

EVOLUCIÓN DE LAS ZONAS DE ALTA BIODIVERSIDAD EN ECUADOR BAJO UN ESCENARIO DE CAMBIO GLOBAL

Jesús Muñoz, Real Jardín Botánico

Ángel M. Felicísimo, Universidad de Extremadura

Tania Delgado, Herbario Nacional del Ecuador

Rubén G. Mateo, Real Jardín Botánico

Alicia Gómez-Muñoz, Universidad de Extremadura

<http://www.unex.es/eweb/kraken/index.html>





Objetivos principales del proyecto

Diferentes medidas de protección

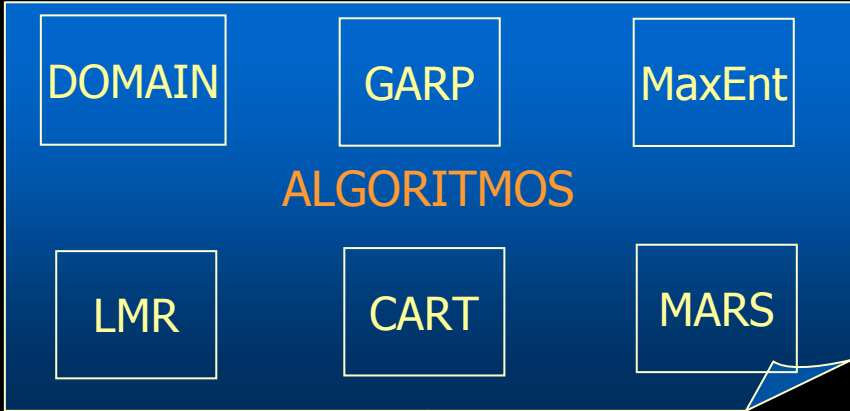
- ◆ Generar modelos de idoneidad, con el clima actual, para muchas especies con suficientes presencias, revisadas por expertos, no introducidas y que en su conjunto sean una representación de todos los ecosistemas de Ecuador
- ◆ Calcular los valores de las 19 variables Worldclim 1.3 para el año 2080 de acuerdo con el escenario HadCM3-A2
- ◆ Generar modelos de idoneidad para todas las especies con el clima estimado para el año 2080
- ◆ Comparación de zonas de máxima diversidad 2005/2080. Medidas de protección necesarias.
- ◆ Estudiar el comportamiento de varios algoritmos (clasificadores) y evaluar su integración en SIG.
- ◆ Estudiar el tamaño mínimo de muestra.

Flujo de trabajo



variable dependiente
o respuesta (táxones)

variables independientes o explicativas
(bioclimáticas, NDVI, ...)



6 MODELOS DE IDONEIDAD / ESPECIE

validación del modelo (AUC)

SUMA DE LOS MODELOS DE IDONEIDAD

MAPA DE BIODIVERSIDAD POTENCIAL



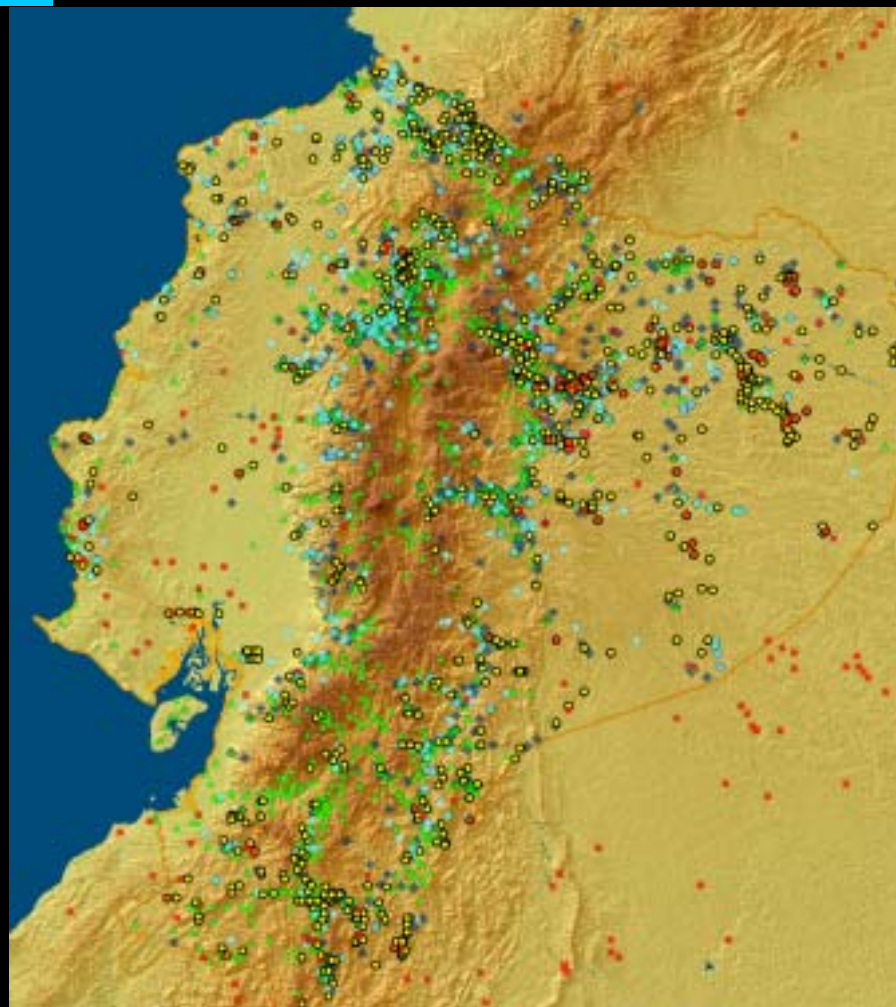
1: generación de datos de presencia (latitud-longitud)

Abarcan todos los hábitat

Familias seleccionadas:

- Araceae (53) ●
- Bignoniaceae (11) ■
- Bromeliaceae (90) ▲
- Gesneriaceae (91) ⊕
- Lauraceae (30) ◆
- Leguminosas (130)

otras... sobre todo de páramos





2a: variables bioclimáticas (periodo 1961-1990)

Worldclim 1.3, Univ. de Berkeley

BIO1 = Annual Mean Temperature

BIO2 = Mean Diurnal Range

BIO3 = Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100)

BIO4 = Temperature Seasonality (standard deviation *100)

BIO5 = Max Temperature of Warmest Month

BIO6 = Min Temperature of Coldest Month

BIO7 = Temperature Annual Range (BIO5-BIO6)

BIO8 = Mean Temperature of Wettest Quarter

BIO9 = Mean Temperature of Driest Quarter

BIO10 = Mean Temperature of Warmest Quarter

BIO11 = Mean Temperature of Coldest Quarter

BIO12 = Annual Precipitation

BIO13 = Precipitation of Wettest Month

BIO14 = Precipitation of Driest Month

BIO15 = Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)

BIO16 = Precipitation of Wettest Quarter

BIO17 = Precipitation of Driest Quarter

BIO18 = Precipitation of Warmest Quarter

BIO19 = Precipitation of Coldest Quarter



Raster, celda 1 Km

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

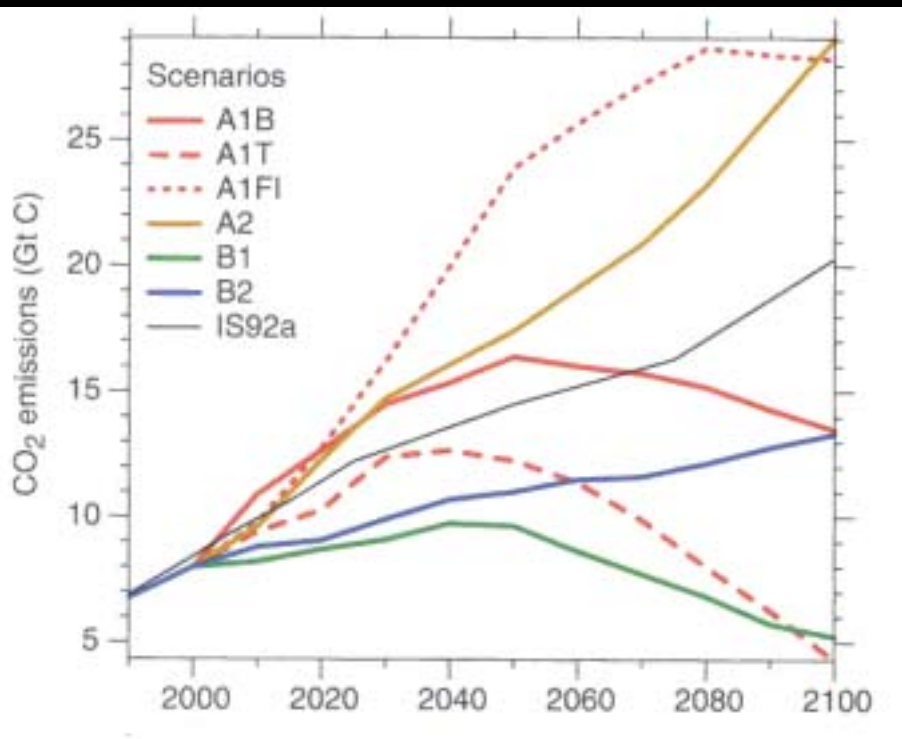
← Estaciones meteorológicas



2b: variables bioclimáticas (estimación año 2080)

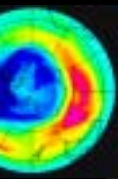
Modelo HadCM3, escenario A2, Hadley Center

"...a very heterogeneous world. The underlying theme is that of strengthening regional cultural identities, with an emphasis on family values and local traditions, high population growth, and less concern for rapid economic development."



