

IMPACTO AMBIENTAL Y SOSTENIBILIDAD AGRICOLA

La Contribución de los Sistemas de Informaciones Geográficas

Evaristo E. de Miranda / Alejandro J. Dorado / Marcelo Guimarães

João Alfredo Mangabeira / José R. Miranda



INDICE

- 7 **SOBRE LOS AUTORES**
- 9 **PRESENTACION**
- 11 **INTRODUCCION**
- 13 **ASPECTOS CONCEPTUALES**
Sostenibilidad agrícola: el necesario enfoque espacial y temporal.
Relaciones entre el uso de las tierras y los sistemas de producción.
Relaciones entre usos de la tierra y el impacto ambiental
a nivel de finca y región.
La externalización de los costos ambientales.
- 19 **SISTEMAS DE INFORMACIONES GEOGRAFICAS**
GIS: estructura e interés.
GIS: modelo de datos y aplicaciones.
GIS y sostenibilidad agrícola: objetivos del proyecto.
- 23 **METODOLOGIA PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD AGRICOLA**
Capacidad de uso agrícola de las tierras.
Uso actual de las tierras y sistemas de producción.
Impacto ambiental de la agricultura.
Sostenibilidad agrícola.
- 33 **EJEMPLOS DE RESULTADOS OBTENIDOS**
El proyecto de GIS estructurado y sus planes de información.
Ejemplos de los resultados obtenidos.
- 77 **DISCUSION Y CONCLUSIONES**
Capacidad del uso agrícola de las tierras.
Uso actual de las tierras.
Impacto ambiental de la agricultura.
Evaluación de la sostenibilidad agrícola.
Escenarios para aumentar la sostenibilidad agrícola.
- 87 **AGRADECIMIENTOS**
- 88 **BIBLIOGRAFIA**

LISTA DE FOTOGRAFIAS

1. Mapa hipsométrico.
2. Mapa pedológico.
3. Mapa de erodibilidad.
4. Mapa de capacidad de uso de las tierras.
5. Detalle de imagen del satélite SPOT de la región de Campinas (composición en color verdadero).
6. Detalle de imagen del satélite SPOT de la región de Campinas (pancromática).
7. Detalle de imagen del satélite SPOT de la región de Campinas (con bosques clasificados).
8. Mapa del uso actual de las tierras.
9. Mapa del uso de nitrógeno (kg/ha/año).
10. Mapa del impacto ambiental de las actividades agrícolas sobre la vegetación natural.
11. Mapa de síntesis del impacto ambiental de las actividades agrícolas.
12. Mapa de empleo (hombre/ha/año).
13. Mapa de la sustentabilidad económica y ambiental.
14. Mapa de la sustentabilidad social y ambiental.
15. Mapa de adecuabilidad del uso de las tierras.
16. Mapa de adecuabilidad de la localización de los usos.

SOBRE LOS AUTORES

EVARISTO E. DE MIRANDA, es Doctor en Ecología y Presidente de ECOFUERZA-Investigación y Desarrollo.

ALEJANDRO J. DORADO, es M.Sc. en Ecología y Coordinador de Proyectos de ECOFUERZA-Investigación y Desarrollo.

MARCELO GUIMARÃES, es Gerente de Agroprocesamiento de ECOFUERZA-Investigación y Desarrollo.

JOÃO ALFREDO MANGABEIRA, es Ingeniero Agrónomo, Investigador del Núcleo de Monitoreamiento Ambiental de las Empresa Brasileira de Investigación Agropecuaria, NMA/EMBRAPA.

José R. MIRANDA, es Doctor en Ecología y Jefe del Núcleo de Monitoreamiento Ambiental, de la Empresa Brasileira de Investigación Agropecuaria, NMA/EMBRAPA.

ECOFORÇA-Pesquisa e Desenvolvimento.
Rua José Inocencio de Campos, 148
CEP: 13024-230-Cambú
Campinas, Sao Paulo, Brasil
Fax (+55-192) 540343
e-mail: MIR@ecof.org.br

PRESENTACION

Los sistemas agrícolas y de uso del suelo son la resultante de la interacción de numerosas variables físico-biológicas y socio-culturales, que se relacionan entre sí desde el nivel local hasta el global, y en horizontes de tiempo que van desde el muy corto al muy largo plazo.

Frente a semejante complejidad, los investigadores y agentes de desarrollo frecuentemente nos vemos obligados, en la práctica, a reducir el problema a modelos muy simplificados, con muy pocas variables que interactúan bajo modalidades bien conocidas y manipulables.

Uno de los supuestos más frecuentes de dichos esfuerzos reduccionistas, es que las tecnologías o sistemas alternativos que estudiamos, adaptamos o validamos en una determinada escala geográfica o espacial, siguen siendo aplicables al masificarlos en una escala distinta.

Como ha sido demostrado en numerosas ocasiones, este supuesto está en la base de muchas de las limitaciones de la investigación y el desarrollo agrícola. El ejemplo típico es el de proyectos que crean las condiciones de su propio fracaso al incrementar ciertas producciones más allá de los límites de la capacidad de los mercados para absorberlas sin un colapso en el transporte, el almacenamiento, el procesamiento o en los precios.

Esta dificultad para procesar los efectos del cambio de escala, ha sido destacada como uno de los más importantes obstáculos en la construcción de métodos e indicadores que nos permitan evaluar la sostenibilidad ambiental de una nueva tecnología, un nuevo sistema de producción o un nuevo sistema de uso del suelo.

El proyecto cuyos resultados se presentan en esta publicación, aporta una metodología para la evaluación del impacto ambiental y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, basada operacionalmente en el uso de Sistemas de Informaciones Geográficas y, conceptualmente, en la noción de heterogeneidad espacial y en la integración de diversas unidades de observación que van desde el sistema de cultivo o de producción animal, hasta la microregión (acotada en este caso al territorio municipal).

Para RIMISP es motivo de gran satisfacción haber colaborado al desarrollo y validación de esta nueva aproximación metodológica, a la vez científicamente rigurosa y operacionalmente «amigable», que, a través de esta publicación, ponemos al servicio de las instituciones latinoamericanas que persiguen el desarrollo sostenible de las comunidades campesinas y del espacio rural.

INTRODUCCION

Los Sistemas de Informaciones Geográficas, GIS, son herramientas cada vez más utilizadas en los procesos de planificación económica, territorial y ambiental. Este trabajo presenta un ejemplo de aplicación de los GIS en la evaluación del impacto ambiental de la agricultura y en la caracterización de la sostenibilidad agrícola y de posibles escenarios de desarrollo para una microrregión (Municipio de Campinas, San Pablo, Brasil).

La metodología que permitió lograr esos resultados fue desarrollada a través de un proyecto de investigación propuesto y ejecutado por la organización no gubernamental brasileña **ECOFUERZA -Investigación y Desarrollo**, en el ámbito del programa de desarrollo metodológico de la Red Internacional de Metodología de Investigación de Sistemas de Producción (RIMISP), y con el apoyo financiero del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), de Canadá. El proyecto ha tenido la colaboración técnica y científica de investigadores y técnicos del Núcleo de Monitoreamiento Ambiental y de Recursos Naturales por Satélite (NMA/EMBRAPA), y del Núcleo de Ciencias y Aplicaciones de Tecnologías Espaciales de la Universidad de Campinas (NUCATE/UNICAMP).

Los resultados obtenidos a lo largo del proyecto dieron lugar a una serie de publicaciones y están disponibles mediante un acceso electrónico remoto, vía Internet, en *World Wide Web* en las estaciones de trabajo de **ECOFUERZA** (<http://www.ecof.org.br>).

El objetivo de este breve documento es presentar los métodos desarrollados y los resultados obtenidos por el proyecto de forma pedagógica y en lenguaje simple. Se destina a lectores que tienen interés en conocer las posibilidades que ofrece el GIS para investigadores, responsables de programas de desarrollo y planificación, así como para los gestores de políticas públicas (en particular agrícolas y ambientales), pero que aún no son especialistas o usuarios de esta técnica.

En la primera parte del documento se presentan una serie de preguntas específicas, que pueden ser abordadas de forma multidisciplinaria y holística, en base a la metodología desarrollada en el proyecto por **ECOFUERZA**, vinculadas a las temáticas de uso de tierras, sistemas de producción, impacto ambiental, sostenibilidad agrícola y desarrollo rural.

En la segunda parte se presenta, en forma introductoria, una explicación general de los principales conceptos, etapas, procedimientos y estructuras que constituyen un GIS.

De los cincuenta mapas temáticos y sintéticos generados por el proyecto, en la tercera parte del documento, se presentan fotografías de dieciséis ejemplos, incluyendo imágenes de satélite. A pesar del carácter estático y limitante del soporte del papel, para expresar los recursos visuales, numéricos, cartográficos y dinámicos que pueden ser producidos en una pantalla de computadora por un *software* de GIS, las imágenes ayudan a ilustrar parte de los resultados obtenidos.

