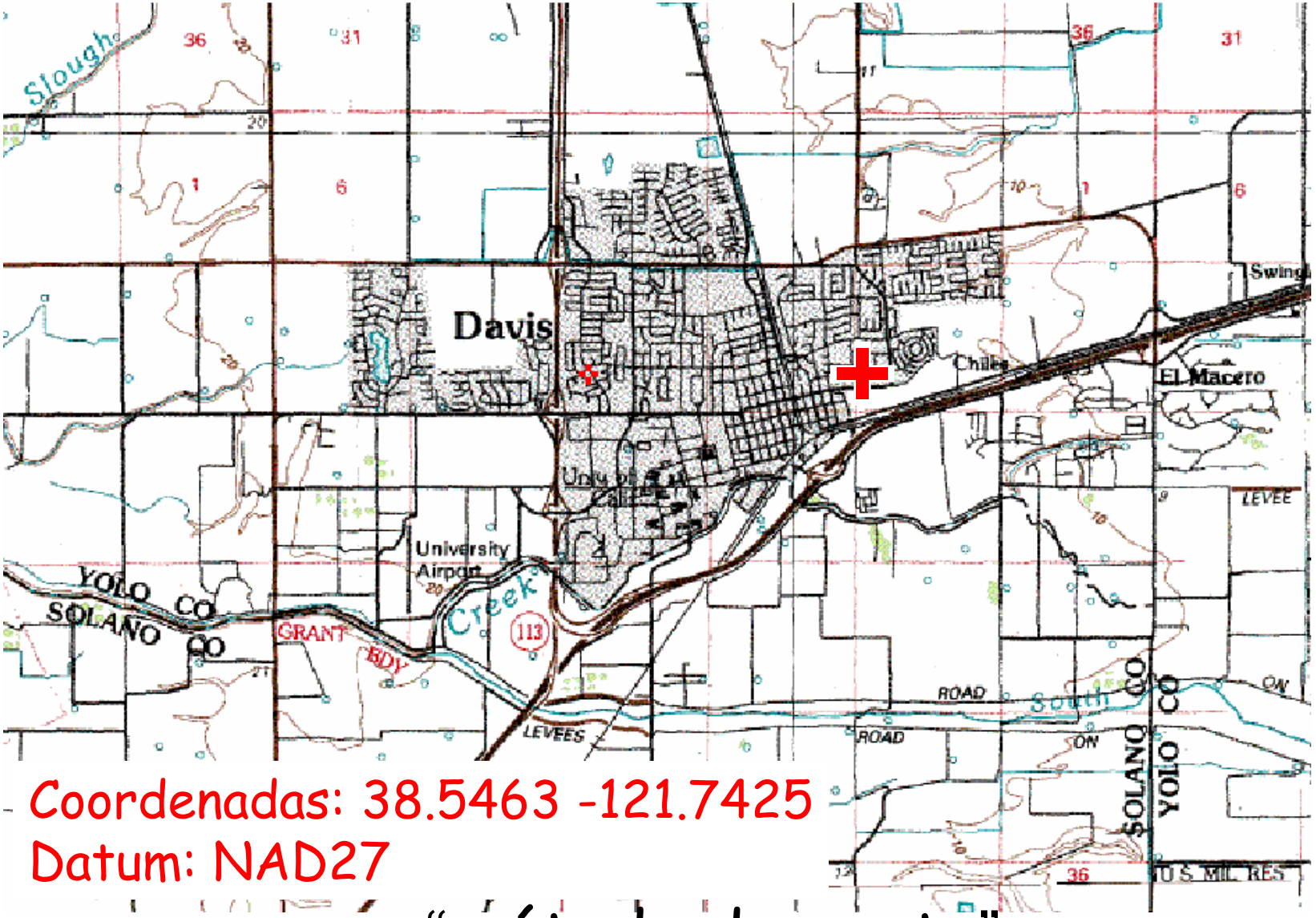
La incertidumbre en las localidades

Por John Wieczorek

Thomomys bottae

Localidad de colecta:
Davis, Yolo County, California

“Davis, Yolo County, California”

