

Las técnicas infográficas aplicadas a la evaluación y utilización de los recursos naturales renovables

Ejemplo en la costa del Ecuador

INTRODUCCION

El contenido de esta exposición tiene que ser ubicado en el contexto de los trabajos de ORSTOM realizados en el Ecuador en el marco del convenio MAG-ORSTOM.

Los resultados obtenidos después de 10 años de trabajos de evaluación de los recursos naturales han sido puestos a disposición de los usuarios bajo formas convencionales: informes, mapas y leyendas explicativas. El almacenamiento, la utilización y la actualización de este conjunto de datos no pueden efectuarse de manera eficiente con una gestión manual.

El ensayo que presentamos es una experiencia de la exploración de esta información por medio de la herramienta informática y que gira en torno de los siguientes centros de interés:

- almacenar sin riesgo y administrar racionalmente los datos recogidos en el transcurso del inventario;
- realizar, en el sector agrícola, ensayos de explotación con objetivos metodológicos;
- establecer un balance comparativo de la utilización del sistema informático y de la base de datos a fin de obtener conclusiones para futuras operaciones similares.

La presentación comprende dos partes:

- la exposición técnica del logicial informático utilizado
- algunos de los diversos ensayos de explotación realizados.

El sistema "Tigre"

El sistema TIGRE, realizado por el departamento infográfico de ORSTOM, es un sistema de gestión de base de datos localizados, organizado según el modelo relacional.

1. Descripción del sistema:

Los módulos desarrollados dentro del sistema TIGRE, son los siguientes:

- a) Un módulo de levantamiento gráfico por digitalizador (zonas, signos, puntos). El levantamiento de los contornos se realiza bajo la forma vectorial, con un control interactivo de la coherencia topológica.
- b) Un módulo de descripción y de levantamiento de la información descriptiva.
- c) Un módulo de integración de los datos en la base: transformar la cuadrícula gráfica en coordenadas geográficas de los datos gráficos integración de los datos descriptivos.
- d) Módulos de interrogación de la base de datos:
 - selección de la proyección geográfica de trabajo y de restitución (MAP).
 - restricciones geográficas por ventanaje (WIND): selección por cortes, coordenadas geográficas, tamaño del pixel.
 - búsqueda temática (QUEST) por:
 - selección de criterios algebraicos o geométricos
 - ordenamientos por cruzamiento de los datos sobre criterios algebraicos
 - ordenamientos geométricos por cruzamiento sobre criterios espaciales
 - impresión de los resultados bajo forma de una lista o de imágenes, a elección
 - síntesis de operaciones algebraicas de base así como cruzamiento de dos imágenes temáticas (THEM).
- e) Un módulo de cartografía automática (CART): creación de segmentos gráficos, de símbolos, de textos, . . .
- f) Dos módulos que permiten una visualización interactiva sobre pantalla gráfica (GIXI) o trazador (BENSON). Se puede así escoger la escala, poner textos sobre los mapas y hasta agregaciones.
- g) Un módulo de cálculos estadísticos (STAT): histogramas, correlaciones, regresiones, etc. . . . Estos cálculos pueden efectuarse en todo momento y permiten modificar, si es necesario, el curso de la interrogación.
- h) Un módulo de creación de atributos por:
 - clasificación (CLAS) con posibilidad de agrupar valores
 - cálculo sobre las variables (CRIS), numéricos o nominales
 - ordenamiento y estadística (COCA) creando así nuevos atributos sobre el resultado de un ordenamiento clásico o geométrico.
- i) Un módulo de integración de los datos satelitarios (STAD), permite poner en relación una imagen satelitaria y la base correspondiente y comprar las dos informaciones (radiometría por una parte, datos de la base por otra).

2. Descripción del material

La computadora utilizada actualmente es un BULL Mini-6; el sistema abarca tres terminales, un disco duro de 80 Mo, una impresora, un lector de cinta magnética.

El material gráfico se compone de:

- una mesa de digitalización BENSON 6301
- una pantalla gráfica color GIXI (Intensidad 320): 256 colores (16 millones de matices posibles)
- una mesa gráfica BENSON 1625, 8 plumas.

LOS DISTINTOS ENSAYOS DE EXPLOTACION

1. La realización de la base de datos

a) Situación de la zona de estudio

Tratándose de un ensayo metodológico, hemos escogido una zona relativamente extensa (para que sea representativa de las regiones estudiadas) y que cubre la mayor parte del Guayas, el Sur de la provincia de Manabí y el extremo occidental de algunas provincias de la Sierra.