Los resultados presentados en este documento, muestran que el desafío de evaluar la sostenibilidad agrícola y el impacto ambiental de distintos sistemas de producción -asociados a diversas categorías de usos de tierras- encuentra una respuesta satisfactoria en esta herramienta complementaria de planeamiento e investigación, que son los GIS. En realidad, se trata de respuestas, ya que la metodología desarrollada permite aclarar la naturaleza de los fenómenos, los procesos y las áreas críticas en escalas espaciales variables y unidades paisajísticas intrínsecamente heterogéneas y cambiables (campo, finca, cuenca, comunidad y microrregión).

Finalmente, este documento ilustra algunos aspectos de cómo los GIS son también un interesante instrumento complementario para la definición y simulación de escenarios evolutivos, según diferentes estrategias de acción a nivel micro (tecnologías agrícolas/sistemas de producción), y macro (políticas públicas y uso de las tierras).

ASPECTOS CONCEPTUALES

Sostenibilidad Agrícola: el Necesario Enfoque Espacial y Temporal

Evaluar la sostenibilidad de un sistema de producción, al nivel de finca, es una tarea compleja para la cual ya existen parámetros y métodos suficientemente definidos y probados en distintos agroecosistemas.

Estas dificultades adquieren otra naturaleza cuando se trata de evaluar la sostenibilidad de varios sistemas de producción (Conway y Barbier, 1988; Dovers, 1989), vinculados a los distintos usos de las tierras, actuando y relacionándose entre varios tipos de suelos, pendientes y propiedades rurales, a nivel de una cuenca hidrográfica, comunidad rural o municipio (Hart y Sands, 1990; Miranda, 1985, 1987, 1991; Berdegué y Miranda, 1990).

Considerar el espacio heterogéneo como objeto de conocimiento e investigación, representa una serie de dificultades. La tradición de los agrónomos es de trabajar con espacio homogéneos (los campos cultivados), donde, además, se busca lograr un máximo de homogeneidad. Al simplificar la diversidad de los ecosistemas, los agroecosistemas dan origen a una ilusoria homogeneidad. De hecho, los paisajes rurales pueden ser muy homogéneos en relación a los usos de las tierras y sistemas de producción vinculados, pero, en general, representan mosaicos bien diversificados de agroecosistemas (Baudelot *et al.*, 1975; Bertrand, 1972; Forman y Godron, 1981; 1986). Eso es particularmente verdadero en los territorios ocupados por la pequeña agricultura en América Latina (Miranda y Mattos, 1992).

A esa heterogeneidad espacial hay que añadir la dinámica temporal. El uso de las tierras está condicionado por una serie de factores dinámicos vinculados al clima, al mercado, a la progresión de la frontera agrícola, a la introducción de nuevas tecnologías, etc., que producen cambios constantes y variados en la movilización de los recursos naturales, así como en los impactos ambientales subsecuentes (González, 1990; Sancholuz *et al.*, 1985).

Relaciones Entre el Uso de las Tierras y los Sistemas de Producción

El primer desafío para los estudios de sostenibilidad agrícola es conocer, de forma circunstanciada y actual, cuál es el uso de las tierras en una determinada región (Miranda, 1986; Miranda, Mantovani y Cavalli, 1986). Los métodos tradicionales de levantamiento de campo como las transectas, las fotografías aéreas, la cartografía temática etc. son caros y de difícil ejecución, para resultados, que muchas veces al final del trabajo ya están desactualizados.

Entre las preguntas específicas que se presentan al investigador o agente de desarrollo, que busca conocer la sostenibilidad agrícola de una región están, obligatoriamente, las siguientes:

- ¿Cuáles son los usos actuales de las tierras en la región de interés?
- ¿Cuál es la repartición espacial de esos usos?
- ¿Cómo esos usos movilizan a los recursos naturales?
- ¿Cuáles son los sistemas de producción vinculados a cada uso de las tierras?
- ¿Cuál es la naturaleza de las relaciones entre usos de tierras y sistemas de producción?
- ¿Cuáles son los impactos ambientales resultantes de los sistemas y de los usos de las tierras?
- ¿Cuál es el *trade off* entre cambiar sistemas de producción o cambiar usos de tierras, para disminuir los impactos ambientales?
- ¿Cuáles son las relaciones entre impactos ambientales y sostenibilidad agrícola?

Muchas de las dificultades para evaluar el impacto ambiental de la agricultura y su sostenibilidad, están relacionadas a problemas de escalas de tiempo y espacio. Las respuestas a las preguntas anteriores, dependen también de las escalas espaciales y temporales consideradas.

Existe un aparente conflicto entre los fenómenos involucrados en la escala de la pequeña propiedad rural, y los fenómenos observados en la escala del paisaje rural, de la cuenca o de la comunidad. Los logros obtenidos a un nivel, no pueden ser generalizados automáticamente a otra escala espacial. Los ejemplos de ese tipo de error son numerosos.

Relaciones Entre Usos de la tierra y el Impacto Ambiental a Nivel de Finca y Región

Históricamente, la investigación agrícola y la extensión rural han definido y propuesto sistemas de producción altamente sostenibles, a nivel de la propiedad rural. Son muchos los ejemplos de sistemas e innovaciones tecnológicas caracterizadas por su bajo impacto ambiental, bajo consumo de recursos naturales, grandes excedentes de producción, buena productividad de los factores, etc. Sin embargo, cuando algunos de estos sistemas se generalizaron, a nivel de una cuenca hidrográfica o de una región, se convirtieron en verdaderas tragedias, provocando agotamiento de acuíferos, el desmonte generalizado de los bosques nativos, la generalización de los procesos erosivos, la caída de los precios por exceso de oferta, el incremento de plagas y enfermedades, etc.

Antes de pasar a una etapa de extensión rural masiva, los nuevos sistemas de producción o tecnologías agrícolas deberían ser evaluados en términos espaciales, y en relación a sus interacciones con los paisajes rurales. Los usos de las tierras y los

sistemas
concreto
los siste
punto de

- ¿Cómo
pastiz
- ¿Cuál
munic
- ¿Cuál
munic
- ¿Cuál
pendi
- ¿Exis
super
- ¿Cómo
los hc
- ¿Cuál
comp
- ¿Cuál
de las

Para con
necesaria
informac
insumos,
comprens
y socioec
ese siste
resultado
ducción c
de nuevo

- ¿Cómo
de pre
- ¿Cómo
transf
- ¿En q
repro
- ¿En q
tipo d
o sob
- ¿Cómo
de un:

Impacto a

sistemas de producción vinculados, deben ser confrontados en un espacio rural concreto, con la capacidad de soporte de los recursos naturales y con los límites de los sistemas socioeconómicos. Las preguntas que deben responderse, desde este punto de vista, son de naturaleza muy diversa:

- ¿Cómo se sitúa la distribución altimétrica de los campos cultivados y los pastizales, en relación a la tenencia de las tierras?
- ¿Cuáles son las relaciones entre los límites del territorio de cada comunidad o municipio, y las cuencas y subcuencas hidrográficas?
- ¿Cuáles son los patrones de la repartición espacial de las pendientes en un municipio?
- ¿Cuáles son las relaciones existentes entre la naturaleza de los suelos y las pendientes de una región?
- ¿Existe una relación concreta entre la erodibilidad de los suelos y el escurrimiento superficial en una determinada cuenca hidrográfica?
- ¿Cómo se distribuyen espacialmente los problemas de disponibilidad hídrica en los horizontes explotados por las raíces?
- ¿Cuáles son los espacios del territorio donde los problemas de fertilidad química compensan o exacerban los problemas de disponibilidad hídrica?
- ¿Cuáles son los factores realmente importantes para evaluar la capacidad de uso de las tierras, en un determinado contexto socioeconómico o tecnológico?

Para contestar esas preguntas no basta disponer de datos numéricos aislados. Es necesaria, por un lado, una articulación espacial y numérica entre niveles de información de naturaleza muy distinta (suelos, pendientes, usos de tierras, usos de insumos, etc.), de forma coherente. Por otro lado, esa articulación debe garantizar la comprensión de las relaciones actuales entre los diversos factores ambientales, agronómicos y socioeconómicos, por ejemplo de una determinada microrregión o cuenca. Finalmente, ese sistema estructurado de informaciones, debería poder simular los impactos y resultados de posibles cambios en los sistemas de producción (por ejemplo, introducción de nuevas tecnologías), o en el uso de las tierras (por ejemplo, introducción de nuevos cultivos). Para ello es importante contestar preguntas como las siguientes:

- ¿Cómo evaluar las posibles interacciones espaciales entre los distintos sistemas de producción practicados, a lo largo de una pendiente o de una pequeña cuenca?
- ¿Cómo detectar posibles interacciones entre distintos usos de tierras, como transferencia de fertilizantes, pérdidas de suelo o de agua?
- ¿En qué medida un sistema de producción eficiente en pequeña escala, puede ser reproducido en una escala más amplia?
- ¿En qué medida la sostenibilidad agrícola de un sistema de producción, o de un tipo de uso de las tierras, permanece constante, si es considerada de forma aislada o sobre un conjunto de fincas?
- ¿Cómo simular el impacto ambiental de un nuevo sistema de producción al nivel de una cuenca o comunidad?