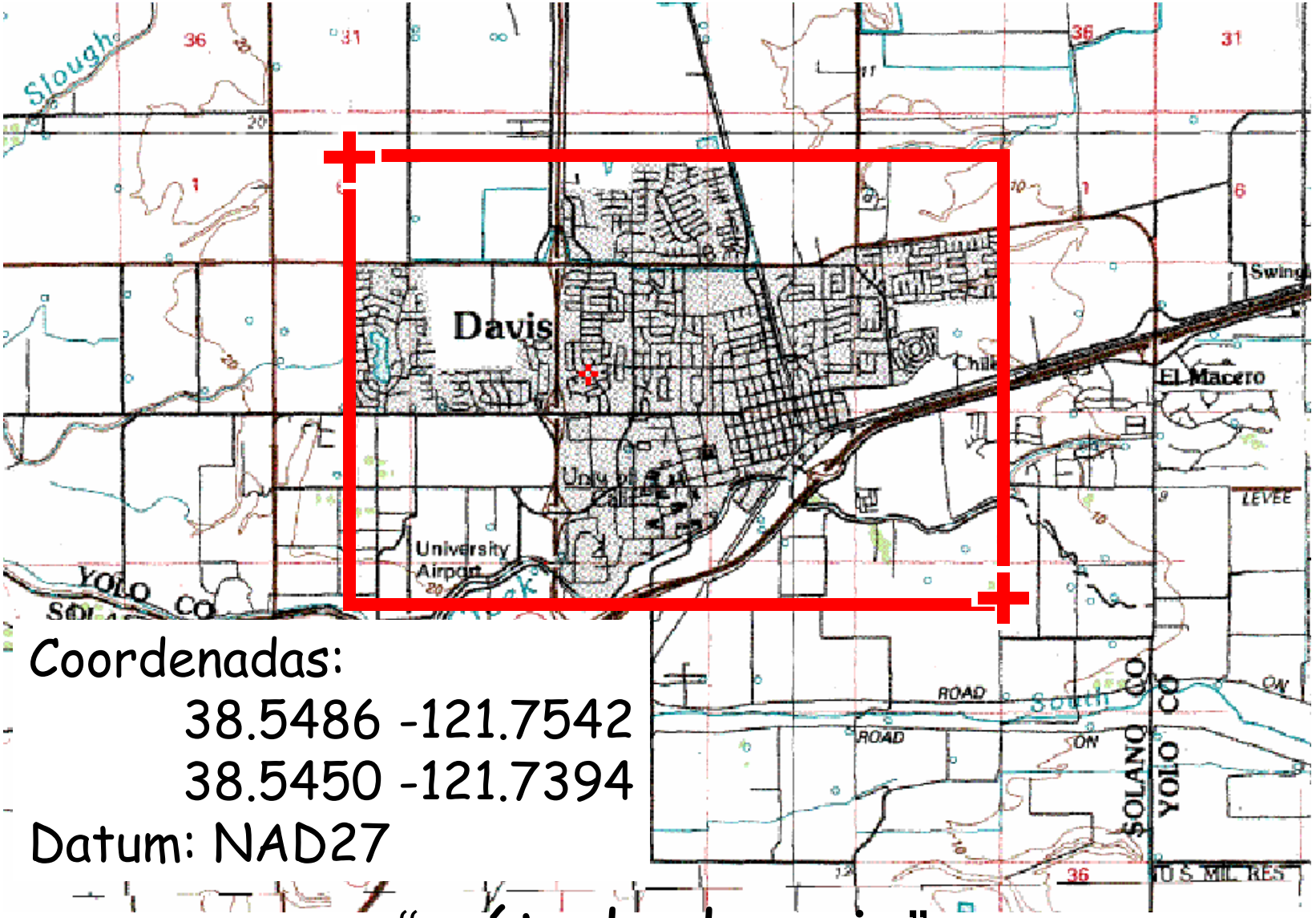


Coordenadas: 38.5463 -121.7425

Datum: NAD27

“método de punto”

“Davis, Yolo County, California”



Coordenadas:

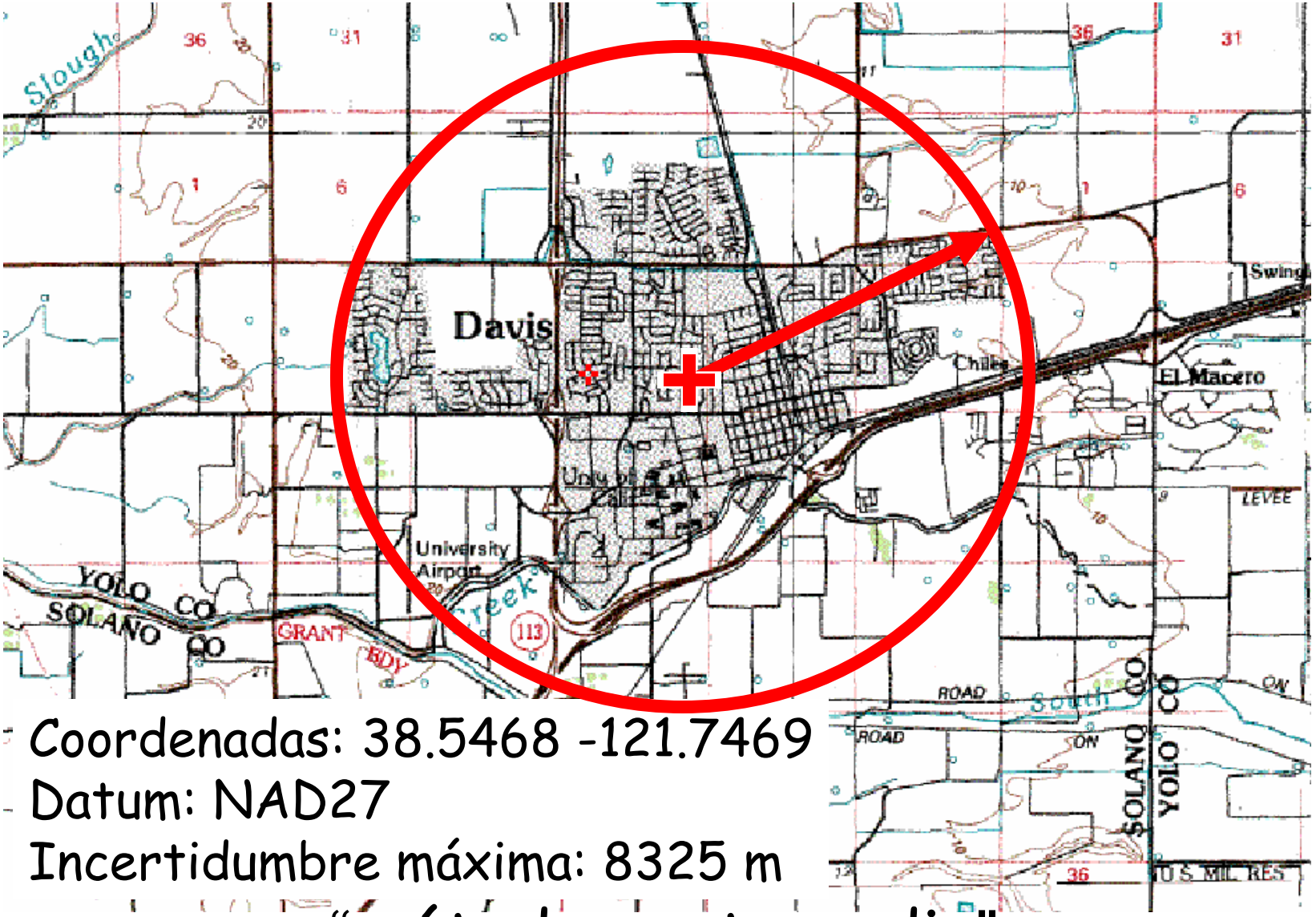
38.5486 -121.7542

38.5450 -121.7394

Datum: NAD27

“método de caja”

“Davis, Yolo County, California”