Esta región se caracteriza por una extrema diversidad en los siguientes campos:

- El clima presenta una sucesión excepcional: árida en Salinas, tropical húmeda en la llanura central y templado en las laderas de la Cordillera y luego frío en las cumbres de la Sierra.
- Las características morfo-edafológicas son igualmente múltiples: suelos aluviales de las llanuras, cenizas volcánicas sobre las laderas de los Andes y paisajes glaciares de las alturas.
- Finalmente, la utilización actual es muy variada: vegetación natural en las zonas áridas o en altura, agricultura diversificada de las llanuras: huertas y numerosos cultivos de exportación.

Esta gran variabilidad de las características permite efectuar numerosos tipos de tratamientos y de cruzamientos de datos a fin de realizar una gama importante de simulaciones.

b) La información existente

Está contenida en tres documentos cartográficos que han sido publicados:

- el mapa morfo-edafológico en el que los paisajes están definidos por el relieve, el substrato, los suelos y sus características respectivas;
- el mapa de utilización actual que contiene las principales formaciones vegetales naturales (fisonomía, especies dominantes, etc. . . .) y la utilización agrícola de los suelos (tipos de cultivos, plantaciones permanentes y pastos). Están así indicados los ti-

pos de asociación dominantes y los distintos grados de ocupación del suelo.

- el mapa de aptitudes agrícolas es un documento (todavía) más sintético. Las tierras están clasificadas en función de sus limitaciones climáticas y morfo-edafológicas para llegar a una jerarquización en función de sus aptitudes agrícolas según diferentes manejos.

c) La entrada de los datos en la base

Para una explotación óptima mediante un método informático, es necesario trabajar a partir de una información lo más analítica posible. Por lo tanto, ha resultado indispensable remodelar sustancialmente ciertos documentos para extraer los datos analíticos. Esto ha sido realizado en particular para el mapa de aptitudes agrícolas que había sido elaborado en cierta coyuntura para responder a preocupaciones del momento (proyectos de mecanización, de riego o zonificación de cultivos. . .).

La configuración adoptada para la base es la siguiente: se compone de TRES RELACIONES, correspondiendo cada una a una temática definida y dividida en VARIABLES que pueden tomar cierto número de VALORES.

- En la relación "clima", las variables son la temperatura, las precipitaciones y el número de meses secos, estando dividido cada uno según sus valores respectivos.
- En la relación "morfo-edafológica", las variables corresponden a los factores limitantes tales como pendiente, pedregosidad, textura, etc. y los valores en su grado de importancia (porcentaje para la pendiente y la pedregosidad, clases de textura, etc. . .)
- En la relación, "utilización actual del suelo", las variables son las grandes categorías de utilización del suelo: tipos de vegetación, de cultivos, de pastos, y los valores se refieren al porcentaje de ocupación del suelo.

Todo este proceso de reclasificación de la información ha sido realizado paralelamente a una homogeneización de los límites sobre un soporte indeformable.

La fase posterior de entrada en la base, para cada una de las relaciones, consiste en:

- una numerización de los límites bajo una forma vectorial
- la asignación a cada zona de un código de nomenclatura
- una numerización del conjunto de los cuadros calificativos: códigos, variables, valores.

2. Ejemplos de utilización

Los tratamientos efectuados a partir de la información contenida en la base han sido de cuatro tipos:

- el acceso al conjunto de una relación
- la selección de variables y de valores para realizar un documento monotemático
- la combinación entre variables de una misma relación
- el cruzamiento entre dos o más relaciones, a fin de obtener un documento multi-temático.

Las ilustraciones presentadas en el texto provienen exclusivamente de fotografías tomadas sobre la pantalla gráfica GIXI-RADIANCE 320; sin embargo, se pueden obtener tratamientos similares de la información, sobre una mesa gráfica automática de tipo BENSON, en color, o en blanco y negro, sobre soporte de papel o indeformable.