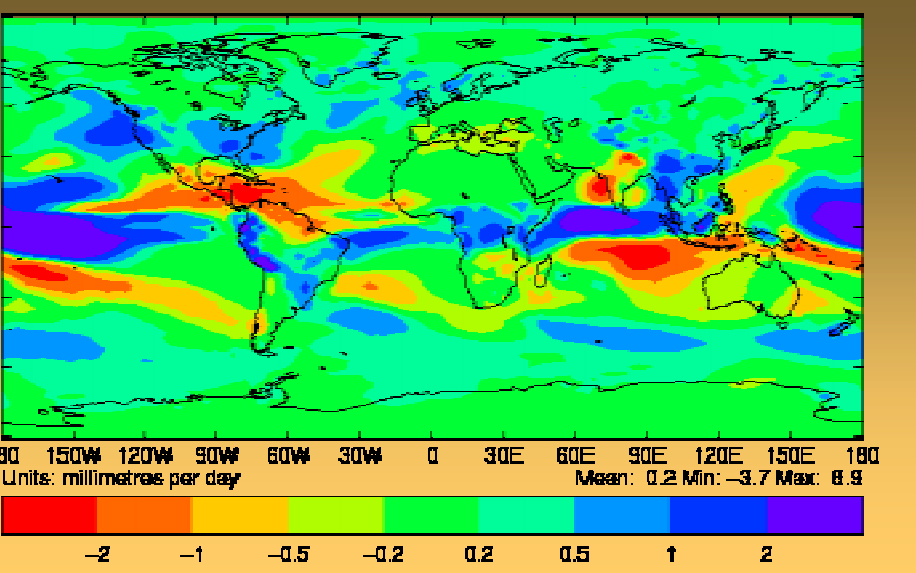
HadCM3 es un modelo de circulación global desarrollado por "The Hadley Centre for Climate Prediction and Research". **A2** es uno de los escenarios que propone este modelo.

Utilizamos los **índices de variación** (precipitación, T_{min}, T_{max} y T_{media}) estimados por HadCM3-A2 para crear las grids bioclimáticas para el año 2080.



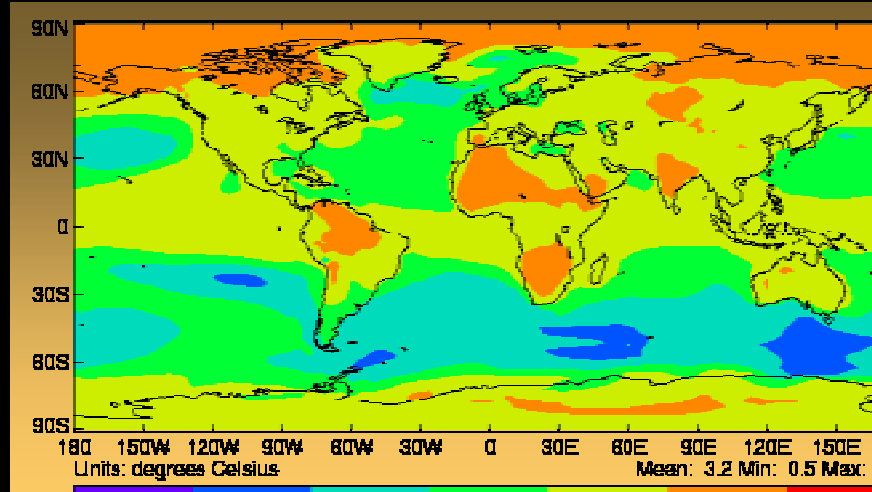
2b: variables bioclimáticas (estimación año 2080)

Cambios estimados por HadCM3-A2



**AMBIO EN LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL
DESDE 1960-1990 HASTA 2070-2100**

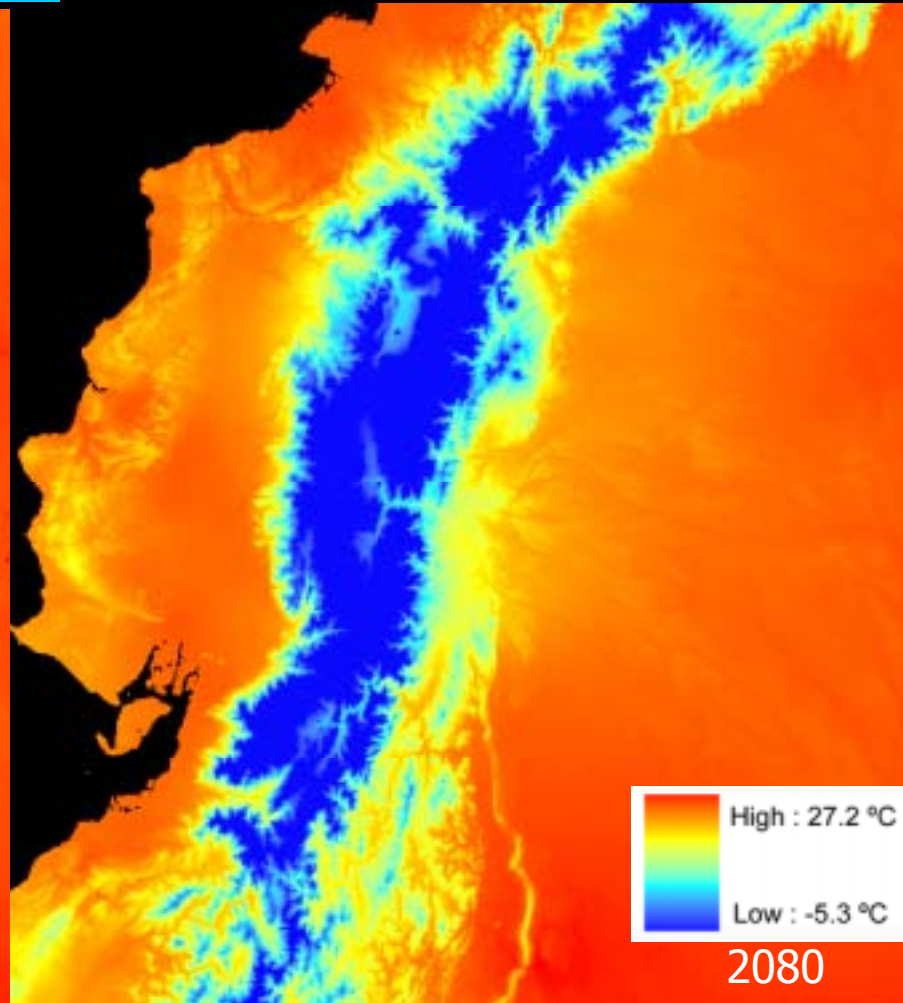
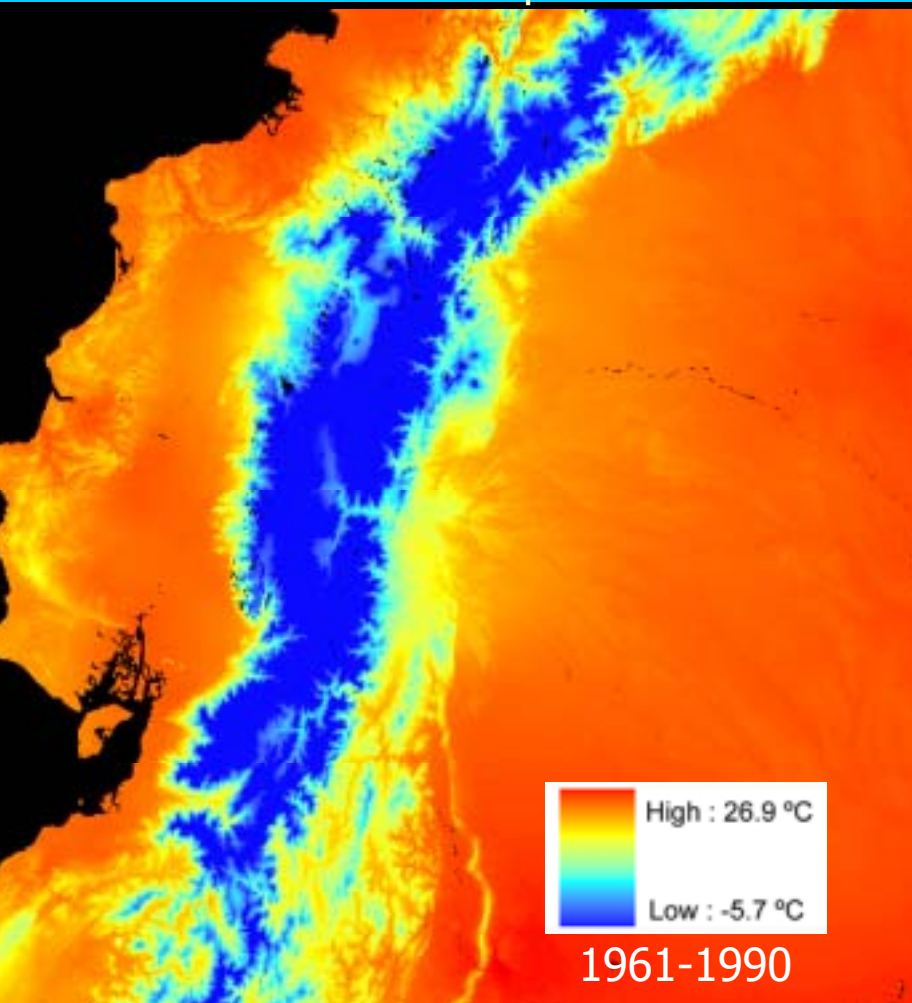
**AMBIO EN LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL DEL
AIRE DESDE 1960-1990 HASTA 2070-2100** →