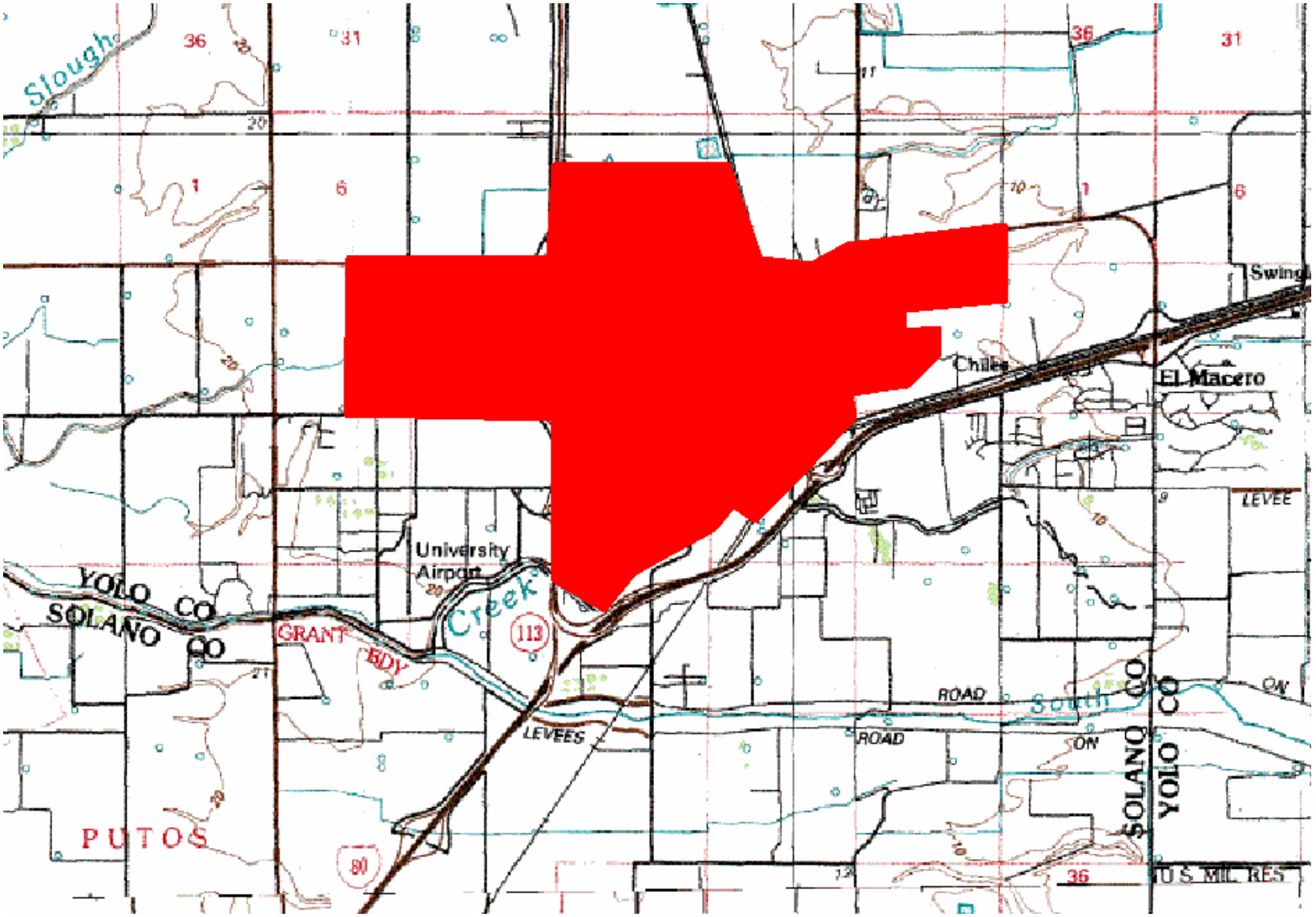
Coordenadas: 38.5468 -121.7469

Datum: NAD27

Incertidumbre máxima: 8325 m

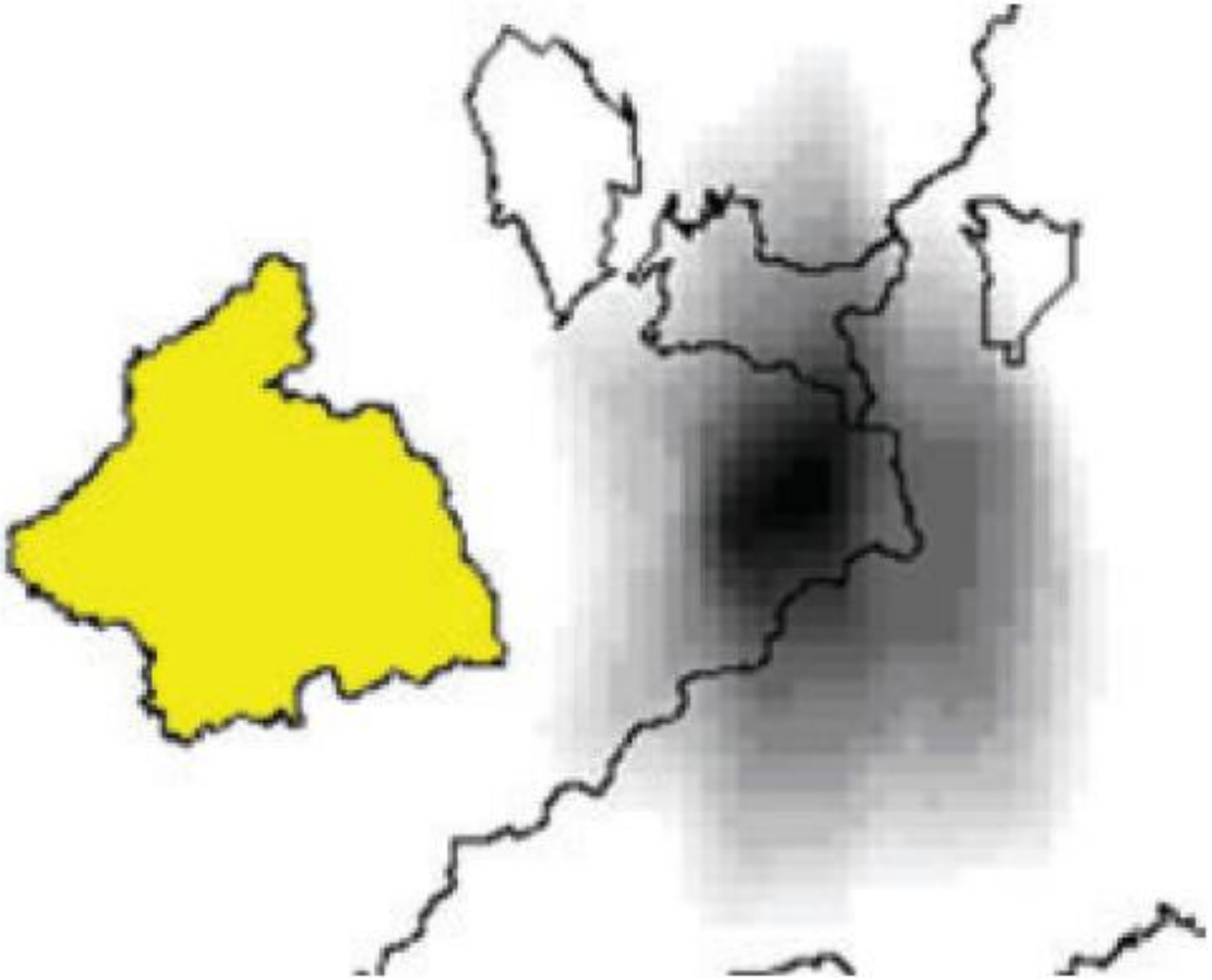
“método punto-radio”

“Davis, Yolo County, California”