Estas preocupaciones son producto de que muchos sistemas agrícolas denominados sostenidos, están basados, de hecho, en una externalización de los costos ambientales de la producción. Muchos sistemas de producción aparecen con buena sostenibilidad ambiental, en la medida en que no se evalúe con rigor y de forma circunstanciada, su impacto ambiental en el conjunto de los sistemas ecológicos, agrícolas y socioeconómicos.

La Externalización de los Costos Ambientales

Frecuentemente, actividades como la producción frutícola, la floricultura, la cría de camarones y de porcinos, los complejos agroindustriales de alcohol y azúcar, etc., presentan un fuerte impacto ambiental en los cursos de agua, en los acuíferos de régimen hipodérmico, en la calidad del aire y de los suelos, y en la salud humana. La internalización de esos costos ambientales, podría inviabilizar muchos de esos sistemas, aunque sólo fuese exigida una reposición parcial de los recursos naturales consumidos o afectados históricamente por esos procesos productivos.

La fragilidad estructural de esos sistemas de producción es muy grande y ha sido demostrada. Simples cambios en las legislaciones ambientales han convertido en inviables a sistemas hasta entonces considerados como sostenidos. La evaluación del impacto ambiental de una determinada tecnología agrícola, ha estado limitada a sus efectos inmediatos y locales. Pocos estudios son capaces de abarcar el impacto ambiental del conjunto de tecnologías agrícolas, interactuando en el seno de los distintos sistemas de producción y de los distintos usos de las tierras.

Una metodología de evaluación del impacto ambiental de la agricultura a nivel de comunidad, cuenca o municipio, debería ser capaz de responder preguntas como las siguientes:

- A nivel de una comunidad o cuenca, ¿Cuál es el impacto total del uso de abonos nitrogenados en las aguas superficiales?
- ¿Cómo identificar áreas críticas y evaluar los sitios de posible concentración de pesticidas?
- ¿Cómo identificar el grado de degradación de los suelos en una microrregión, bajo el impacto de la mecanización agrícola?
- ¿Cómo cuantificar el impacto ambiental sufrido por bosques nativos en función de las actividades agrícolas vecinas?
- ¿Cómo evaluar la naturaleza y el estado de los recursos naturales, bajo un mosaico de usos de tierras y sistemas de producción?
- ¿Cuáles son los cultivos o usos de tierras más agresivos para el medio ambiente en la región?
- ¿En qué medida el uso actual de las tierras y los sistemas de producción afectan más a los sistemas bióticos o a los sistemas abióticos?
- ¿Cuál es la naturaleza de los procesos involucrados?

El proyecto de investigación desarrollado, buscó generar y probar metodologías, basadas en GIS, capaces de evaluar el impacto ambiental de la agricultura y de los sistemas de producción, considerándolos integrados a sistemas ecológicos y socioeconómicos más amplios, desde el punto de vista espacial y temporal. Esas metodologías deberían, inclusive, permitir la simulación y la evaluación de nuevos escenarios tecnológicos o de uso de las tierras.

SISTEMAS DE INFORMACIONES GEOGRAFICAS

GIS: Estructura e Interés

Hasta el desarrollo reciente de los sistemas computarizados, la integración de datos numéricos y cartográficos era muy limitada, tanto desde el punto de vista operacional, como del de los resultados. El investigador o responsable del desarrollo, confrontado a exigencias de esta naturaleza, estaba obligado a utilizar procedimientos de integración muy rudimentarios, como la sobreposición de mapas, el uso de transparencias u *overlays*, el dibujo manual de isolíneas de productividad de factores, construcción de tablas cruzadas entre factores, la cuantificación de áreas con planímetros, etc. El surgimiento de los Sistemas de Informaciones Geográficas (GIS), ha cambiado completamente esa realidad. No solamente por facilitar tareas manuales, antes complejas y lentas en su ejecución, sino sobretodo al abrir posibilidades de integración entre datos espaciales y numéricos, impensables en el pasado.

Los GIS son bancos de datos para informaciones codificadas espacialmente. Independientemente de los variados *softwares* de GIS disponibles en el mercado, sus principales componentes son siempre y básicamente los siguientes:

1. Un subsistema de entrada de datos (mapas, bancos de datos numéricos, etc.).
2. Un subsistema de almacenamiento y recuperación de datos espaciales en una forma que posibilite un acceso eficiente a los mismos.
3. Un subsistema de manipulación, que permita analizar y generar datos derivados.
4. Un subsistema para presentación de los datos, tanto en la forma tabular como en la gráfica.

Un GIS incorpora datos con diversas características y diversos tipos de representación. Se acostumbra diferenciar por lo menos dos tipos de representación: la vectorial (como los mapas), y la matricial o raster (como las imágenes).

La existencia de múltiples formas de representación, aumenta el potencial de utilización del sistema, debido a varias causas: datos provenientes de fuentes distintas tienen, en general, formas diferentes y no siempre la conversión de la representación tiene sentido; variados métodos de manipulación pueden requerir representaciones diferentes. Por ejemplo, un algoritmo de clasificación, puede ser aplicable solamente a imágenes, mientras que algoritmos para la generación de isolíneas, casi siempre requieren estructuras propias.

Ese potencial es particularmente importante para compatibilizar y unificar datos en países donde la información sobre los recursos naturales y la agricultura, se

encuentra dispersa en varias instituciones, en escalas distintas y obtenidas según metodologías muy variables.

GIS: Modelo de Datos y Aplicaciones

El modelo de datos del GIS tiene los siguientes objetivos:

- Definir las ideas generales de la organización del sistema.
- Definir las categorías básicas de datos, a través de los cuales pueden ser representados los diferentes tipos de «datos espaciales» en el GIS. Por «datos espaciales», se entienden aquellos que caracterizan la geometría de algún fenómeno geográfico.
- Permitir la inclusión de datos no espaciales en el sistema, a través del modelo relacional. Los datos no espaciales permiten describir características de naturaleza general, no geométrica, de un dato espacial.

El trabajo del usuario del GIS es siempre organizado en proyectos. Cada proyecto puede corresponder a una determinada región geográfica: un municipio, una cuenca o una provincia. Un proyecto podrá contener datos con características intrínsecas muy diferentes, por ejemplo, descripción del uso del suelo, modelos digitales de terreno, imágenes de satélites, etc.

Un proyecto es formado por planos de información (PI). Un PI reúne todas las informaciones que se refieren a un cierto aspecto del modelo de una región. Por ejemplo, un proyecto que reúna informaciones sobre altimetría, pedología, climatología, uso del suelo, productividad y erosión. En este caso, cada una de esas características será organizada dentro de un PI independiente.

Cada PI almacena informaciones de una única categoría (conjunto de datos espaciales que son representados y tratados por el sistema de la misma manera). Sin embargo, la misma información (por ejemplo, la altimetría), puede ser representada de varias formas (por ejemplo, curvas de nivel, puntos acotados, o retículas), y un PI puede incorporar datos en más de un formato de representación (matricial, poligonal, muestras 3D, retículas, isolíneas, puntos).

Dentro de un PI, el usuario puede definir objetos, a los cuales pueden asociarse atributos relacionados (datos no espaciales, gerenciados por un banco de datos relacional), y una clase, que es un atributo cuyo valor puede ser oriundo de un método de clasificación propio para la aplicación. Ejemplos de objetos pueden ser municipios o provincias, en un mapa de división política, ríos y lagos en un mapa hidrográfico; cruces de caminos en una red vial o clases de productividad en un mapa de uso de las tierras, etc.

El uso de un GIS, independientemente de la complejidad de los distintos *softwares* existentes, lleva al ejercicio de seis grupos de funciones principales:

- *Definic*
- *Entrada*
funcion
un PI.
- *Conver*
retícula
de proy
- *Manipu*
entre un
declive
- *Consuli*
- *Salida:*

Un docume
en un mapa
para lo cua

El GIS in
tridimensi
cialmente
operación
en un proy
diversas fu
través de c
Cambios d
e inmediata
geográfica

Por esas r
indispensa
planeamier
viales, etc.

GIS y Sos

Con el apc
NUCATE/
un proyect
tados en es

1. Desarro
y ampli
2. Consoli
los prin

Impacto am

- *Definición*: selección de los datos a ser manipulados.
- *Entrada*: inserción de nuevos datos en el sistema. Este grupo incluye también funciones para la entrada de textos (básicamente nombres) y símbolos sobre un PI.
- *Conversión*: transformación de formato (raster \leftrightarrow vector, retícula \rightarrow vector y retícula \rightarrow raster), y transformaciones geométricas (inclusive cambio de sistema de proyección).
- *Manipulación*: generación de nuevos PIs a partir de operaciones de combinaciones entre uno o más PIs. Entre las principales opciones de manipulaciones, están: declive, reclasificación y sobreposición.
- *Consulta*: manipulación de atributos no gráficos (relacionales).
- *Salida*: generación de documentos cartográficos y funciones de visualización.