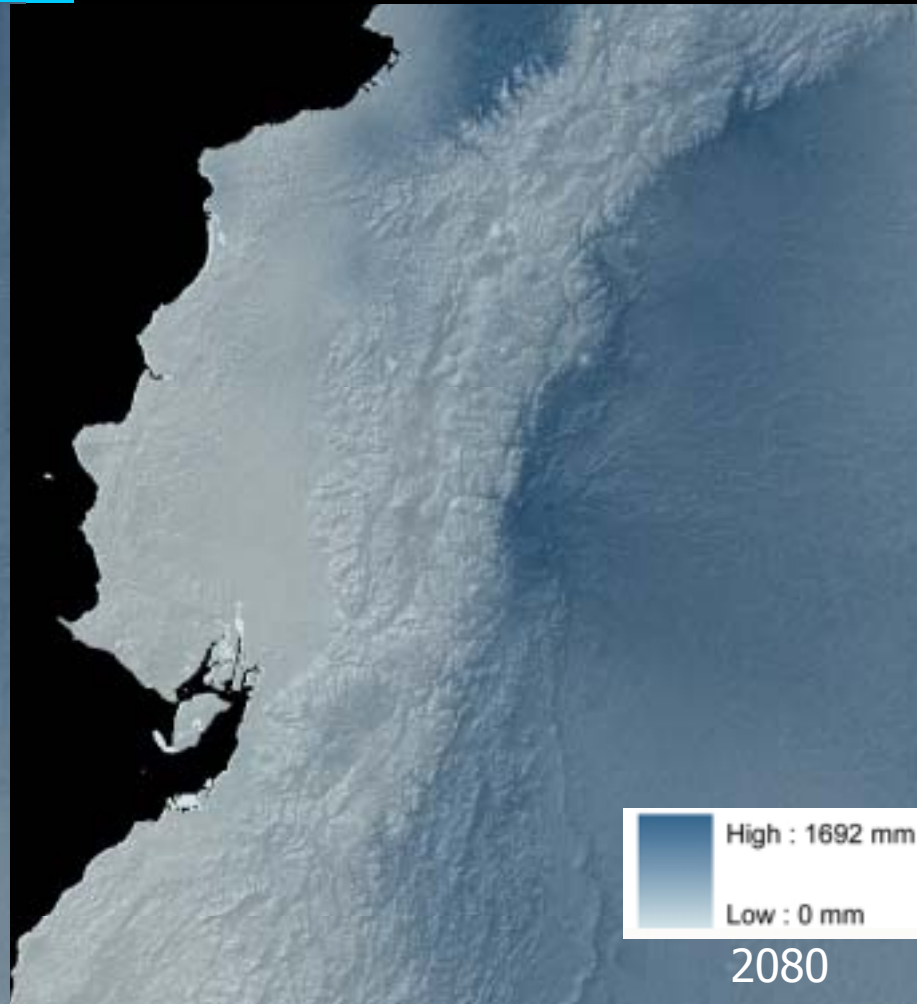
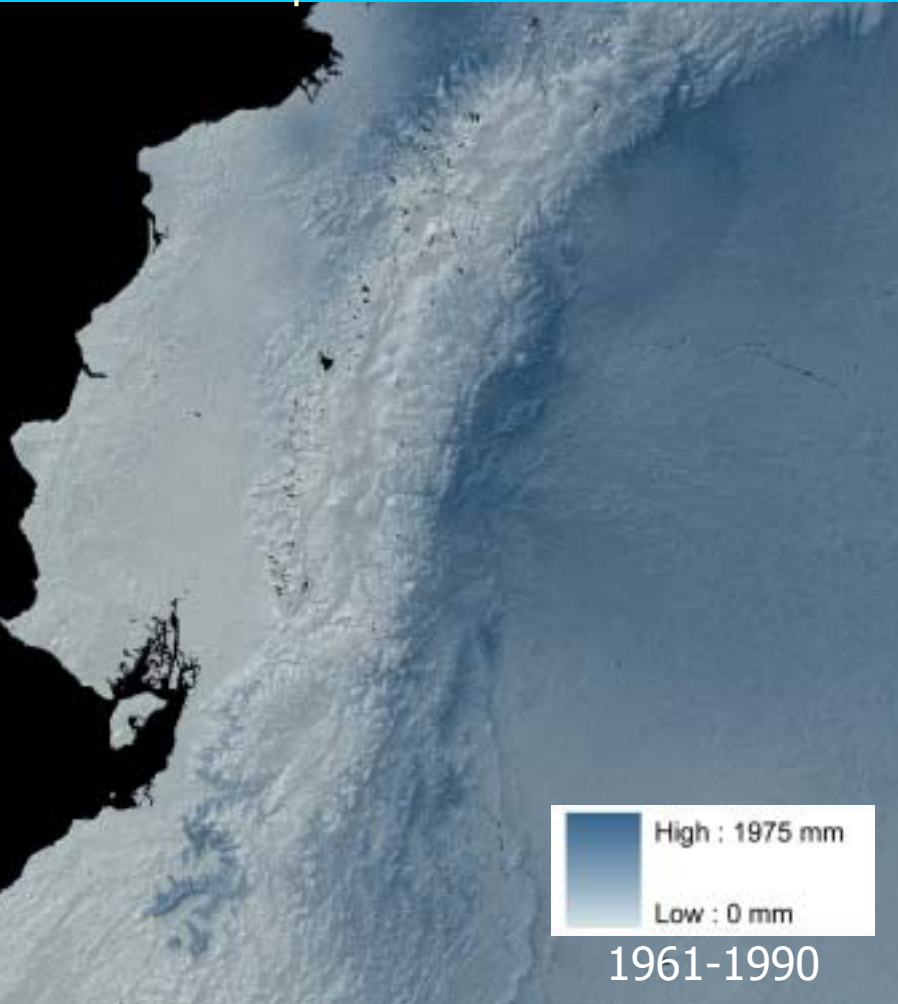
2b: variables bioclimáticas