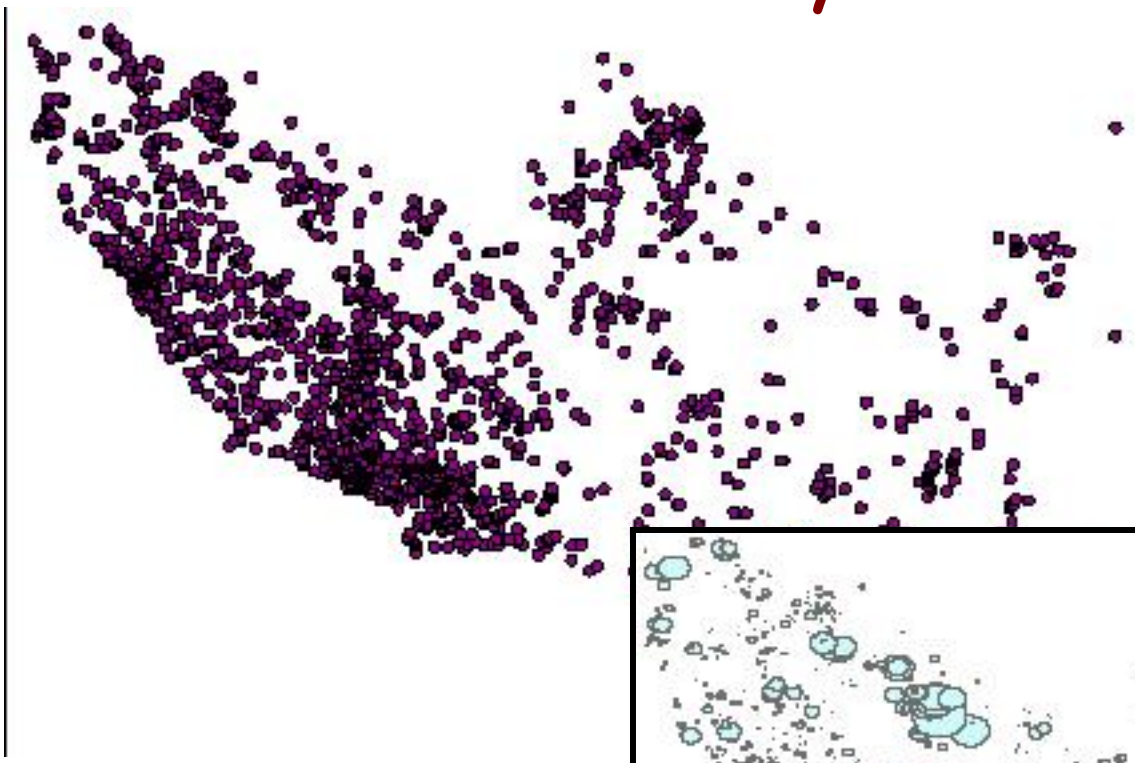
“método de polígono”

“20 mi E Hayfork, California”

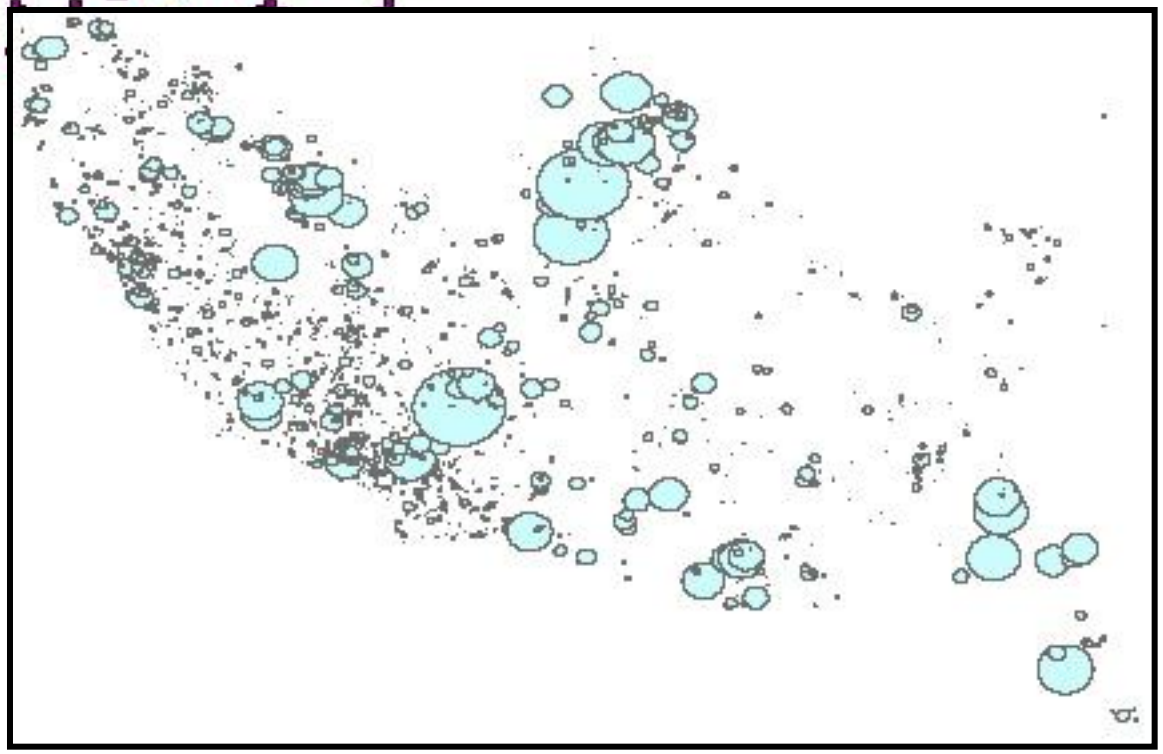


“método de probabilidad”