A) Lista de los diferentes tratamientos presentados

- Imagen de la zonificación climática
Acceso al conjunto de la relación "clima": 11 zonas
- Los grandes tipos de la utilización actual del suelo:
Reagrupamiento del conjunto de las variables de la relación "utilización actual del suelo" en 4 clases: vegetación natural, cultivos, pastos, manglares.
- Arboricultura tropical (ver ejemplo)
- Zonificación del arroz.
Extracción en la relación "utilización actual", de la variable "arroz" y de sus 4 valores: monocultivo del arroz, arroz dormitante, asociado, minoritario. Luego, realización de dos ventanas sucesivos, haciendo variar el píxel de 310 m a 180 m luego a 50 m.
- Paisajes físicos (ver ejemplos)
Capa freática
Extracción en la relación "morfo-edafológica" de la variable "capa freática" y de sus dos valores: capa en superficie y en profundidad.
- Inundaciones.
Extracción en la relación "morfo-edafológica de la variable riesgo de inundación" y de sus 4 valores: regulares y generalizadas regulares y puntualizados, irregulares y generalizados, irregulares y puntualizados. Comparación con la imagen de las inundaciones del invierno 1982-1983.
- Zonificación del algodón (ver ejemplo)
- Determinación de los riesgos de erosión por movimientos de masa, por cruzamientos sucesivos entre las diversas relaciones:
 - a) En la relación clima, determinación de las condiciones climáticas favorables a la aparición de movimientos de masa; 2 niveles: existencia del riesgo, ausencia.
 - b) En la relación "morfo-edafológica", evaluación de la susceptibilidad de los suelos en lo que a movimientos de masas se re-

fiere (pendiente x textura x discontinuidad de textura). Obtención de 4 niveles de susceptibilidad: ausencia, riesgos localizados, riesgos extendidos, riesgos generalizados.

- c) Cruzamiento de las dos relaciones precedentes ($a \times b = c$) y determinación de los riesgos potenciales clima x morfo-edafo-logía según los 4 niveles citados en el párrafo b.
- d) Estimación, a partir de la relación "utilización actual", del grado de protección asegurada por la cobertura vegetal y obtención de 3 niveles: muy buena protección, buena protección, mala protección.
- e) Cruzamiento de las relaciones c y d con el fin de determinar los riesgos reales clima x morfo-edafo-logía x protección de la cobertura vegetal. Este resultado definitivo destaca 3 niveles de riesgos: ausentes, localizados, extendidos.

B) Lista de los tratamientos realizados pero no presentados

- Profundidad de los suelos
- Rocas y pedregosidad
- Fertilidad de los suelos
- Clases de pendientes
- Textura y pedregosidad
- Relieve y dirección
- Zonas volcánicas
- Zonas irrigables
- Zonas mecanizables
- Los pastos y el marco climático
- Riesgos de erosión por gravedad.

C) Explicación (detallada) de tres ejemplos de tratamiento

La Arboricultura Tropical

- **Problema:** Definición de las zonas de arboricultura tropical, localización, densidad, los diferentes tipos y su respectiva importancia.
- **Información seleccionada:** Relación - utilización del suelo
 - variables
 - café
 - cacao
 - mangos
 - cítricos
 - Asociación café - cacao - banano.
 - valores
 - Exclusivo 4
 - Dominante 3