Temperatura media anual



2b: variables bioclimáticas

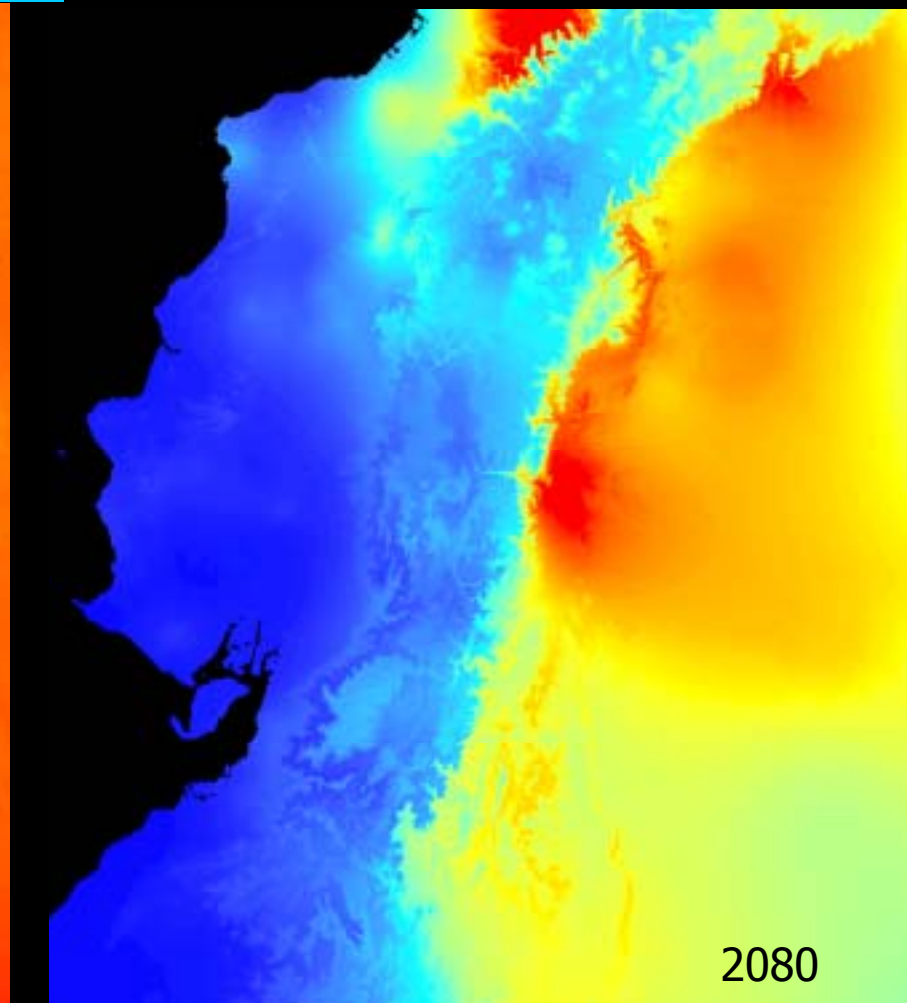
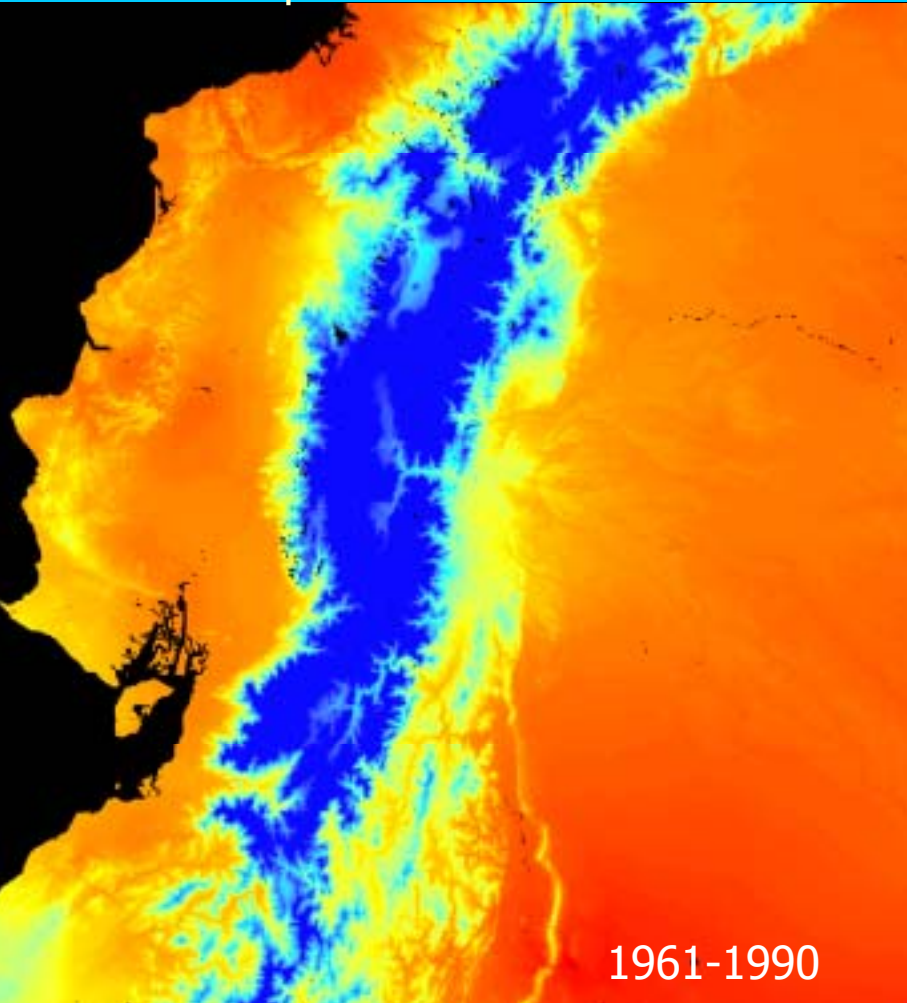
Precipitación del cuatrimestre más frío

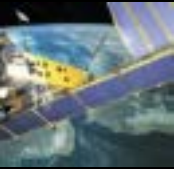




2b: variables bioclimáticas

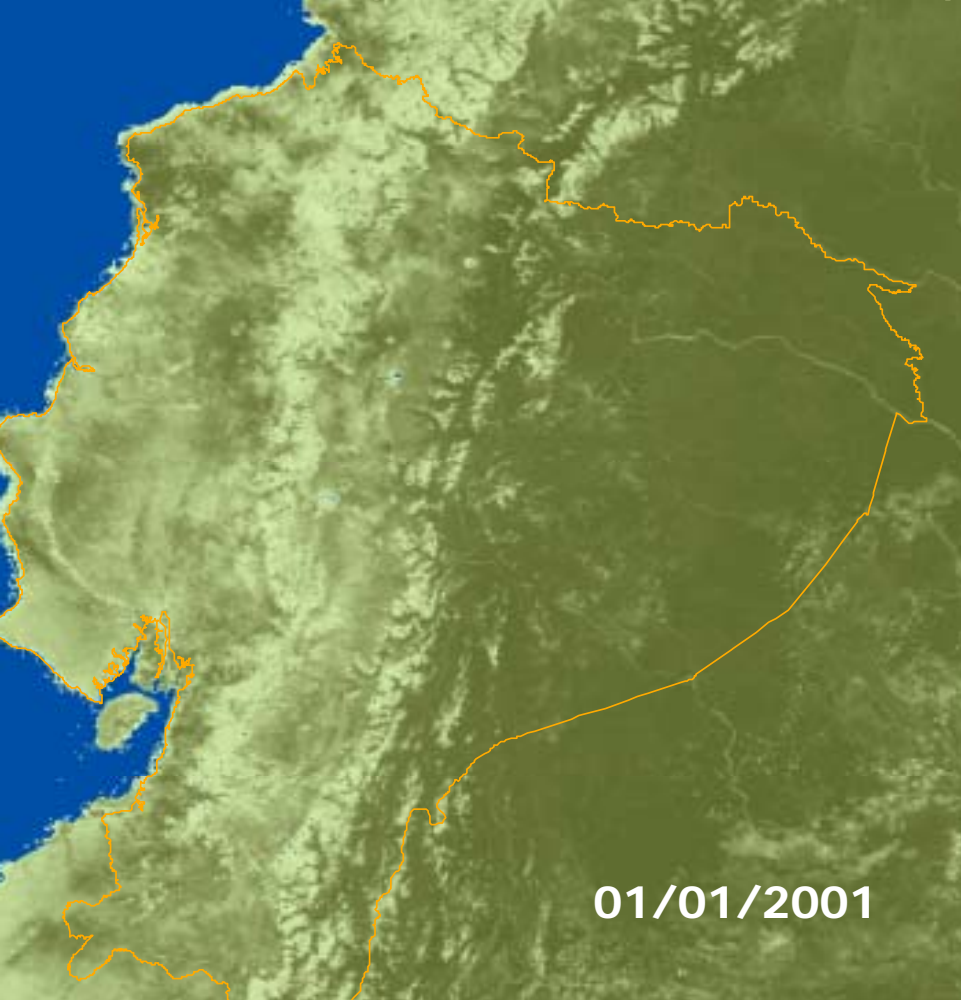
Temperatura del cuatrimestre más frío





2c: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Cobertura vegetal (concentración clorofila)