Localidades con y sin incertidumbre



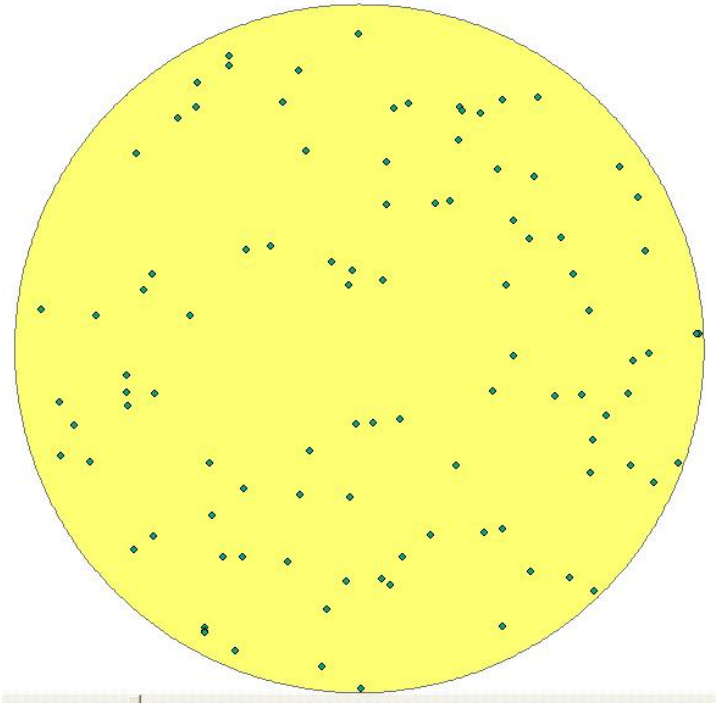
T. bottae



Incertidumbre:
3.3 ± 6.3 km
n = 2624

Evaluación del efecto de la incertidumbre

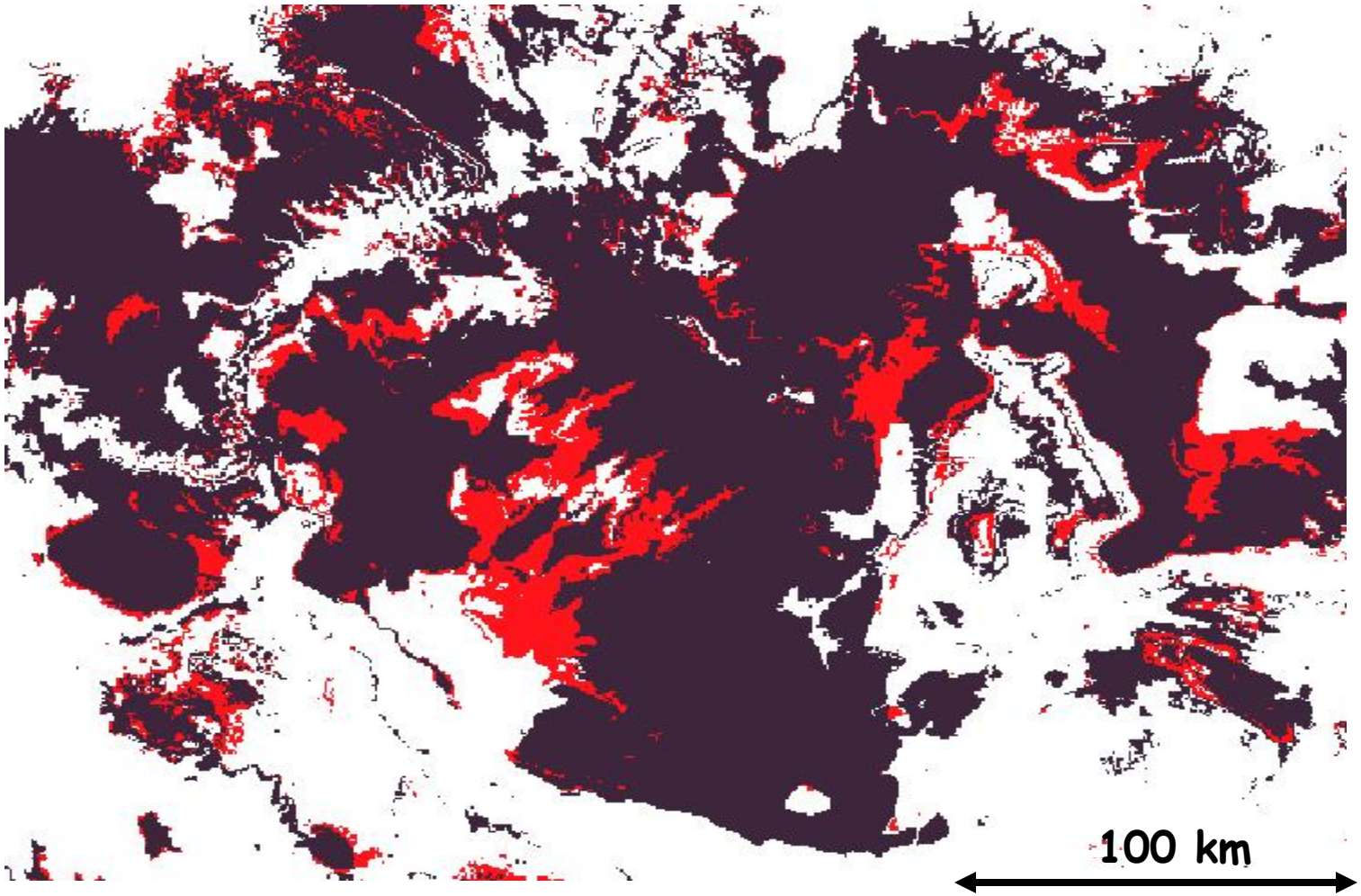
Dentro de cada área de incertidumbre se generan puntos al azar y se construyen modelos de nicho ecológico con diferentes juegos de datos