Un documento cartográfico visualizado en la pantalla de la computadora u obtenido en un mapa impreso, es siempre el resultado de una combinación de PIs y leyendas, para lo cual fue generada una salida gráfica, en un formato definido por el usuario.

El GIS incorpora diversas funciones de visualización, incluyendo recursos tridimensionales. En el pasado, la integración manual de mapas se limitaba esencialmente a la sobreposición de transparencias. En último análisis, se trataba de una operación aritmética de suma y resta. Hoy, a partir de la organización de los datos en un proyecto de GIS, dos o más mapas pueden ser relacionados a través de las más diversas funciones lógicas y matemáticas. Varios mapas pueden ser integrados a través de complejas ecuaciones. Los resultados son rápidos, precisos y exhaustivos. Cambios de intervalos de clases, por ejemplo, pueden ser obtenidos de forma simple e inmediata. Los cálculos de áreas, perímetros, intersecciones entre distintas unidades geográficas, pueden ser realizados y detectados con precisión.

Por esas razones los GIS están siendo cada vez más un instrumento decisivo e indispensable como soporte para los trabajos de zonificación agrícola, catastro rural, planeamiento regional, diseño de proyectos, evaluación de redes de fomento, tramos viales, etc.

GIS y Sostenibilidad Agrícola: Objetivos del Proyecto

Con el apoyo de RIMISP y del CIID y la colaboración del NMA/EMBRAPA y NUCATE/UNICAMP, ECOFUERZA, ha desarrollado en el municipio de Campinas, un proyecto con los siguientes objetivos metodológicos, cuyos logros están presentados en este documento:

1. Desarrollar una metodología, basada en GIS, para caracterizar de forma integrada y amplia la capacidad del uso agrícola de las tierras.
2. Consolidar una metodología de caracterización del uso actual de las tierras y de los principales sistemas de producción, con base en GIS e imágenes orbitales.

3. Desarrollar una metodología, apoyada en GIS, de caracterización del impacto ambiental de la actividad agrícola y de los insumos, en escala microrregional, sobre el suelo, el agua, el aire, la vegetación y la fauna.
4. Consolidar una metodología de evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de producción de los pequeños agricultores, apoyada en GIS, en la escala de comunidades, cuencas o municipios (microrregional).

Cuatro procedimientos metodológicos, en el contexto de la pequeña agricultura y basados en la valorización del uso de GIS, fueron desarrollados, probados y consolidados, vinculados a cada uno de los cuatro objetivos temáticos principales del proyecto.

Los itinerarios metodológicos estuvieron basados en una única estructura georreferenciada (GIS/INPE), y en una única escala (1:50.000). Esta opción de unificación de estructura y escala, representa un marco de referencia primordial para la tomada de datos y su manipulación geocodificada. En este proyecto fue utilizada como base inicial, la versión 2.4 del *software* de Sistemas de Informaciones Geográficas, desarrollado por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE), del Brasil.

METODO SOSTEN

La metodologi
función de los
continuación:

Capacidad de

Para la evalua
con base en G
consagrados p
pues su base f
relieve, con pi

Se digitalizarc
el primer plan
mapa fue gen
hipsométrico.
mapa de pend
digitalizado. S
de cuencas y s
y pendientes,

La definición
información p
de disponibili
al mapa pedol
química (alur
planos de info
sirvieron para

Las principale
son presentad

1. Digitaliza
2. Digitaliza
3. Generació
4. Generació
5. Digitaliza
6. Generació
7. Generació

METODOLOGIA PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD AGRICOLA

La metodología desarrollada y probada en el trabajo, abarcó varias etapas y fases, en función de los objetivos propuestos, y que son presentadas de forma detallada a continuación:

Capacidad de Uso Agrícola de las Tierras

Para la evaluación y el mapeamiento de la capacidad de uso agrícola de las tierras, con base en GIS (Objetivo 1), se consideró que existen algunos criterios y métodos consagrados para este propósito. En este caso, se optó por la denominación tierras, pues su base fue más amplia que la pedológica, incluyendo aspectos hídricos y de relieve, con procedimientos de mapeamiento esencialmente digitales.

Se digitalizaron los límites geocodificados del municipio. Después, fue digitalizado el primer plan de informaciones (PIs): el mapa de curvas de nivel. A partir de este mapa fue generado un modelo numérico de terreno (MNT), y (vía GIS), el mapa hipsométrico. A través de la manipulación numérica de esos mapas se obtuvo el mapa de pendientes. El mapa pedológico disponible fue detallado en el campo y digitalizado. Se digitalizó también el mapa hidrográfico. Vía GIS se generó el mapa de cuencas y subcuencas. Por medio del cruzamiento de los mapas pedológico digital y pendientes, se obtuvo el mapa de erodibilidad o de riesgo teórico de erosión.

La definición de un archivo de reglas, permitió la integración de los planos de información pedológico, pendientes, cuencas e hidrográfico, para obtener el mapa de disponibilidad hídrica potencial. Un procedimiento análogo fue aplicado en base al mapa pedológico digital, para obtener los mapas de las limitaciones de fertilidad química (aluminio, fijación de fósforo y bases intercambiables). Estos últimos planos de información, junto con erodibilidad y problemas de fertilidad química, sirvieron para la generación del mapa de capacidad de uso agrícola de las tierras.

Las principales etapas metodológicas y operacionales aplicadas, probadas y evaluadas, son presentadas de forma sintética a continuación:

1. Digitalización de los límites municipales.
2. Digitalización del mapa altimétrico (curvas de nivel).
3. Generación digital, por el GIS, del mapa hipsométrico.
4. Generación digital, por el GIS, del mapa de pendientes.
5. Digitalización del mapa hidrográfico.
6. Generación y digitalización del mapa de cuencas y subcuencas.
7. Generación y ajustes del mapa pedológico en campo.

8. Digitalización del mapa pedológico.
9. Generación digital, por el GIS, del mapa de erodibilidad.
10. Generación digital, por el GIS, del mapa de disponibilidad hídrica en el horizonte de las raíces.
11. Generación digital del mapa de las limitaciones de fertilidad, vinculadas a la capacidad de fijación de fósforo.
12. Generación digital del mapa de las limitaciones de fertilidad, vinculadas a la toxicidad de aluminio libre.
13. Generación digital del mapa de las limitaciones de fertilidad, vinculadas a la disponibilidad de bases intercambiables.
14. Generación digital, por el GIS, del mapa de fertilidad química de las tierras.
15. Generación analógica y digital del mapa de capacidad de uso agrícola de las tierras.
16. Análisis, corroboración y síntesis, de los métodos de evaluación de la capacidad de uso agrícola de las tierras.

Uso Actual de las Tierras y Sistemas de Producción

La caracterización del uso actual de las tierras y de los principales sistemas de producción, con base en GIS (Objetivo 2), fue dividida en dos subobjetivos y realizada a partir del uso y tratamiento de imágenes multispectrales de satélite (LANDSAT TM 5 y SPOT), de cartas topográficas del IBGE (Instituto Brasileño de Geografía y Estadística), y de confirmaciones en campo (Asrar, 1989; Johannsen y Barney, 1981; Lillesand y Kiefer, 1987).

En primer lugar, se definieron preliminarmente, las categorías de uso de las tierras en el municipio. Fueron interpretadas las imágenes de satélite y se incorporaron al sistema de informaciones geográficas, junto con la digitalización de los límites municipales. De esta forma, se obtuvieron 17 categorías de uso. Tras una exhaustiva verificación de campo, se digitalizó el mapa de uso actual de las tierras. Las principales etapas metodológicas y operacionales aplicadas, probadas y evaluadas fueron las siguientes:

1. Definición preliminar de las categorías de uso agrícola y no agrícola de las tierras en el municipio de Campinas.
2. Adquisición de imágenes de satélite SPOT y LANDSAT TM (bandas 3, 4 y 5), en composición falso color (papel), y digital de fecha reciente.
3. Digitalización de los límites del municipio de Campinas en el GIS, para extracción de su área en las imágenes.
4. Traslado de los archivos digitales correspondientes, al sistema de tratamiento de imágenes de satélite (SITIM).
5. Tratamiento digital de las imágenes de satélite en el SITIM, para diferenciar y delimitar, preliminarmente, las categorías de uso de las tierras.
6. Identificación analógica y delimitación preliminar de las categorías de uso de las tierras, en combinación de falso color.

7. Digitaliz
8. Combina
- tierras.
9. Verificac
10. Mapeo d
11. Vectoreo

En segundo l
Junto con la i
relación entr
digitalizaron
muestrearon
se obtuvieron
las tierras, co
banco de da
los ajustes r
los principal
principales e
fueron las sig

12. Identifica
- con los u
13. Inventari
- variabilic
14. Verificac
- partir de
15. Para los
- complem
16. Mapeam
- producci
17. Cuantific
- y/o segui
18. Evaluaci
- de los pr
19. Cuantific
- de produ
- campo y
20. Creación
- sistemas
- las tierra
21. Análisis,
- de las tie
- técnicos.