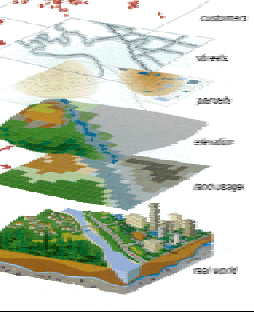


- ◆ El instrumento **VEGETATION** es un sensor óptico del satélite **SPOT** (lanzado en 1998)
- ◆ Las imágenes **VEGETATION** se descargan libremente en:
<http://free.vgt.vito.be/home.php>

| BANDA ESPECTRAL | LONGITUD DE ONDA |
|---|------------------|
| AZUL (B0) | 0,43 – 0,47 m |
| ROJA (B2) | 0,61 – 0,68 m |
| NIR (Infrarrojo próximo) (B3) | 0,78 – 0,89 m |
| SWIR (Infrarrojo medio de onda corta) (MIR) | 1,58 – 1,75 m |

$$\text{NDVI} = (\text{IR} - \text{R}) / (\text{IR} + \text{R})$$

- ◆ 36 periodos de 10 días / año
- ◆ Cobertura, fenología, tipos de vegetación, estado de conservación



3: generación del fichero de muestreo

Orden "Sample" en ArcInfo o ArcView



- ◆ Se eliminan las pseudoausencias situadas a una distancia inferior de 30 km a cualquier presencia.
- ◆ Para cada punto el SIG extrae los valores de:
 - presencia (1) o ausencia (0) de la especie objetivo
 - los valores de las variables independientes
- ◆ ... y generará un fichero similar a éste:

| Pres | Ξ | Ψ | β_01 | β_02 | β_03 | β_04 |
|------|--------|--------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | -78.58 | .1333 | 156 | 133 | 84 | 127 |
| 1 | -78.58 | .0333 | 128 | 121 | 88 | 127 |
| 0 | -76.28 | -.4250 | 252 | 96 | 86 | 437 |
| 1 | -77.01 | -.4333 | 248 | 98 | 87 | 383 |
| 0 | -75.88 | -.4417 | 256 | 95 | 85 | 505 |
| 0 | -79.46 | -.7167 | 250 | 88 | 78 | 691 |
| 0 | -75.76 | -.7750 | 256 | 95 | 85 | 521 |



4: métodos de clasificación

Modelizadores, clasificadores, algoritmos

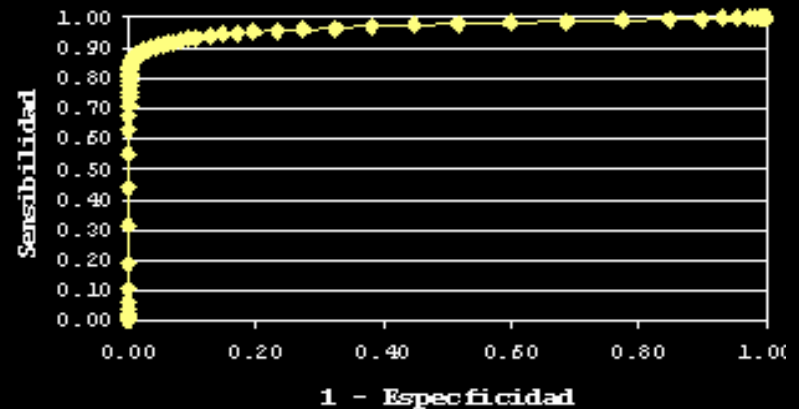
- ◆ **Métodos discriminativos:** utilizan presencias y ausencias.
 - Técnicas de clasificación: **CART**, CTA, TREE.
 - Técnicas de ordenación: CCA, DA.
 - Redes neuronales artificiales: ANN, NNETW.
 - Multivariate adaptive Regression splines (**MARS**)
 - Análisis de regresión (estadísticos parámetros): GLMs (**LMR**) & GAMs
- ◆ **Métodos descriptivos :** no utilizan ausencias.
 - Deductivas: investigación, opinión del experto.
 - Envueltas geográficas: convex hull, Kernel density estimators.
 - Envueltas ambientales: Bioclim, Anuclim, Biomap, Habitat, PCA.
 - Multivariate association methods: **Domain**, ENFA (Biomapper).
 - Algoritmos genéticos: **GARP**.
 - Máxima entropía: **MaxEnt**.

5: validación del modelo

Estimación de la bondad, independiente del umbral

- ♦ La **capacidad predictiva** de los modelos se evalúa como una función del porcentaje de casos correctamente clasificados (presencias y ausencias)
- ♦ El estadístico empleado es **AUC**, es decir el **área bajo la curva ROC** (Receiver Operating Characteristic).
 - AUC = 1.0 significa clasificación perfecta del 100% de los casos
 - AUC = 0.5 es igual al resultado obtenido al azar

| | | |
|------|----------|----|
| | PREDICHO | |
| | 0 | 1 |
| REAL | ----- | |
| 0 | VP | FP |
| 1 | FN | VN |
| | ----- | |



SENSIBILIDAD = $VP / VP + FP$
(Fracción de verdaderos positivos)

ESPECIFICIDAD = $FN / FN + VN$
(Fracción de verdaderos negativos)

5a: validación del modelo

RESULTADOS PARCIALES AUC

| CODESPECIE | CART | LMR | MARS_pa | MARS | DIVA | DIVaPa | GARP | MaxEnt |
|-------------------|-------------|------------|----------------|-------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| 01000001(39) | 0.795 | 0.873 | 0.849 | 0.958 | 1.000 | 0.910 | 0.795 | 0.826 |
| 01000010(56) | 0.873 | 0.918 | 0.927 | 0.998 | 1.000 | 0.936 | 0.918 | 0.934 |
| 01000011(21) | 0.905 | 0.929 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.929 | 0.957 |
| 01000014(25) | 0.953 | 1.000 | 0.996 | 1.000 | 1.000 | 0.826 | 0.948 | 0.935 |
| 01000017(25) | 0.820 | 0.850 | 0.994 | 0.994 | 1.000 | 0.900 | 0.892 | 0.880 |
| 01000028(180) | 0.851 | 0.839 | 0.878 | 0.911 | 0.969 | 0.810 | 0.900 | 0.763 |
| 01000038(21) | 0.970 | 1.000 | 1.000 | 0.667 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.991 |
| 01000039(35) | 0.809 | 0.857 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.843 | 0.874 | 0.885 |
| 01000042(22) | 0.818 | 0.892 | 0.932 | 1.000 | 1.000 | 0.977 | 0.915 | 0.816 |
| 01000047(22) | 0.727 | 0.804 | 0.917 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.938 | 0.850 |
| 01000048(19) | 0.789 | 0.738 | 0.781 | 0.904 | 1.000 | 0.974 | 0.846 | 0.890 |
| 01000057(37) | 0.905 | 0.982 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.972 | 0.945 |
| 01000060(106) | 0.895 | 0.955 | 0.941 | 0.992 | 0.962 | 0.945 | 0.931 | 0.892 |
| 01000063(28) | 0.963 | 0.965 | 0.981 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.898 | 0.932 |
| 01000064(65) | 0.881 | 0.856 | 0.966 | 0.996 | 1.000 | 0.952 | 0.911 | 0.916 |