El efecto de la incertidumbre en los modelos de nicho

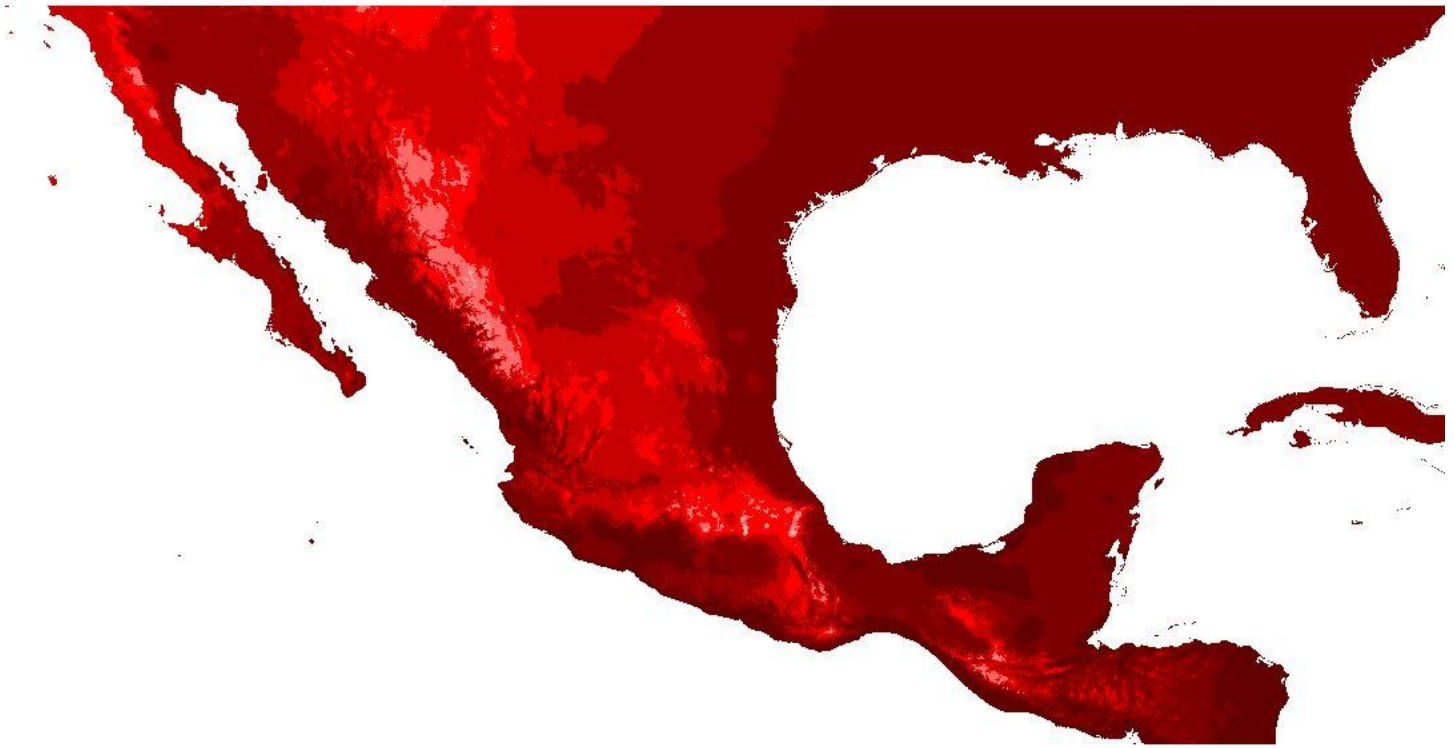
Con o sin inceridumbre

Con incertidumbre



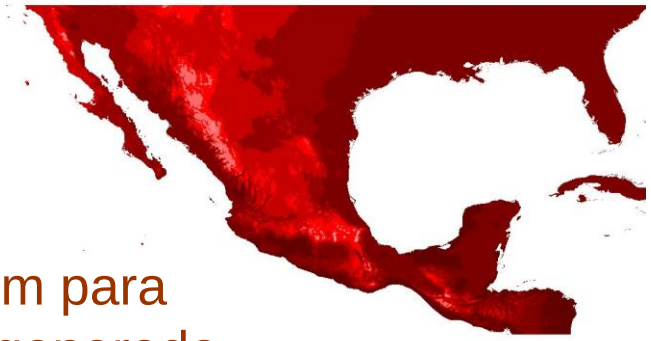
2. Incertidumbre generada por las capas ambientales

Las capas ambientales son frecuentemente mapas generados por interpolación espacial de datos puntuales