7. Digitalización de los resultados y traslado hacia el SITIM.
8. Combinación de los tratamientos visual y digital, en 17 categorías de uso de las tierras.
9. Verificaciones terrestres de forma difusa y concentrada.
10. Mapeo de los usos agrícolas de las tierras, de forma definitiva.
11. Vectoreo del mapa de uso de las tierras y traslado de los datos al GIS.

En segundo lugar, se identificaron preliminarmente los sistemas de producción (SP). Junto con la identificación de los usos de las tierras, fueron establecidas hipótesis de relación entre usos y sistemas. Posteriormente, fueron revisados en campo y se digitalizaron, de forma preliminar, los sistemas de producción. A continuación, se muestrearon fincas y se realizaron seguimientos de algunas de ellas. De esta forma se obtuvieron coeficientes técnicos de los sistemas de producción y de los usos de las tierras, con la posterior cuantificación para 1 ha de cada cultivo. Se creó un banco de datos sobre los sistemas de producción del municipio. Realizados los ajustes necesarios entre los sistemas y los usos, se obtuvo el mapa final de los principales sistemas de producción y fue articulado con el banco de datos. Las principales etapas metodológicas y operacionales aplicadas, probadas y evaluadas fueron las siguientes:

12. Identificación preliminar de los principales sistemas de producción, en relación con los usos agrícolas de las tierras.
13. Inventario de los usos de las tierras y elaboración de hipótesis, acerca de la variabilidad existente entre usos y sistemas de producción.
14. Verificación de las hipótesis acerca de los sistemas de producción y los usos, a partir de levantamientos y encuestas de campo en una muestra de fincas.
15. Para los usos que comprendían más de un sistema de producción, muestreo complementario de fincas.
16. Mapeamiento preliminar de la repartición espacial de los principales sistemas de producción, en interacción con los usos de las tierras.
17. Cuantificación de coeficientes técnicos a partir del levantamiento (1 uso = 1 SP), y/o seguimiento (1 uso = n SP), de una submuestra de fincas.
18. Evaluación final de la variabilidad de los sistemas de producción, en el interior de los principales usos de las tierras, y ajustes finales del mapa de sistemas de producción.
19. Cuantificación y homogenización de los impactos ambientales de los sistemas de producción, para una hectárea de cada tipo de uso, apoyado en los trabajos de campo y complementado con datos de literatura.
20. Creación de un banco de datos numéricos de coeficientes técnicos de los sistemas de producción, y rotulación de los polígonos del mapa del uso actual de las tierras, para posibilitar su asociación con el banco de datos (GIS).
21. Análisis, verificación y síntesis de los métodos de caracterización del uso actual de las tierras, de los principales sistemas de producción y de sus coeficientes técnicos.

Impacto Ambiental de la Agricultura

La evaluación y el mapeamiento del impacto ambiental de las actividades agrícolas con base en GIS (Objetivo 3), a través de las rutinas disponibles, fue realizado por cruzamientos entre el grupo de datos numéricos sobre los sistemas de producción, y la base de datos cartográficos en el GIS. El objetivo fue evaluar, dentro de diferentes situaciones, el impacto ambiental de las actividades agrícolas sobre el suelo, el aire, las aguas superficiales, la fauna y la vegetación natural.

El logro de este objetivo, implicó diferentes etapas metodológicas que comenzaron con el impacto ambiental directo e indirecto de los insumos, como consecuencia de la mecanización, obtenido a partir de los planos de información de los usos de nitrógeno y herbicidas.

En una segunda etapa, se evaluó el impacto ambiental de las actividades agrícolas sobre los recursos naturales. Para ello se articularon los mapas de capacidad de uso, uso actual y el banco de datos sobre los sistemas de producción. Así, y mediante la reclasificación del mapa de uso, se obtuvo un plano de información sobre compactación del suelo. La definición de un archivo de reglas, permitió la integración con el mapa de impacto de los insumos (obtenido en la etapa anterior), dando como resultado el impacto del uso de las tierras y de los sistemas de producción sobre el suelo. El impacto sobre las aguas superficiales se obtuvo mediante la reclasificación del mapa de pendientes, dando como resultado el riesgo de escurrimiento superficial. Este PI fue cruzado con el mapa de eficiencia del recubrimiento vegetal del suelo (obtenido por reclasificación del mapa de uso), dando como resultado el escurrimiento superficial efectivo. Este mapa se cruzó con el impacto de los insumos, dando el impacto sobre las aguas superficiales. El impacto de las actividades agrícolas sobre el aire, fue realizado a través de reclasificaciones del mapa de uso.

Para el impacto ambiental de las actividades agrícolas sobre los sistemas abióticos, se utilizaron los planos de información de compactación del suelo y escurrimiento efectivo, obteniéndose el mapa de pérdida de suelos por falta de prácticas de conservación. Este PI fue cruzado con el impacto de los insumos, agregándose en forma complementaria, el plano de información del impacto ambiental del uso de las tierras y de los sistemas de producción sobre el aire. De esta manera, se obtuvo el mapa del impacto ambiental del uso y de los sistemas de producción sobre los sistemas abióticos.

En la tercera etapa, se evaluó el impacto ambiental de las actividades agrícolas sobre los sistemas ecológicos. El impacto sobre la fauna tuvo en cuenta la relación del uso de las tierras y las prácticas agrícolas, con los habitats de la fauna. Para el impacto sobre la vegetación natural fue reclasificado el plano de información del uso actual y el de riesgo existente debido al uso agrícola del fuego.

Los mapas de la generación y de los sistemas de impacto ambiental abióticos y abióticos

Las principales etapas en esta etapa

Uso de las t

A partir del n de datos sobre investigadores especializados

- Generación
- Generación
- Generación
- Generación
- Generación
- Generación

Impacto am

Generación de uso de cada generados a p de producción escurrimient

- Generación
- Generación
- Generación
- Generación químicos
- Generación
- Generación efectivo.
- Generación

Impacto am

- Generación suelos, ut

Impacto ambie

Los mapas de impacto sobre la fauna, la vegetación y el aire, fueron utilizados para la generación del plano de información de impacto ambiental del uso de las tierras y de los sistemas de producción, sobre los sistemas bióticos. Los mapas finales de impacto ambiental de las actividades agrícolas, con base en GIS, sobre los sistemas bióticos y abióticos, fueron de tipo cualitativo y sintético.

Las principales etapas metodológicas y operacionales aplicadas, probadas y evaluadas en esta etapa, son presentadas en cuatro bloques como sigue:

Uso de las tierras: aspectos generales

A partir del mapa del uso de las tierras y de los mapas anteriores, articulados al banco de datos sobre los sistemas de producción, se generaron, con la orientación de los investigadores, los siguientes mapas, que en muchos casos son simplemente una espacialización de los datos numéricos obtenidos:

- Generación, vía GIS/banco de datos, del mapa de producción vegetal.
- Generación, vía GIS/banco de datos, del mapa de productividad vegetal.
- Generación, vía GIS/banco de datos, del mapa de los sistemas de producción.
- Generación, vía GIS/banco de datos, del mapa de cobertura vegetal efectiva.
- Generación, vía GIS/banco de datos, del mapa de estabilidad del uso de las tierras.
- Generación, vía GIS/banco de datos, del mapa de los habitats faunísticos.

Impacto ambiental directo e indirecto de los insumos

Generación de los mapas de impactos ambientales directos e indirectos, relativos al uso de cada insumo y generalizados a nivel del municipio. Los mapas fueron generados a partir del banco de datos sobre los coeficientes técnicos de los sistemas de producción, y de la integración de los mapas anteriores, por ejemplo, el escurrimiento superficial efectivo. Los mapas generados fueron los siguientes:

- Generación, vía GIS/banco de datos, del mapa de uso de nitrógeno.
- Generación, vía GIS/banco de datos, del mapa de uso de herbicidas.
- Generación, vía GIS/banco de datos, del mapa de quemas.
- Generación, vía GIS/banco de datos, del mapa de impacto de los insumos químicos.
- Generación, vía GIS/banco de datos, del mapa de compactación de los suelos.
- Generación, vía GIS/banco de datos, del mapa de escurrimiento superficial efectivo.
- Generación, vía GIS/banco de datos, del mapa de pérdidas de suelo.

Impacto ambiental sobre los recursos naturales

- Generación del mapa de impacto ambiental del uso de las tierras, en términos de suelos, utilizando el GIS, según un archivo de reglas específico.