- Asociado 2
- Minoritario 1

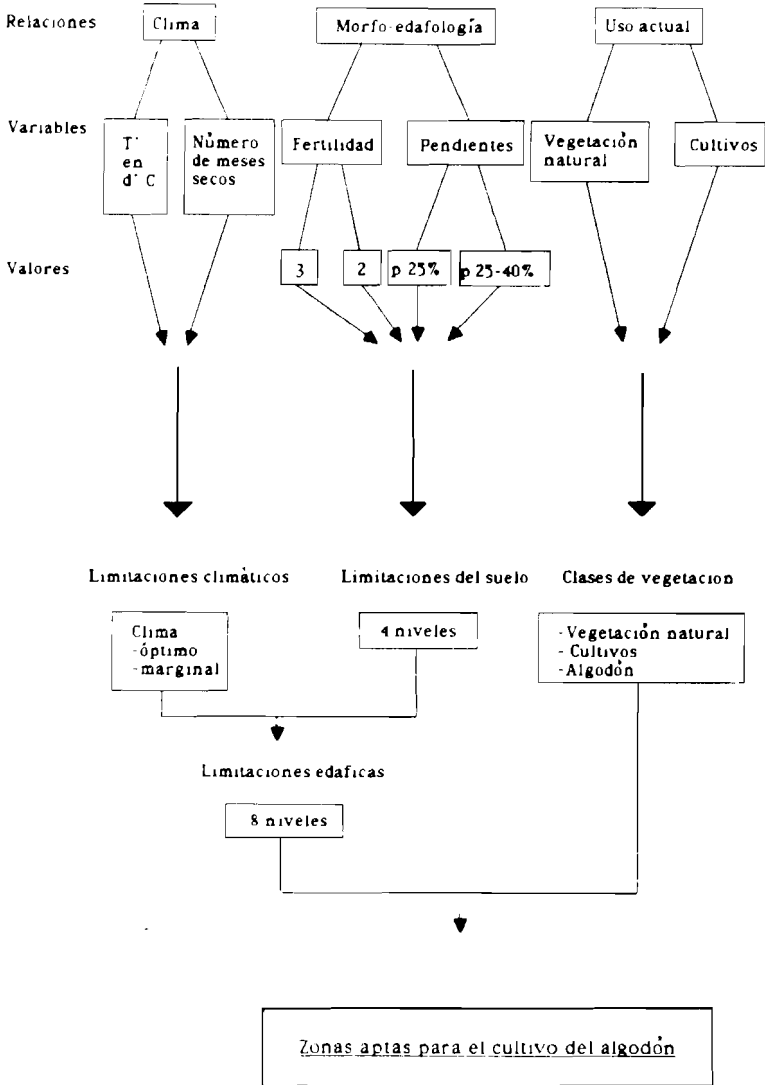
- **Tratamientos:**

- Selección del conjunto de la ventana de estudio (módulo WIND)
- Reagrupamiento en 2 clases para cada una de las variables (módulo CLAS):
 - principales (4,3)
 - secundarios (2,1)
- Resultados (módulos THEM - LIST) = 10 clases
- Manipulación sobre pantalla Radiance 320 (módulo GIXI) (ver gráfico No. 1)
- Primer agrupamiento: ausencia (gris); presencia (celeste)
- Segundo agrupamiento: cultivo principal (azul), secundario (azul celeste)
- Tercer agrupamiento: los diferentes tipos =
 - café (verde)
 - cacao (rojo)
 - mangos (marrón)
 - cítricos (amarillo)
 - no diferenciado (azul)
- Cuarto agrupamiento: para cada tipo, cultivo principal (color oscuro) o secundario (color claro).

LOS PAISAJES FISICOS

- **Problema:** División de la zona de estudio en "grandes" paisajes físicos.
- **Información seleccionada:** Relación morfo-edaforología
 - Variables: Código de nomenclatura
 - Valores: Todos
- **Tratamiento:** Selección del conjunto de la ventana de estudio (módulo WIND)
- Reordenamiento del conjunto de las variables: código de nomenclatura por conjuntos genéticos coherentes (módulo CLAS)
- Resultados: 17 tipos de paisajes homogéneos (módulo THEM-LIST)
- Manipulación sobre pantalla Radiance 320 (módulo GIXI) (ver lámina No. 2).
- La cordillera de los Andes:
 - las herencias glaciares: azul claro
 - la Sierra volcánica alta: azul celeste
 - las cuencas intra-andinas: azul turquesa
 - las vertientes externas: azul violeta
- La cordillera Costanera:

Gráfico 1
ZONIFICACION DEL ALGODON



- los relieves volcánicos y volcano-sedimentarios: violeta
- los niveles (de aplanamiento encaramados): negro
- Los relieves de las colinas arcillosas a arcillo areniscas
 - las colinas altas: café oscuro
 - las colinas medianas: café claro
 - las colinas bajas: café amarillo
- Los relieves sedimentarios estructurales areniscas:
 - las superficies tabulares: amarillo
 - los abruptos circundantes: amarillo anaranjado
 - las superficies monoclinales: rosado
 - los abruptos circundantes: rojo
- Las llanuras
 - los esparcimientos de piedemonte: anaranjado
 - la llanura alta ondulada: verde claro
 - la llanura baja aluvial, inundable: verde oscuro
 - las zonas fluvio-marinas (manglares, cordones litorales, etc.): gris.