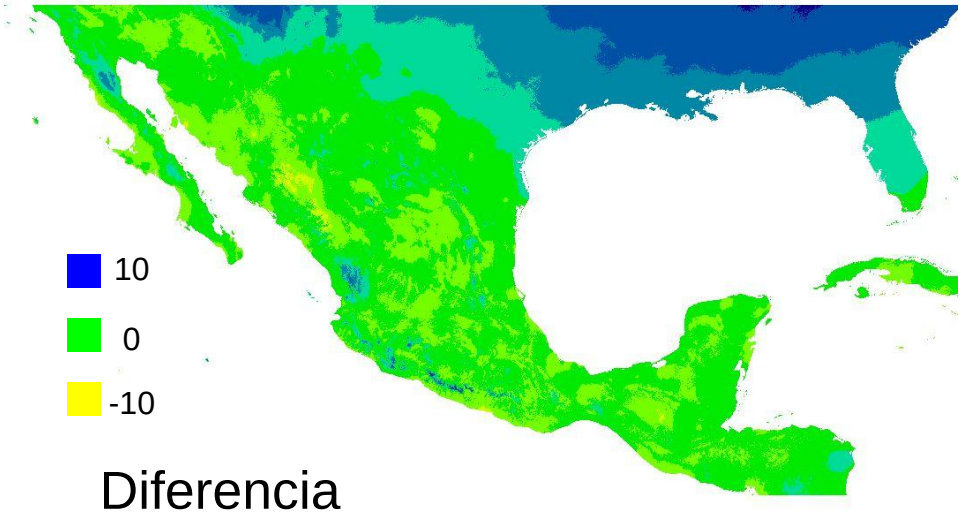


2. Incertidumbre generada por las capas ambientales

Base de datos WorldClim



BioClim para México generada por O. Téllez



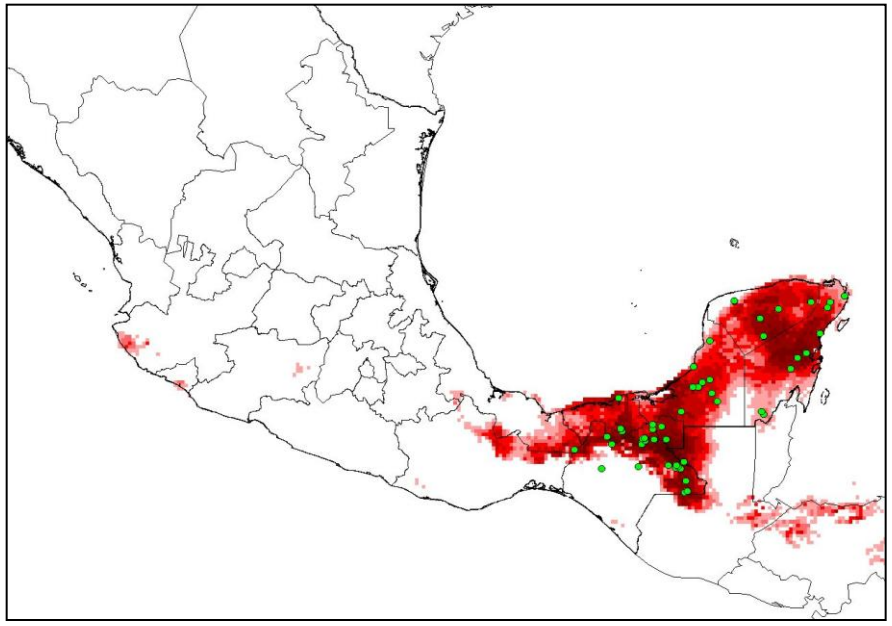
Diferencia

Resolución espacial de las capas ambientales

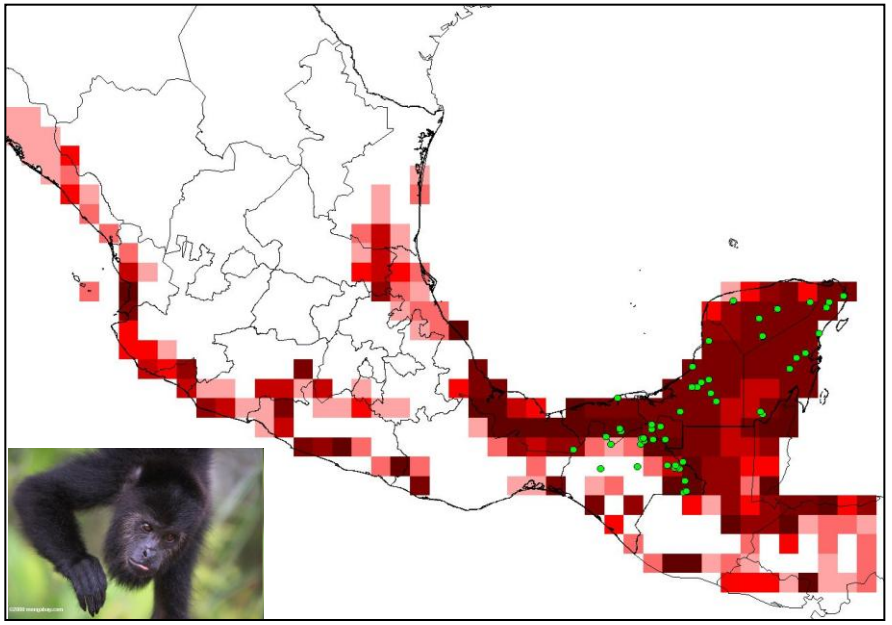
Modelo de distribución potencial

Alouatta pigra

1 km tamaño de celda

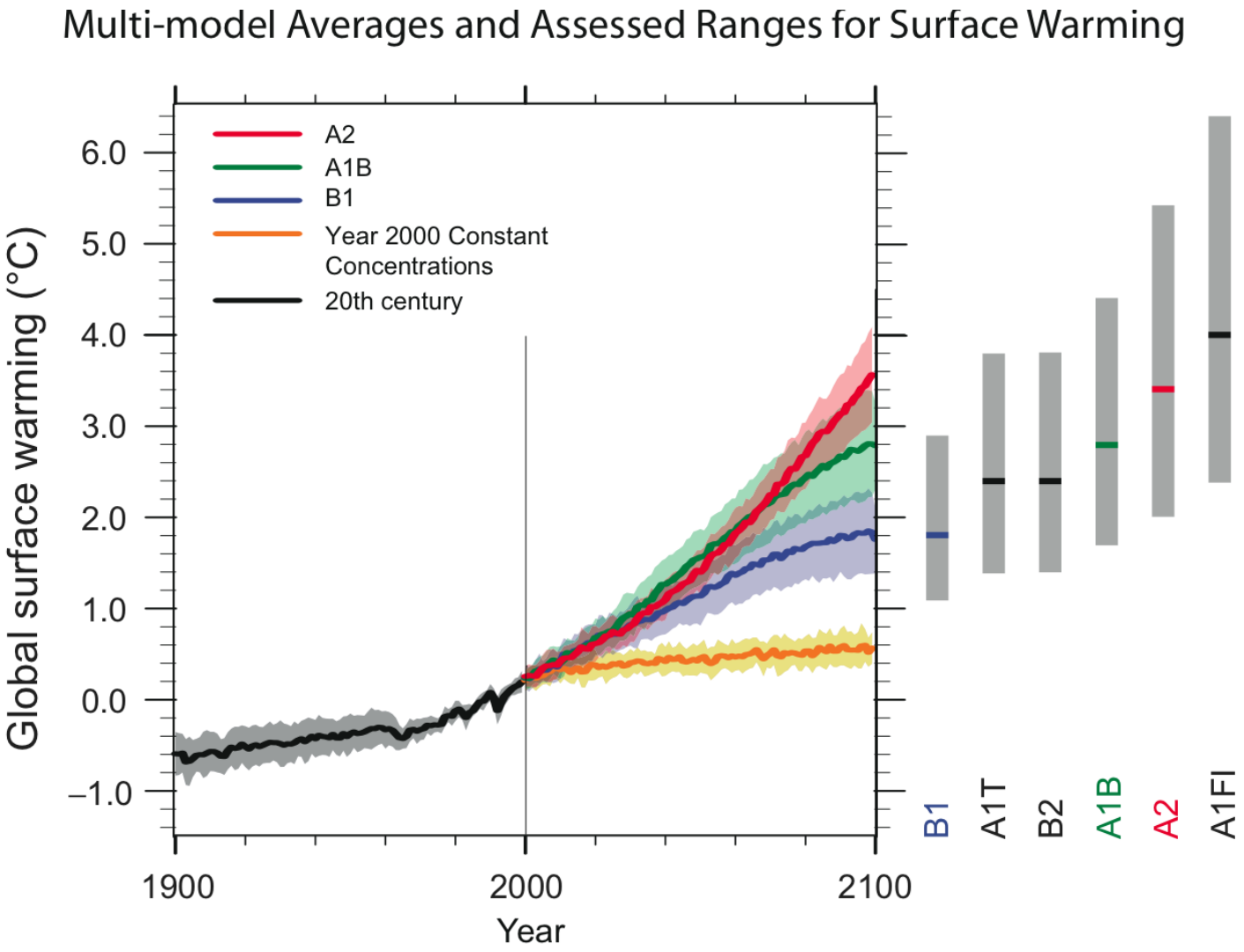


50 km tamaño de celda



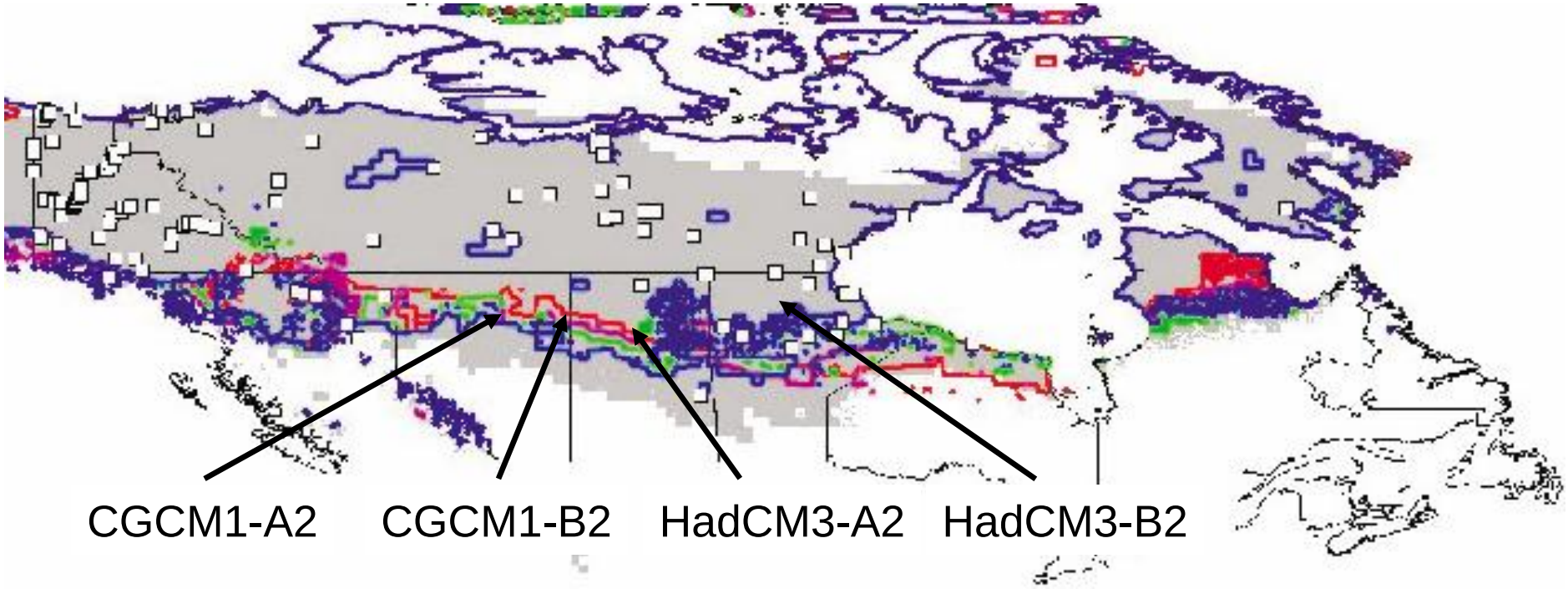
3. Incertidumbre en escenarios de cambio climático