6: integración en SIG

Generar modelos de idoneidad

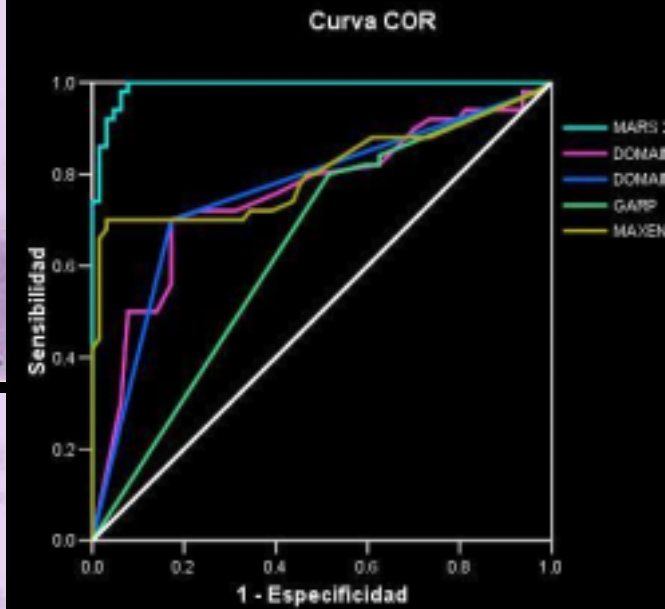
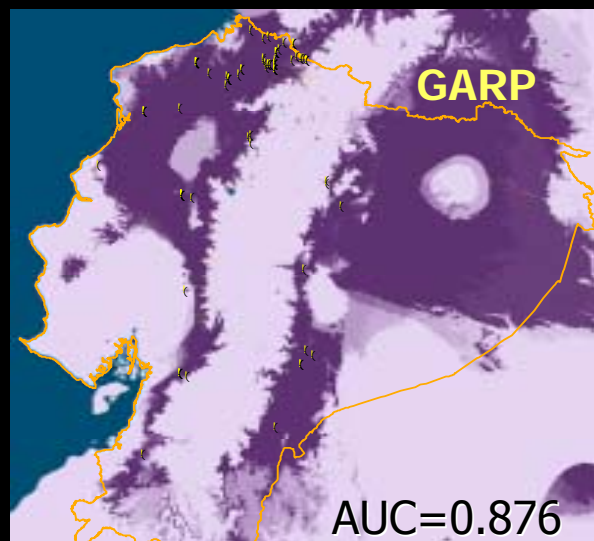
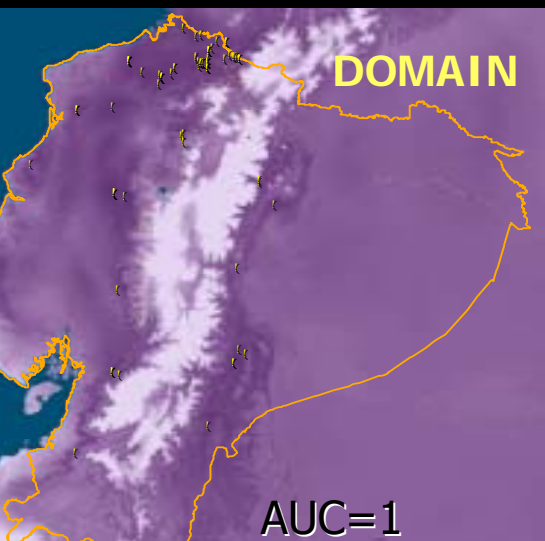
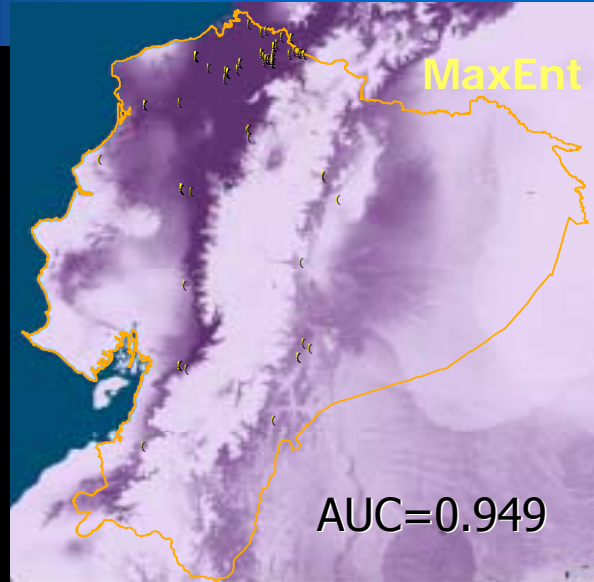
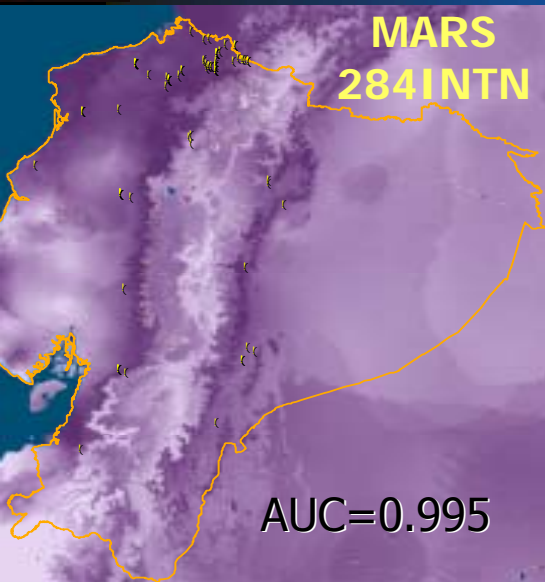
Los resultados obtenidos de los modelos matemáticos deben poder ser traducidos al lenguaje del SIG para generar los modelos espaciales, en nuestro caso Avenue (ArcView) o AML (ArcInfo)

- **LMR**: la ecuación que incluye los coeficientes de la regresión logística se construye de forma muy sencilla
- **CART**: la creación del AML puede llegar a ser diabólica. Los modelos que generan siguen patrones regulares que no se puede explicar desde un punto de vista biológico
- **MARS**: la implementación es inmediata y sencilla. Además los modelos que se obtienen son fáciles de interpretar biológicamente
- **GARP, DOMAIN y MaxEnt**: las salidas son grids