ZONIFICACION DEL ALGODON

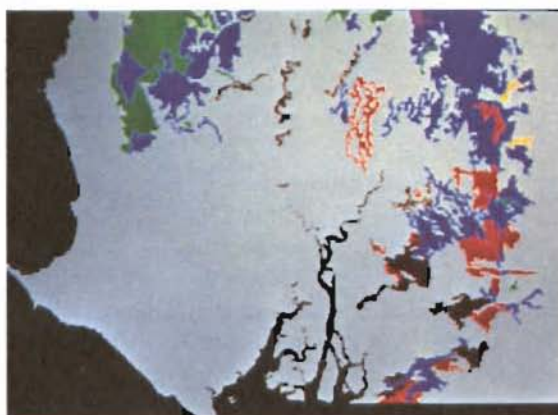
- **Problema:** Definición de las zonas aptas para el cultivo del algodón, tomando en cuenta las limitaciones edáficas y la utilización actual del suelo.
- **Información seleccionada**
 - Relación 1: Clima
 - Variables: - temperatura Valores: $t^{\circ} < 22^{\circ}$
 - número de meses secos Valores: 2(8 a 10, 4 a 8)
 - Relación 2: Morfo-edafológica
 - Variables: - pendiente Valores: 0,5, 5-12, 12-25, 25-40 o/o
 - fertilidad Valores: 3 (buena), 2 (moderada)
 - Relación 3: utilización actual del suelo
 - Variables: Todas Valores: Todos
- **Tratamientos** (cf. gráfico 1)
- Selección del conjunto de la ventana de estudio (módulo WIND)
- En la relación "clima"
 - Reagrupamiento de los valores de los atributos en 2 clases (módulo CLAS)
 - Resultados (módulos THEM - LIST): 2 zonas
 - Manipulación sobre pantalla Radiance 320 (módulo GIXI) (ver lámina 2, foto 1).
 - Clima óptimo: anaranjado
 - Clima marginal: azul
- En la relación "morfo-edafológica"
 - Reagrupamiento de los valores de las pendientes en 2 clases (módulo CLAS)