- Generación de los mapas de impacto ambiental del uso de las tierras sobre los recursos hídricos superficiales, utilizando el GIS, según un archivo de reglas específico.
- Generación de los mapas de impacto ambiental del uso de las tierras sobre el aire, utilizando el GIS, según un archivo de reglas específico.
- Generación de los mapas de impacto ambiental del uso de las tierras sobre la vegetación natural, utilizando el GIS, según un archivo de reglas específico.
- Generación de los mapas de impacto ambiental del uso de las tierras sobre la fauna actual, utilizando el GIS, según un archivo de reglas específico.
- Verificaciones terrestres difusas y concentradas, según un archivo de reglas específico.

Impacto ambiental sobre los sistemas ecológicos

- Generación de un mapa de síntesis del impacto ambiental de la agricultura sobre los sistemas bióticos.
- Generación de un mapa de síntesis del impacto ambiental de la agricultura sobre los sistemas abióticos.

Sostenibilidad Agrícola

La evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de producción en la escala de comunidades, cuencas o municipios, apoyada en GIS (Objetivo 4), fue realizada a partir de los datos generados en las etapas anteriores. Se trataba del objetivo más complejo del trabajo. La metodología, sintetizada al final, fue bastante distinta de la imaginada al principio del trabajo. Determinadas operaciones planificadas originalmente, se mostraron imposibles, al tiempo que, vía GIS, otras exploraciones metodológicas fueron posibles, y se revelaron de gran interés.

Fueron tres etapas principales, vía GIS, de síntesis y análisis:

1. Síntesis sobre el impacto ambiental de la agricultura.
2. Valorización productiva, económica y social de la actividad agrícola.
3. Evaluación de la sostenibilidad agrícola.

Impacto ambiental de la agricultura

El primer conjunto de datos o mapas obtenidos en las etapas anteriores, fundamentales para este objetivo, fueron:

- Impacto ambiental de los insumos agrícolas (siete mapas).
- Impacto ambiental sobre los recursos naturales (cinco mapas).
- Impacto ambiental sobre los sistemas bióticos (un mapa).
- Impacto ambiental sobre los sistemas abióticos (un mapa).

Estos mapa agricultura, poseen relac

Los mapas construcción ausencia de distinta en u dimensiona insumo en l. la obtención el municipi

Las principa

- Análisis, ambiente bióticos ;
- Definió ambiente vía GIS,
- Combina
- Realizac sistemas
- Identific impactos
- Evaluaci superfici
- Identific agrónóm actual de
- Utilizaci para la ir
- Generaci observac y fenóme
- A través para con Campina

Valores pr

La evaluaci de uso de las

Impacto ambi

Estos mapas ilustran cómo los componentes de los impactos ambientales de la agricultura, son de hecho de naturaleza química, física o biológica muy distinta y poseen relaciones variadas en el tiempo y en el espacio.

Los mapas fueron cruzados según la definición de varios archivos de reglas. La construcción, vía GIS, de varias tablas cruzadas, permitió detectar la existencia o ausencia de determinadas combinaciones de impactos ambientales, de naturaleza distinta en un mismo sitio. Cada una de las combinaciones más frecuentes, pudo ser dimensionada, en términos de superficie y ubicación, sirviendo como criterio o insumo en la construcción de los archivos de reglas. El resultado de esta etapa fue la obtención de un mapa de síntesis de los impactos ambientales de la agricultura en el municipio de Campinas.

Las principales etapas metodológicas y operacionales aplicadas fueron las siguientes:

- Análisis, verificación y síntesis de los datos y mapas de evaluación del impacto ambiental de las actividades agrícolas, sobre los recursos naturales, sistemas bióticos y abióticos, vía GIS.
- Definición de los fenómenos y procesos críticos, en términos de impacto ambiental. Construcción de un modelo de integración y ponderación de los datos, vía GIS, para el caso de Campinas.
- Combinación de los mapas a través de archivos de reglas preliminares.
- Realización, vía GIS, de tablas cruzadas entre los mapas de impacto sobre los sistemas bióticos y abióticos.
- Identificación de la existencia o inexistencia de determinadas combinaciones de impactos ambientales de naturaleza distinta, en un mismo sitio o área.
- Evaluación y análisis de las combinaciones más frecuentes, en términos de superficie y ubicación.
- Identificación jerarquizada de los recursos/fenómenos/procesos críticos - agronómicos y ecológicos - que necesitan ser sostenidos, en función del uso actual de las tierras y de los sistemas de producción.
- Utilización de esas informaciones para constituir un archivo de reglas definitivo para la integración de los mapas de impacto.
- Generación de un mapa de síntesis de los impactos ambientales. La simple observación de este mapa ya representa un primer indicador de áreas, procesos y fenómenos críticos, en términos de sostenibilidad.
- A través del uso del mapa de cuencas, vía GIS, se obtuvo un procedimiento simple para conseguir el mismo mapa de síntesis, para cada cuenca del Municipio de Campinas.

Valores productivos, económicos y sociales de la actividad agrícola

La evaluación de la sostenibilidad de un sistema de producción o de una categoría de uso de las tierras, no puede ser aislada del contexto ecológico en donde se aplica,

como se ha visto en los capítulos y etapas anteriores. Sin embargo, los indicadores de impacto ambiental no bastan para evaluar la sostenibilidad agrícola. Es necesario un balance entre la producción y el consumo de recursos así como entre el valor social de los recursos consumidos o degradados y los logros sociales obtenidos de forma temporal o permanente. Los balances económicos también deben ser considerados. En realidad, un sistema puede ser sostenido desde el punto de vista económico, y no serlo desde el punto de vista ecológico, etc.

Para lograr una aproximación de esos balances o *trade offs*, fue necesario realizar una valorización de la producción agrícola. Esta puede ser medida de muchas formas económicas y sociales: generación de empleos, de renta, de divisas, de impuestos, de bienes, de alimentos, de servicios, de estabilidad de la propiedad agrícola, etc. El mapa del uso actual de las tierras, articulado vía GIS con el banco de datos sobre los sistemas de producción, fue la base de esta medida.

Ella se tradujo en la generación de indicadores de flujos económicos y sociales, contruidos en base a diversas variables temáticas (consumo de insumos, por hectárea de cada cultivo; valor de la producción, por hectárea cada cultivo; productividad, por hectárea de cada cultivo; mano de obra directa e indirectamente empleada, por hectárea de cada cultivo; cantidad de sueldos pagados, etc.). Teniendo en cuenta algunos aspectos prioritarios en el contexto de los sistemas agrarios de la región de Campinas, dos indicadores fueron generados y materializados en mapas: los flujos financieros y el empleo (ocupación) de mano de obra.

En esta etapa de la investigación, nuevamente no puede esperarse una receta de cómo proceder. De forma análoga a lo que sucedió con los impactos ambientales, en un sistema de integración de datos como el GIS, el peso relativo atribuido a cada componente en la constitución de un archivo de reglas, por ejemplo, es muy importante y puede cambiar significativamente el resultado final. ¿Qué variables escoger para medir la actividad agrícola? ¿Cuáles aspectos son más estratégicos: agronómicos, económicos, culturales, sociales? En este sentido, cada investigador tiene la tendencia a privilegiar su especialidad.

El GIS ofrece la posibilidad de tratar de forma simple y con resultados inmediatos, muchas combinaciones distintas de variables. En esta etapa metodológica, es muy interesante la participación de agricultores, extensionistas, líderes locales, responsables del desarrollo agrícola, etc. Eso no fue totalmente posible en este proyecto, ya que los esfuerzos prioritarios, dados los límites de tiempo y recursos, fueron para el desarrollo y la ejecución en su totalidad, de las etapas metodológicas necesarias. Asimismo, fueron necesarias una serie de discusiones para llegar a un acuerdo mínimo, en lo que se refiere al peso de cada variable económica o social, en la generación de los mapas de indicadores de desempeño. Varios escenarios fueron probados y se compararon los mapas obtenidos.

Esto, de h
rios, con
preliminar
de desemp

Las etapas

- Consul
variabl
- activid
- Estudi
- indicac
- Definic
- Pa financi
- mano c
- Genera
- ha/año)
- Análisi
- tierras,
- en térm

Evaluació

En esta últi
que fue el
sostenibili
diferentes
o municipi

En base a
cartográfico
mica y la s
las tierras,
La síntesi
sostenibili
sistemas c
Campinas

Gracias a l
los proble
superficies
de suelos, i
contamina

Impacto am

Esto, de hecho, también significó elegir fenómenos económicos y sociales prioritarios, con una dosis relativa de subjetividad. Este proceso permitió reconocer preliminarmente las áreas, fenómenos y procesos críticos del municipio, en términos de desempeño social y económico de su agricultura.

Las etapas y los principales procedimientos metodológicos empleados, fueron:

- Consulta al banco de datos sobre los sistemas de producción y selección de variables significativas, en términos de índices económicos y sociales para la actividad agrícola.
- Estudio de las posibles combinaciones de variables, en el sentido de crear dos indicadores: uno de desempeño económico y otro de desempeño social.
- Definición y construcción de los indicadores. El primero buscó traducir los flujos financieros positivos por unidades espaciales y, el segundo, los flujos totales de mano de obra ocupada a lo largo del año.
- Generación, vía GIS, de forma aproximativa, del mapa de flujos financieros (R\$/ha/año), y del mapa de empleo (jornadas-hombre/ha/año).
- Análisis, verificación y síntesis de los métodos de medición del uso actual de las tierras, de los principales sistemas de producción y de sus coeficientes técnicos, en términos de indicadores económicos y sociales.