MODELO REALIZADO CON CART →



7: modelo de idoneidad

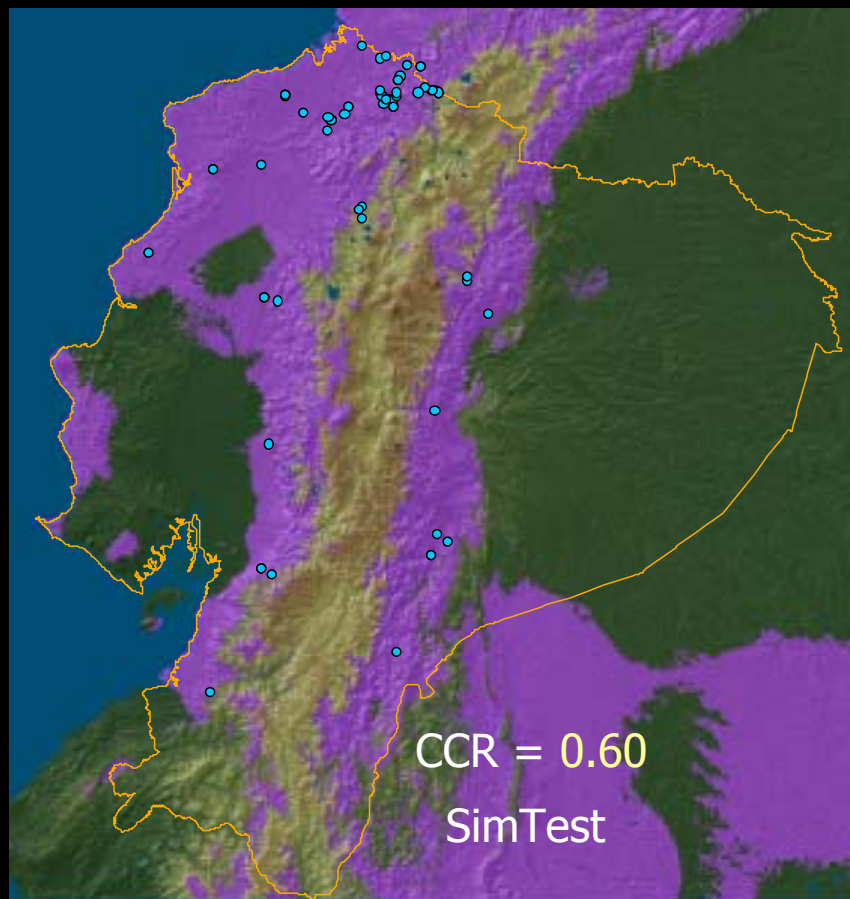


● *Ocotea insularis*

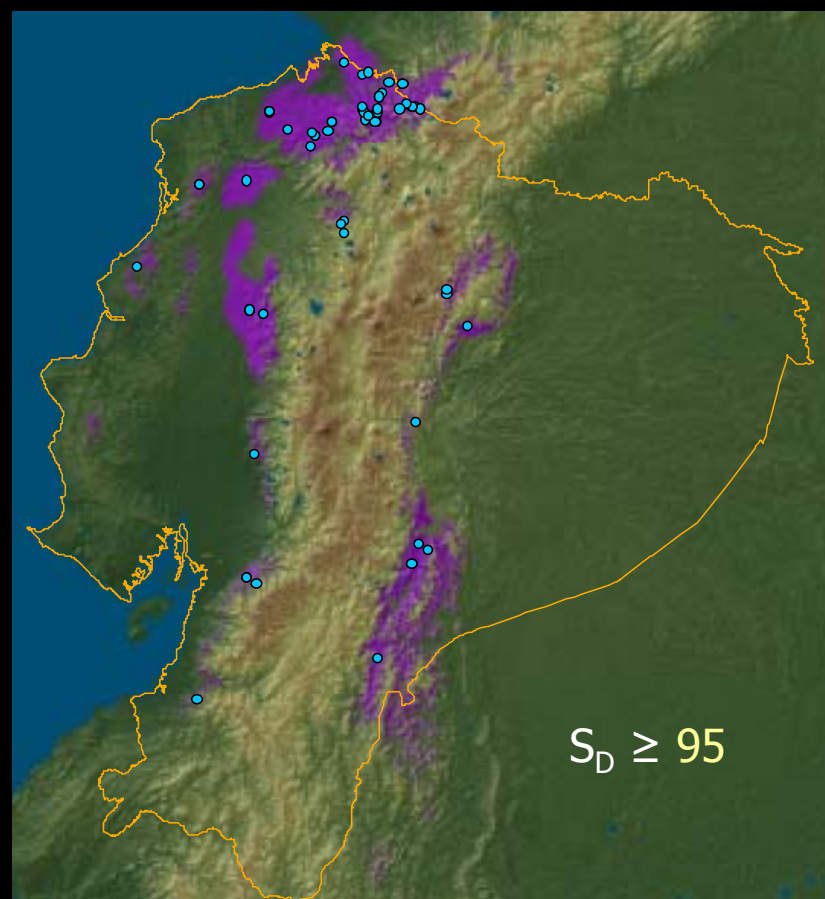
8: estimación del CCR (Correct Classification Rate)

$CCR = \text{prev} \cdot \text{sensibilidad} + (1 - \text{prev}) \cdot \text{especificidad}$

● *Ocotea insularis*



MARS 284INTN, AUC = 0.995

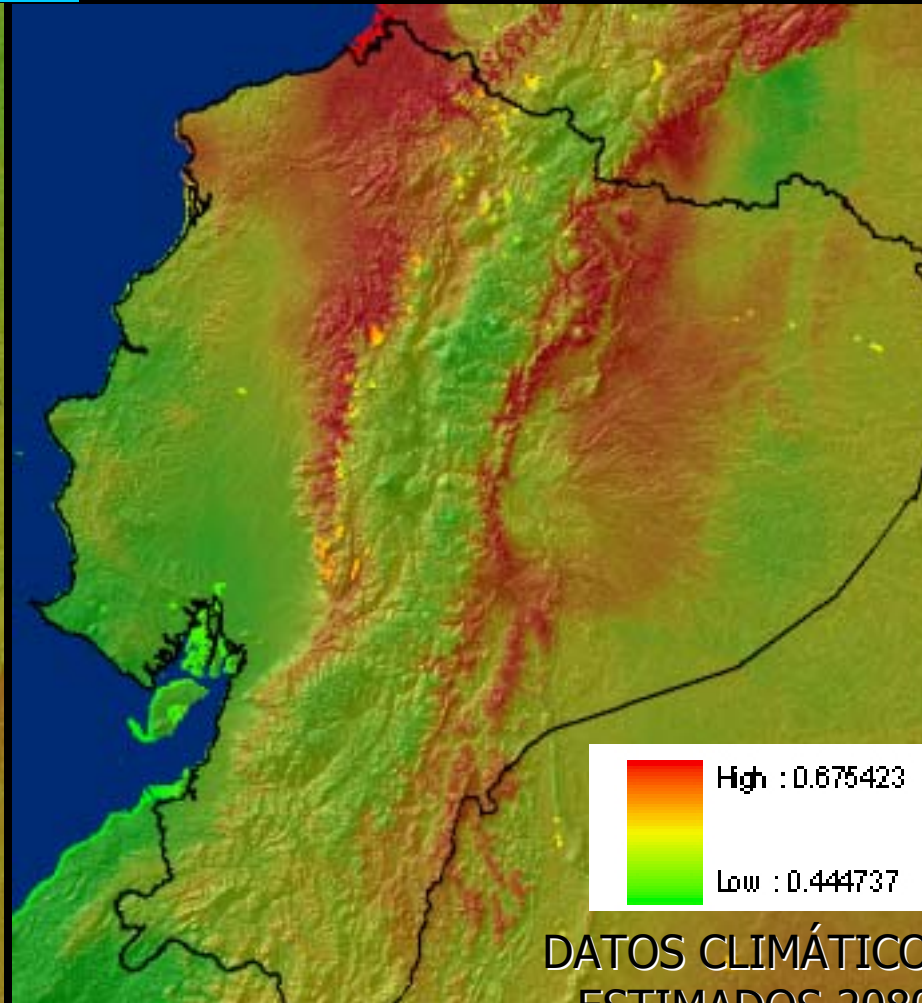
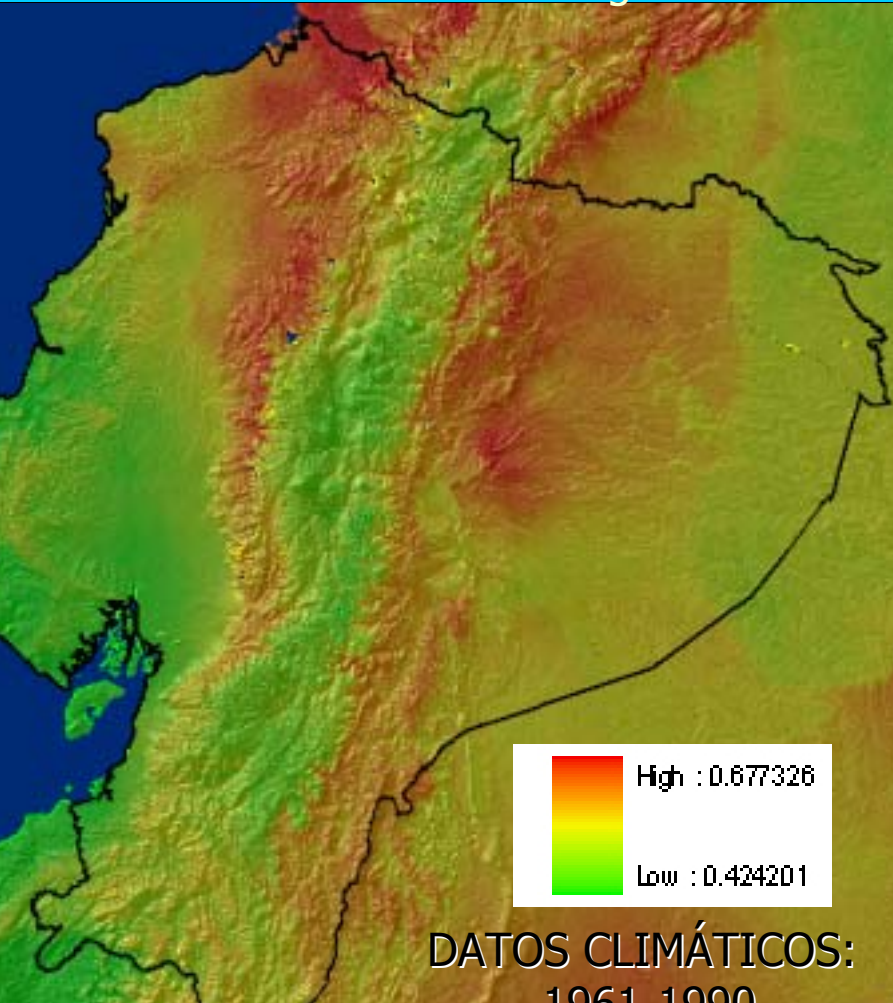