Existen diversos escenarios tanto para el futuro como para el pasado



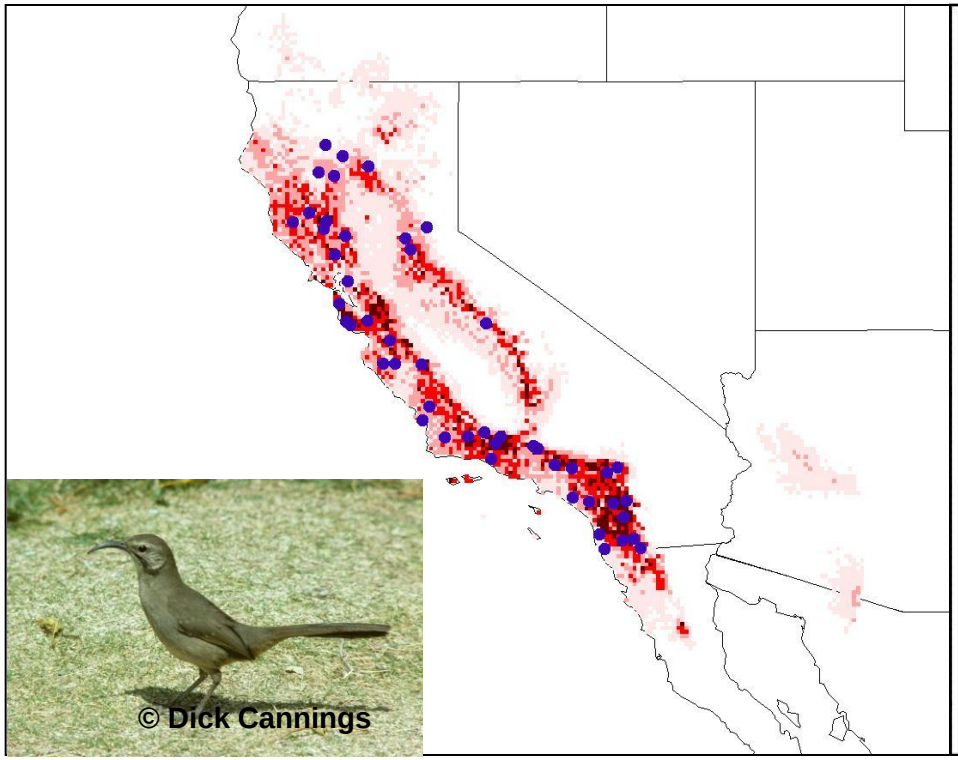
Incertidumbre en los escenarios climáticos

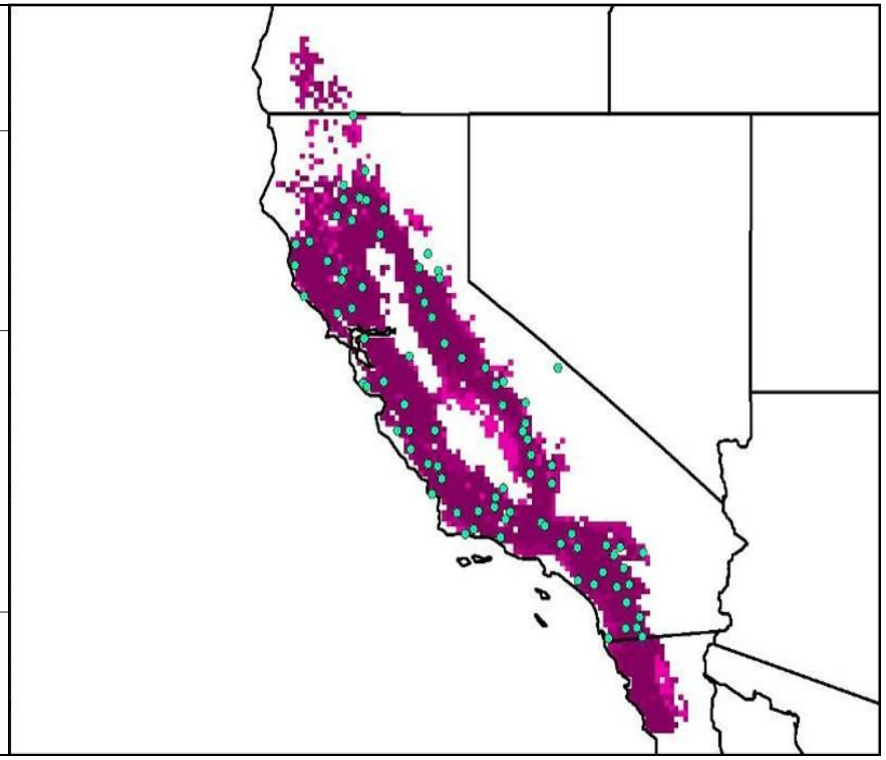
Distribución predicha de *Colias paleaeno* bajo 4 escenarios climáticos



Peterson *et al*. 2004. *Can J Zool.* 82: 851-858

4. Incertidumbre en algoritmos de modelado





Modelo con Maxent

Modelo con GARP

5. Incertidumbre por el efecto de las interacciones bióticas

Conclusiones

Los MNE son métodos de tipo correlativos, estáticos y no mecanísticos, que funcionan identificando las relaciones que existen entre las condiciones del ambiente y los sitios de presencia de las especies.

Para hacer el mejor uso de los NE es muy importante conocer su funcionamiento, pero igualmente importante es necesario conocer las limitaciones de las fuentes de datos, algoritmos y del enfoque metodológico en general

A pesar de sus limitaciones, los modelos de nicho son una herramienta muy poderosa para generar hipótesis geográficas sobre la distribución presente, pasada y futura de las especies

GRACIAS

emm@ibiologia.unam.mx