Lamina 1
ARBORICULTURA TROPICAL

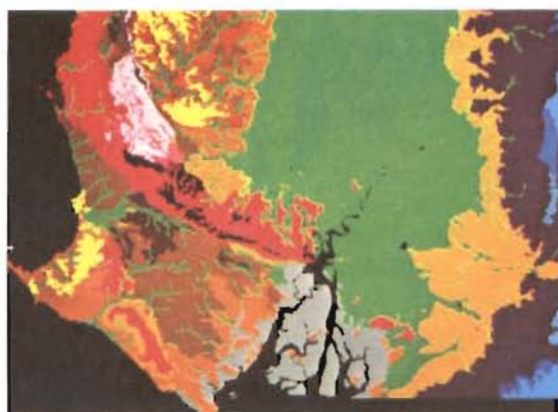
1
Ausencia,
presencia



3
Los diferentes
tipos

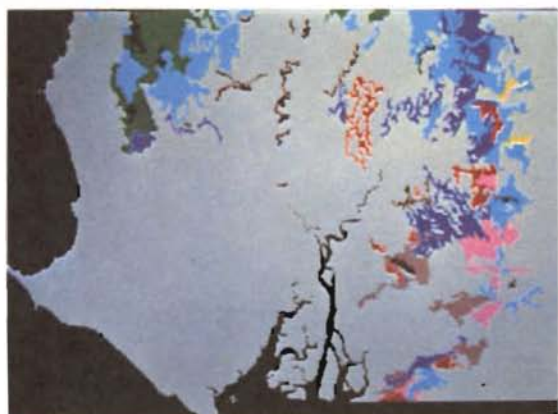


PAISAJES FISICOS





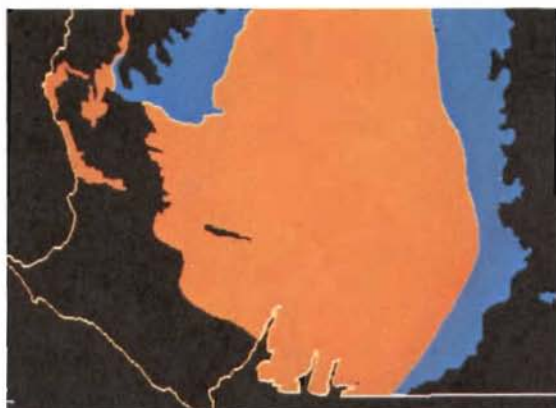
2
Cultivo
principal o
secundario



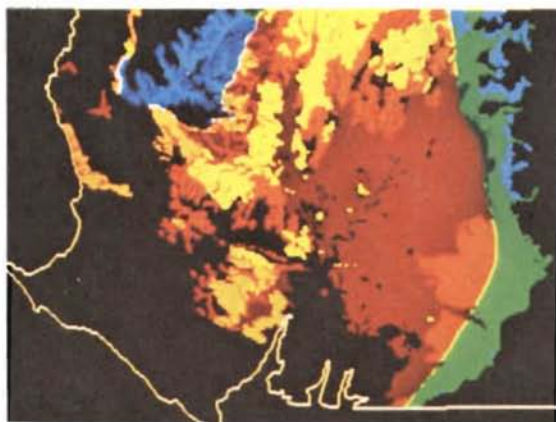
4
Importancia de
los diferentes
tipos

Lamina 2
ZONIFICACION DEL ALGODON

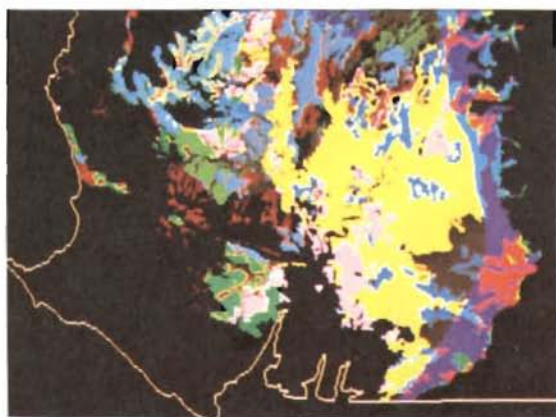
1
Limitaciones
climáticas

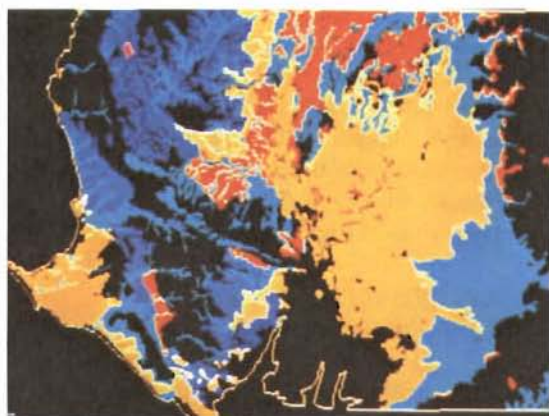


3
Cruzamiento:
limitaciones
climáticas y
morfo-pedológicas

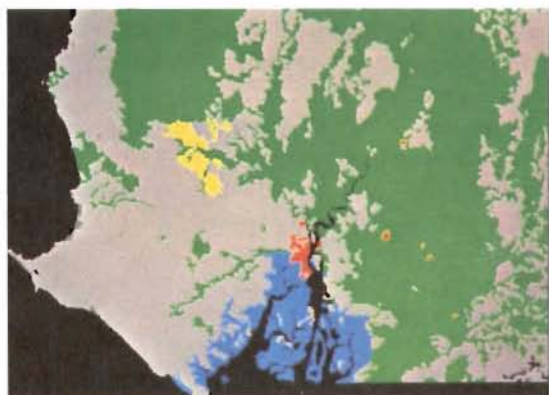


5
Cruzamiento:
actual y
potencial
(datos brutos)

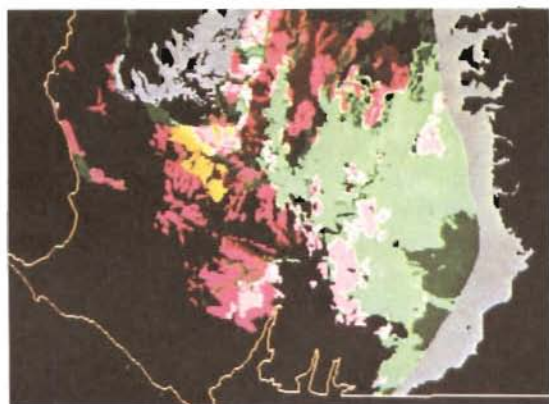




2
Limitaciones
morfo-pedológicas



4
Uso actual



6
Cruzamiento:
actual y potencial
(datos seleccionados)

- . Pendiente < 25 o/o zonas fácilmente mecanizables
- . Pendientes 25-40 o/o zonas difícilmente mecanizables
- 2 clases de fertilidad
- Cruzamiento (módulo THEM-LIST) y resultados: 4 niveles
- Manipulación sobre pantalla Radiance 320 (módulo GIXI) lámina 2, foto 2).
 - zonas fácilmente mecanizables y buena fertilidad: amarillo
 - zonas fácilmente mecanizables y fertilidad moderada: azul claro
 - zonas difícilmente mecanizables y buena fertilidad: azul oscuro
 - zonas difícilmente mecanizables y fertilidad moderada: rojo
- Creación de una nueva relación (4) por cruzamiento de las 2 anteriores.
 - Resultados (módulos THEM - LIST): 8 niveles
 - Manipulación sobre pantalla Radiance (módulo GIXI) lámina 2, foto 3)
 - 8 niveles de limitaciones edáficas; así
 - . en el centro de la foto se reconoce la zona de clima óptimo con colores que van del amarillo al rojo según el grado de las limitaciones morfo-edafológicas .
 - . Alrededor, la zona de clima marginal los colores van del verde al azul, siguiendo las limitaciones morfo-edafológicas .
- En la relación utilización actual del suelo.
 - Reagrupamiento (módulo CLAS) de las variables y de sus valores en función del tipo de utilización.
 - Resultados (módulos THEM - LIST): 4 tipos de vegetación
 - Manipulación sobre pantalla Radiance (módulo GIXI) (lámina 2, foto 4)
 - la vegetación natural en gris
 - el manglar en azul
 - el algodón en amarillo
 - los otros cultivos en verde
- Creación de una nueva relación (5) por cruzamiento de las dos anteriores.
 - El resultado del cruzamiento (módulos THEM - LIST) hace aparecer (módulo GIXI) sobre la pantalla una imagen (lámina 2, foto 5) completa de todas las zonas que corresponden al problema planteado.
 - Esta imagen, por ser complicada, se puede por manipulación de los colores sobre la pantalla simplificar la visualización reteniendo únicamente ciertos niveles de limitaciones. Así, sobre la foto 6 de la lámina 2, solo nos interesamos en la zonificación del algodón, en la zona de clima óptimo (transformando en gris todas las zonas correspondientes al clima marginal).