DOMAIN, AUC = 0.1



9: suma modelos de idoneidad

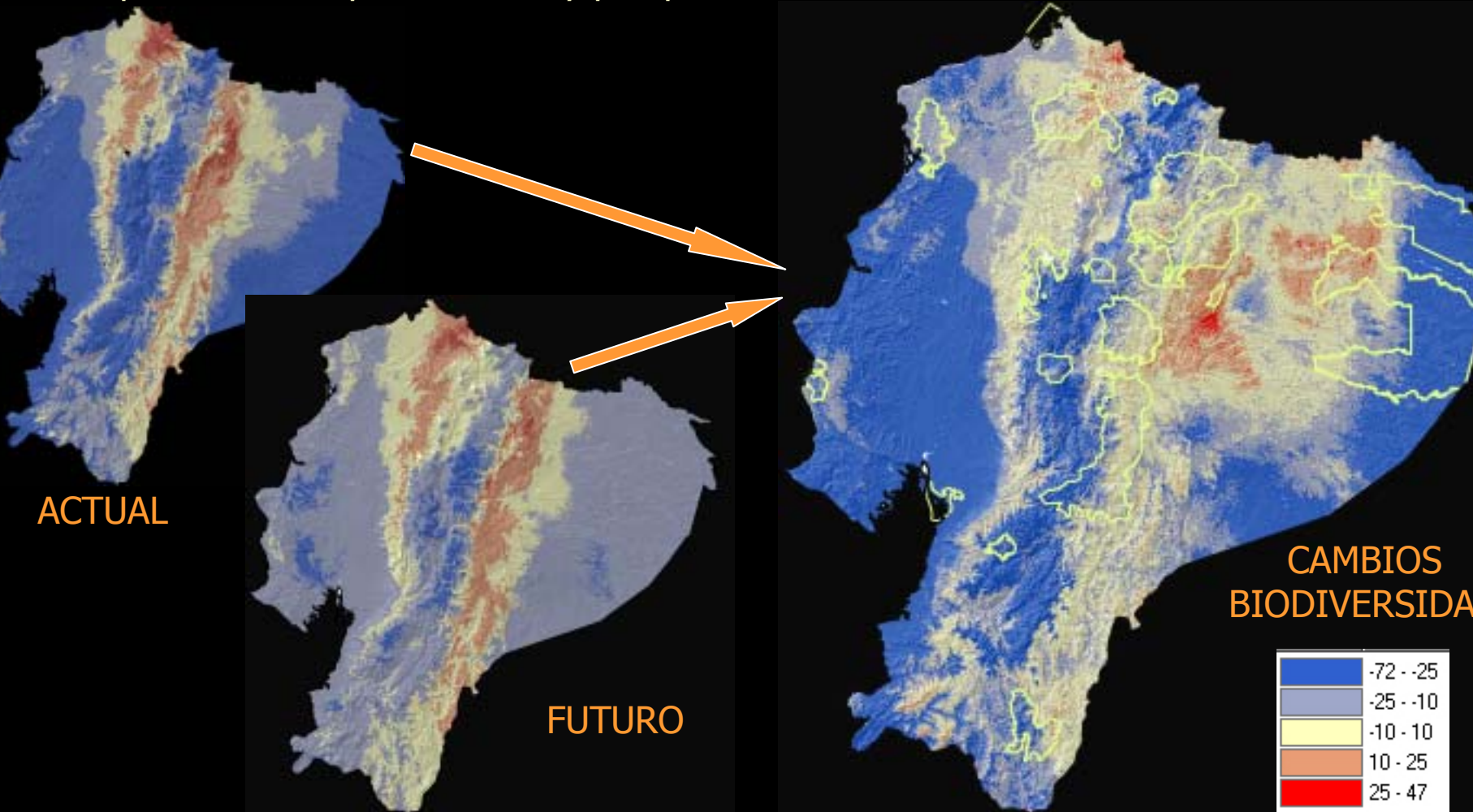
Modelo combinado de MARS del género *Anthurium*

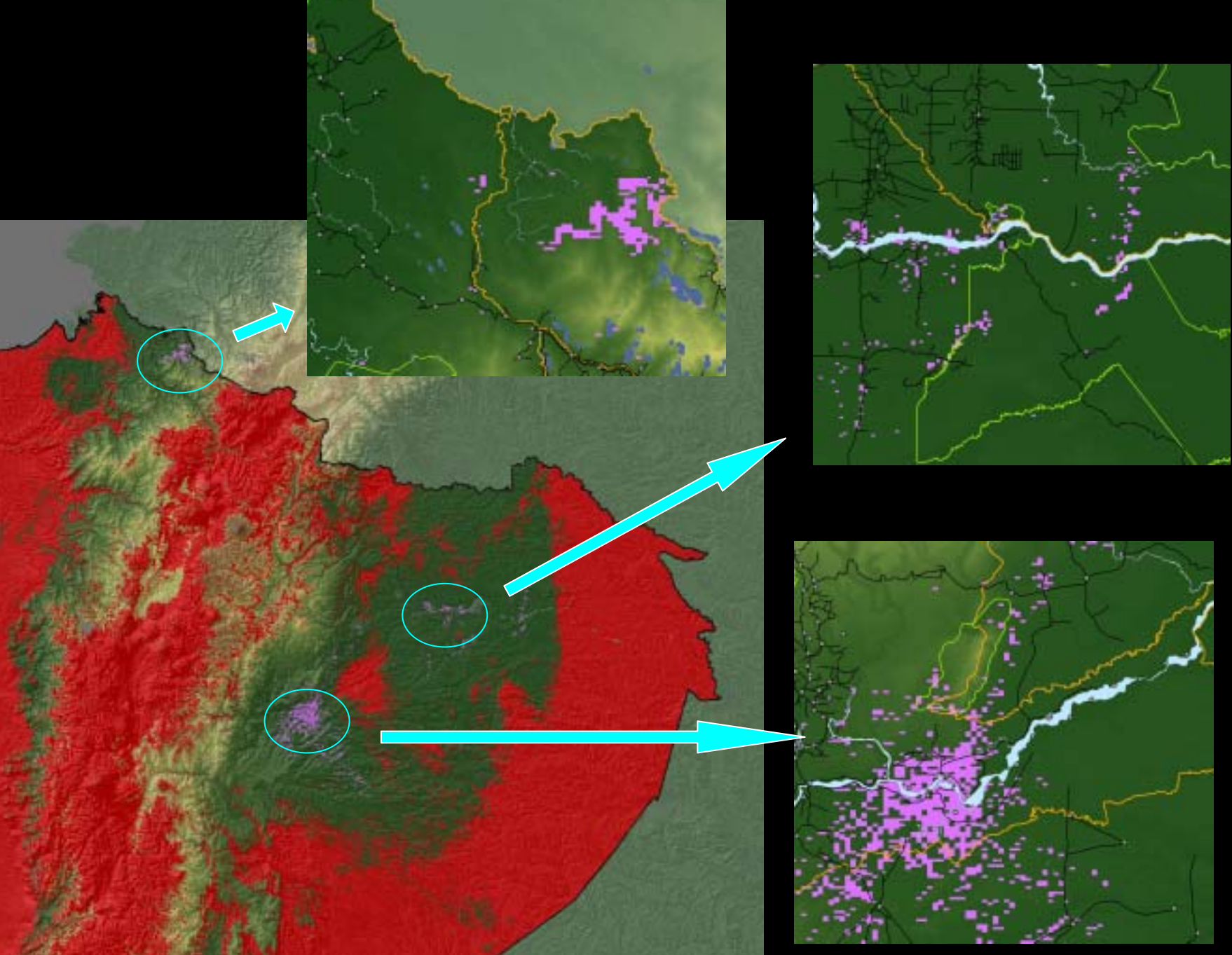




10: toma de decisiones

...nas de preservación, potenciación y prospección







* = Acceso libre y gratuito

- ◆ **ArcView 3.2** (ESRI, <http://www.esri.com/>)
visualización y manejo de la información espacial, modelado de las variables independientes y generación de los archivos de muestreo
- ◆ **SPSS**
CART y MARS (Salford Systems, <http://www.salford-systems.com/>)
DOMAIN* (http://www.cifor.cgiar.org/docs/_ref/research_tools/domain/)
GARP* (<http://www.lifemapper.org/desktopgarp/>)
MaxEnt* (<http://maxent.sourceforge.net/>)
SimTest* (<http://www.wsl.ch/staff/niklaus.zimmermann/programs/progs/>).
construcción de los modelos estadísticos
- ◆ **ArcInfo 7.1** (ESRI)
manejo de la información espacial, modelado de las variables independientes y generación de los archivos de muestreo
- ◆ **ArcGIS 9.1** (ESRI)
no sin dolor, estamos migrando a la nueva versión, que no se parece gran cosa al querido/odiado ArcView



Agradecimientos

Agradecemos la financiación de la Fundación Banco Bilbao-Vizcaya-Argenteria al proyecto (BIOCON-26). Missouri Botanical Garden proveyó datos sobre las plantas a partir de su base de datos TROPICOS.



<http://www.unex.es/eweb/kraken/index.html>