Evaluación de la sostenibilidad agrícola

En esta última etapa se concretizó el principal objetivo de este trabajo de investigación, que fue el desarrollar una metodología de caracterización y evaluación de la sostenibilidad agrícola, sobre conjuntos de pequeñas propiedades rurales con diferentes sistemas de producción, en la escala microrregional (comunidad, cuenca o municipio), basada en el uso de Sistemas de Informaciones Geográfica (GIS).

En base a los datos y procedimientos anteriores, fue evaluada numérica y cartográficamente, la adecuabilidad del uso de las tierras, la sostenibilidad económica y la sostenibilidad social, generadas por los sistemas de producción y el uso de las tierras, al nivel de las distintas unidades espaciales del Municipio de Campinas. La síntesis de esos tres resultados principales, fue una caracterización de la sostenibilidad agrícola, sobre conjuntos de pequeñas propiedades con diferentes sistemas de producción, a nivel de comunidades, cuencas o del municipio de Campinas como un todo, gracias al uso de los sistemas de información geográfica.

Gracias a los recursos del GIS, en base a los datos anteriores, se pudieron identificar los problemas críticos de sostenibilidad, en términos territoriales o de áreas (ubicación, superficies, entorno, situación espacial, etc.), de procesos (mecanización, preparación de suelos, uso de determinadas tecnologías, etc.), y de fenómenos (pérdida de suelos, contaminación de acuíferos, producción de riqueza, etc.).

Las principales etapas metodológicas desarrolladas y aplicadas fueron las siguientes:

Adecuabilidad del uso de las tierras

- Generación, vía GIS, del mapa y de las superficies de demanda del uso actual de tierras, por unidades de capacidad de uso de tierras.
- Evaluación numérica de la disponibilidad de unidades de capacidad de uso de tierras, a partir del mapa de capacidad de uso de las tierras, vía GIS.
- Tabulación cruzada, vía GIS, entre la capacidad de uso de las tierras y de los usos actuales reclasificados ("capacitados") para localizarlos en las categorías más apropiadas de capacidad de uso. Identificación de las situaciones más críticas.
- Generación, vía GIS y a partir de un archivo de reglas, del mapa de adecuabilidad del uso actual de las tierras en el municipio de Campinas.

Sostenibilidad económica y social

- Análisis de los aspectos teóricos involucrados, en un posible balance entre el mapa de impacto ambiental de la agricultura y el mapa de los indicadores de desempeño económico y social.
- Tabulación cruzada, vía GIS, entre el mapa de impacto ambiental de la agricultura y el mapa de los indicadores de desempeño económico y social.
- Identificación y jerarquización de las situaciones más críticas, a partir de una evaluación numérica de las superficies y valores involucrados.
- Utilización de esas informaciones para constituir un archivo de reglas definitivo, para la integración de los mapas de impacto ambiental, de desempeño económico y de desempeño social.
- Generación, vía GIS y a partir del archivo de reglas, del mapa de sostenibilidad económica de la agricultura en el municipio de Campinas.
- Identificación, en términos territoriales o de áreas (ubicación, superficies, entorno, situación espacial, etc.), de procesos (mecanización, preparación de suelos, uso de determinadas tecnologías, etc.) y de fenómenos (pérdida de suelos, contaminación de acuíferos, producción de riqueza, etc.), críticos en materia de sostenibilidad.

El Proyecto

El presente t
la región Ce
47° 05'W),
fuertemente
municipio s
contacto ent
Paleozoica,
brasileño de
dan origen a

Campinas e
tropical. Sin
e 1.100 m, i
1.300 y 1.50
nicipio: bosq
damente 300
área de estu
parecen esta

Existen tres
(café, citric
semiperenn
los cuales s
establecimi
de 36.291 h
ha), represe
concentranc

El principal
suelos férti
grandes ext
central del
fuerte de oc

Estas caract
ocupación a
ciaron una g

EJEMPLOS DE RESULTADOS OBTENIDOS

El Proyecto de GIS Estructurado y sus Planes de Información

El presente trabajo fue realizado en el municipio de Campinas, el cual se localiza en la región Centro Oeste del Estado de San Pablo, Brasil (Latitud 22° 53'S y Longitud 47° 05'W), abarcando un área de aproximadamente 781 km². Es un municipio fuertemente agrícola, urbanizado e industrializado. La geología y los suelos del municipio son bastante diversificados. La región está situada justamente en el contacto entre los terrenos sedimentarios del período Permo-Carbonífero de la era Paleozoica, de la cuenca del Paraná, y del embasamiento cristalino del escudo brasileño de la edad Precámbrica. Presenta cuerpos de rocas básicas intrusivas, que dan origen a tierras rojas.

Campinas está próxima al Trópico de Capricornio, lo que la aproxima a un clima tropical. Sin embargo, el clima está modificado por la altitud que, variando entre 500 e 1.100 m, induce un cierto carácter subtropical. Las precipitaciones varían entre 1.300 y 1.500 mm por año. Existen tres tipos de cobertura vegetal original en el municipio: bosques, sabanas y campos. A pesar de la fuerte antropización, existen aproximadamente 300 especies de vertebrados, que constituyen las poblaciones animales del área de estudio. La composición, estructura y distribución de estas poblaciones, parecen estar extremadamente condicionadas por las actividades agrosilvopastoriles.

Existen tres tipos principales de cultivos en la región de Campinas: los perennes (café, citricultura y silvicultura), los anuales (maíz, arroz, algodón, frijol) y los semiperennes (caña de azúcar, mandioca), con fuerte dinámica espacial y temporal, los cuales se agregan a zonas de hortalizas y frutas periurbanas. El número de establecimientos agrícolas en el municipio de Campinas es de 637, ocupando un área de 36.291 ha. Los pequeños agricultores del municipio (propiedades menores de 50 ha), representan 77,9% del total de las fincas, o de los establecimientos agrícolas, concentrando 4.547 ha (12% de las tierras disponibles).

El principal cultivo semiperenne es la caña de azúcar, con una vasta extensión sobre suelos fértiles y con topografía poco accidentada. Este cultivo se practica sobre grandes extensiones, pero posee una ubicación espacial bien determinada en la parte central del municipio. De importante capitalización, presenta una dinámica muy fuerte de ocupación de mano de obra.

Estas características de usos distintos de las tierras en función del medio, junto a la ocupación antrópica que ha mantenido muchos relictos de bosques nativos, propiciaron una gran fragmentación del paisaje, promovieron usos muy diversificados de

las tierras, ofreciendo condiciones favorables a centenas de especies de vertebrados, bien adaptados a esta nueva situación.

Aplicada al Municipio de Campinas (San Pablo, Brasil), la investigación dio lugar a la estructuración de un GIS con cerca de 50 planos de información, mapas temáticos y sintéticos, integrados o generados por el proyecto del GIS. Los principales mapas o planos de información obtenidos y estructurados fueron los siguientes:

1. Mapa de los límites municipales.
2. Mapa altimétrico.
3. Mapa hipsométrico.
4. Mapa de pendientes.
5. Mapa hidrográfico.
6. Mapa de las cuencas hidrográficas.
7. Mapa pedológico.
8. Mapa de erodibilidad.
9. Mapa del escurrimiento superficial.
10. Mapa de problemas de disponibilidad hídrica en los horizontes de raíces.
11. Mapa de problemas de fertilidad química.
12. Mapa de la capacidad de uso de las tierras.
13. Mapa analógico del uso de las tierras, a partir de imagen del satélite SPOT (composición en color verdadero y en falso color).
14. Mapa analógico del uso de las tierras, a partir de imagen del satélite LANDSAT (composición en color verdadero y en falso color).
15. Mapa del uso actual de las tierras.
16. Mapa del recubrimiento vegetal efectivo del suelo.
16. Mapa de la producción vegetal (ton de fitomasa/ha/año).
17. Mapa de la productividad vegetal (ton/ha/año).
18. Mapa de los habitats de la fauna.
19. Mapa de los principales sistemas de producción rural.
20. Mapa de la estabilidad del uso agrícola de las tierras.
21. Mapa del uso de nitrógeno (kg/ha/año).
22. Mapa del uso de herbicidas (l/ha/año).
23. Mapa de riesgo de incendios.
24. Mapa del impacto ambiental de los insumos químicos.
25. Mapa de la aglomeración del suelo.
26. Mapa del escurrimiento superficial efectivo.
27. Mapa de la erosión del suelo.
28. Mapa del impacto ambiental de las actividades agrícolas sobre el suelo.
29. Mapa del impacto ambiental de las actividades agrícolas sobre las aguas de superficie.
30. Mapa del impacto ambiental de las actividades agrícolas sobre la calidad del aire.
31. Mapa del impacto ambiental de las actividades agrícolas sobre la vegetación natural.