 - En amarillo, aparecen las zonas actualmente cultivadas con algodón. En los matices rojos (la gradación de color correspondiente a 3 niveles de limitaciones morfo-edafológicas) las zonas con vegetación natu-

ral.

En los matices verdes (con diferentes tonalidades de color según las mismas limitaciones morfo-edafológicas) las zonas de cultivo variado en las cuales la extensión del color correspondiente al algodón planteará un problema de reconversión de los cultivos.

CONCLUSION

Al término de esta experiencia, ¿cuáles son las enseñanzas que conviene destacar?

- Las principales dificultades encontradas son las siguientes:
 - El proceso de preparación de los documentos necesarios para la constitución de la base de datos, resultó muy difícil ya que fue necesario extraer una información analítica, más sintética, contenida en los mapas y leyendas publicados.
 - La constitución de los ficheros gráficos (levantamiento de los límites en un proceso relativamente largo, puesto que han sido necesarias alrededor de diez semanas para efectuar la numerización de 15.400 cm² de mapa cuya precisión respeta las normas clásicas. La utilización de un scanner permitiría un importante ahorro de tiempo en la numerización, pero exigiría programas de tratamiento más complejos, más largos y de menor confiabilidad, sin contar un costo de inversión más alto.
 - Una explotación eficiente del sistema solo puede realizarse por alguien que posee un buen conocimiento del terreno y de los documentos de la base. Esto implica obligatoriamente un intermedio especializado entre el sistema y el utilizador.
- En cambio, la utilización de un sistema informático para explotar los resultados de un inventario presenta ventajas decisivas.
 - La gran mayoría de los tratamientos pueden realizarse muy rápidamente.
 - Los accesos a la información son múltiples: de la simple salida monotemática a los cruzamientos sucesivos multitemáticos.
 - La presentación de los documentos finales (3) puede realizarse sin dificultad a escalas diferentes, respetando sin embargo el nivel de precisión de la información de base.
 - El sistema es una base evolutiva que permite una actualización de los datos, tanto gráficos como numéricos.
- Desde el punto de vista metodológico, nos parece interesante valorizar por vía numérica los resultados de un inventario cartográfico. Sin embargo, para explotar de modo eficiente tal sistema, es necesario concebir desde la fase inicial del inventario, un método de trabajo perfectamente compatible con el proceso ulterior de tratamiento infográfico.