32. Mapa del in
33. Mapa del i
sistemas bi
34. Mapa del in
bióticos.
35. Mapa del i
abióticos.
36. Mapa del in
37. Mapa de la
38. Mapa de en
39. Mapa de la
40. Mapa de la
41. Mapa de la
42. Mapa de re
capacidad c
43. Mapa de ac
44. Mapa de ac
45. Mapa de im
46. Mapa de sc
47. Mapa de sc
48. Mapa de sc

Ejemplos de l

Parte de los r
continuación. T
papel un produ
soporte de la in

El lector debe
presentados en

1. Todos los m
uno tiene un
2. Al reproduc
investigado
una navegac
mapa no es
3. Para visual
reduciendo
unidades pe
tamente má
aplicación c
existentes.

32. Mapa del impacto ambiental de las actividades agrícolas sobre la fauna.
33. Mapa del impacto ambiental inicial de las actividades agrícolas sobre los sistemas bióticos.
34. Mapa del impacto ambiental final de las actividades agrícolas sobre los sistemas bióticos.
35. Mapa del impacto ambiental de las actividades agrícolas sobre los sistemas abióticos.
36. Mapa del impacto ambiental de las actividades agrícolas
37. Mapa de la renta total (R\$/ha/año).
38. Mapa de empleo (jornadas hombre/ha/año).
39. Mapa de la sustentabilidad económica y ambiental.
40. Mapa de la sustentabilidad social y ambiental.
41. Mapa de la sustentabilidad agronómica y ambiental.
42. Mapa de reclasificación («capacitación») de los usos de las tierras frente a la capacidad de soporte de los recursos.
43. Mapa de adecuabilidad del uso de las tierras.
44. Mapa de adecuabilidad de la localización de los usos.
45. Mapa de impacto ambiental de las actividades agrícolas en la cuenca del río Atibaia.
46. Mapa de sostenibilidad social y ambiental en la cuenca del río Atibaia.
47. Mapa de sostenibilidad económica y ambiental en la cuenca del río Atibaia.
48. Mapa de sostenibilidad agronómica y ambiental en la cuenca del río Atibaia.

Ejemplos de los Resultados Obtenidos

Parte de los resultados obtenidos a lo largo del proyecto, son presentados a continuación. Tratándose de un GIS, es evidente la imposibilidad de presentar en el papel un producto que es eminentemente digital y que valoriza mucho, además, ese soporte de la información (colores, *zooms*, cambios de escala, etc.).

El lector debe considerar algunas orientaciones antes de examinar los resultados presentados en este documento:

1. Todos los mapas están originariamente en escala 1:50.000. Eso significa que cada uno tiene un tamaño de cerca de 1m x 1m.
2. Al reproducir o visualizar un mapa al nivel de una pantalla de computadora, los investigadores normalmente trabajan como una parte del mismo. El GIS permite una navegación sin problemas a través del mapa digital. La visualización total del mapa no es posible en la pantalla en la escala 1:50.000, por problemas de tamaño.
3. Para visualizar todo el municipio, es necesario realizar un cambio de escala, reduciendo significativamente el tamaño de cada mapa. Con este cambio, muchas unidades pequeñas de mapeo se pierden visualmente. El mapa se torna aparentemente más simple. En realidad, la información geográfica es mantenida y la aplicación de una ampliación (*zoom*), vía GIS, revela inmediatamente los detalles existentes.

4. En este sentido, los mapas presentados a nivel de la pantalla, aparecen mucho más pequeños y simplificados de lo que son en realidad.
5. Al sacarse fotos de la pantalla, la reducción es aún más grande y el poder discriminatorio de los colores se pierde bastante.
6. Así, el lector debe considerar las fotos de los mapas generados en el GIS y presentadas a continuación, más como una ilustración de los resultados. Para una visualización de los resultados efectivos, lo ideal sería la impresión en tamaño real de todos los mapas en colores.
7. Un raciocinio análogo debe ser considerado para las imágenes de satélite. Cada imagen ha generado "otras" imágenes, en función de las manipulaciones digitales, de las reclasificaciones, de los cambios de escalas, de los filtros aplicados, etc. Algunos ejemplos de una porción de imagen son presentados a título de ilustración.
8. Finalmente, es imposible en un documento de esta naturaleza, ilustrar las posibilidades y rapidez que ofrece el GIS estructurado, en términos de operaciones de extracción de datos, áreas, intersecciones, cruces de datos, generación de nuevos mapas, reclasificación de mapas con cambios, subdivisión o agrupamiento de clases, etc.

Los ejemplos de mapas e imágenes serán presentados en cuatro secciones, correspondientes a los cuatro objetivos del proyecto.

**Resultados cartográficos
relativos a la caracterización de
la capacidad de uso de las tierras**

o más

poder

GIS y
ra una
maño

Cada
itales,
s, etc.
ustra-

ar las
ciones
ón de
niento

orres-

iranda

Foto Nº 1. Município de Campinas (SP). Mapa hipsométrico.

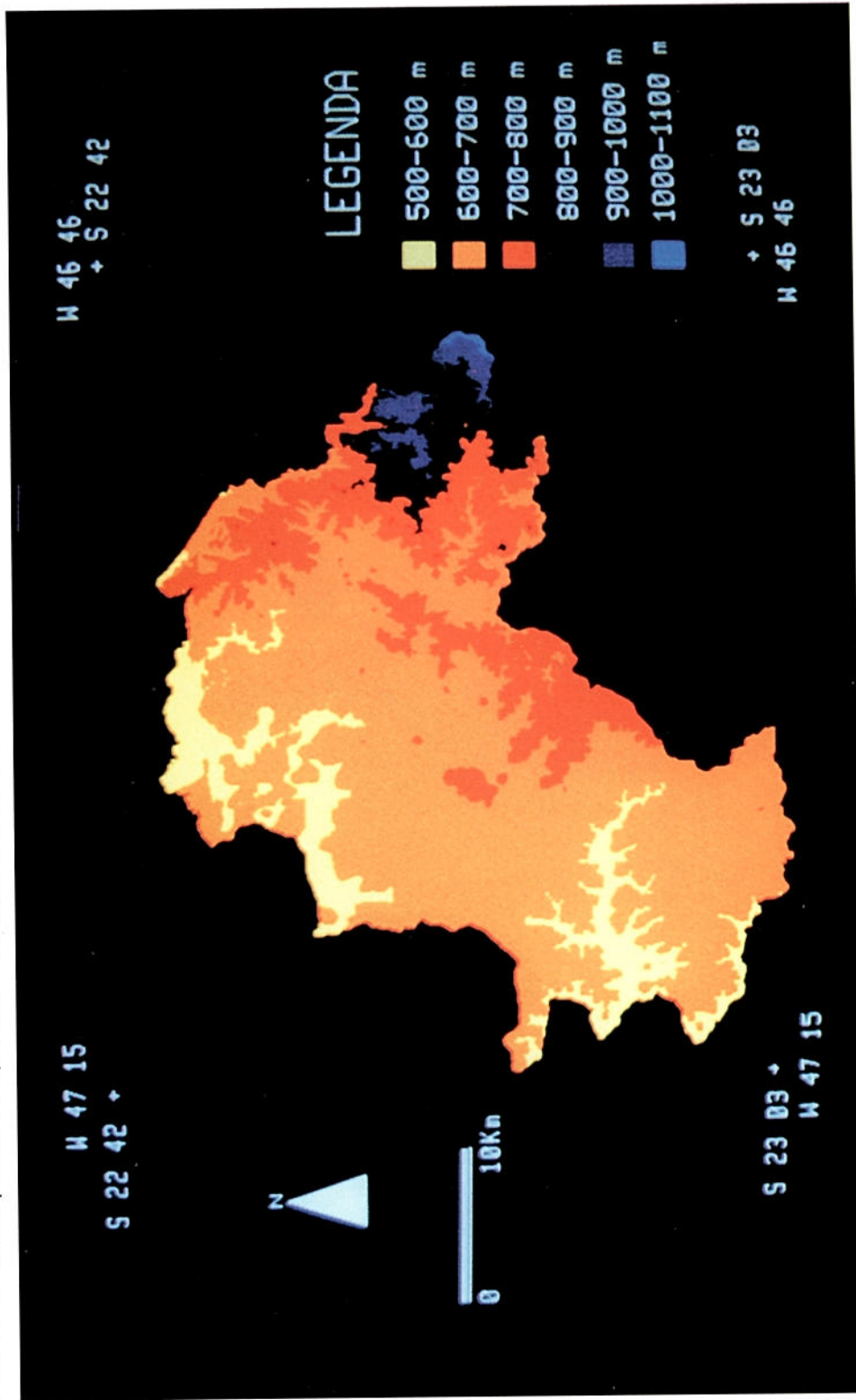


Foto Nº 2. Município de Campinas (SP). Mapa pedológico.

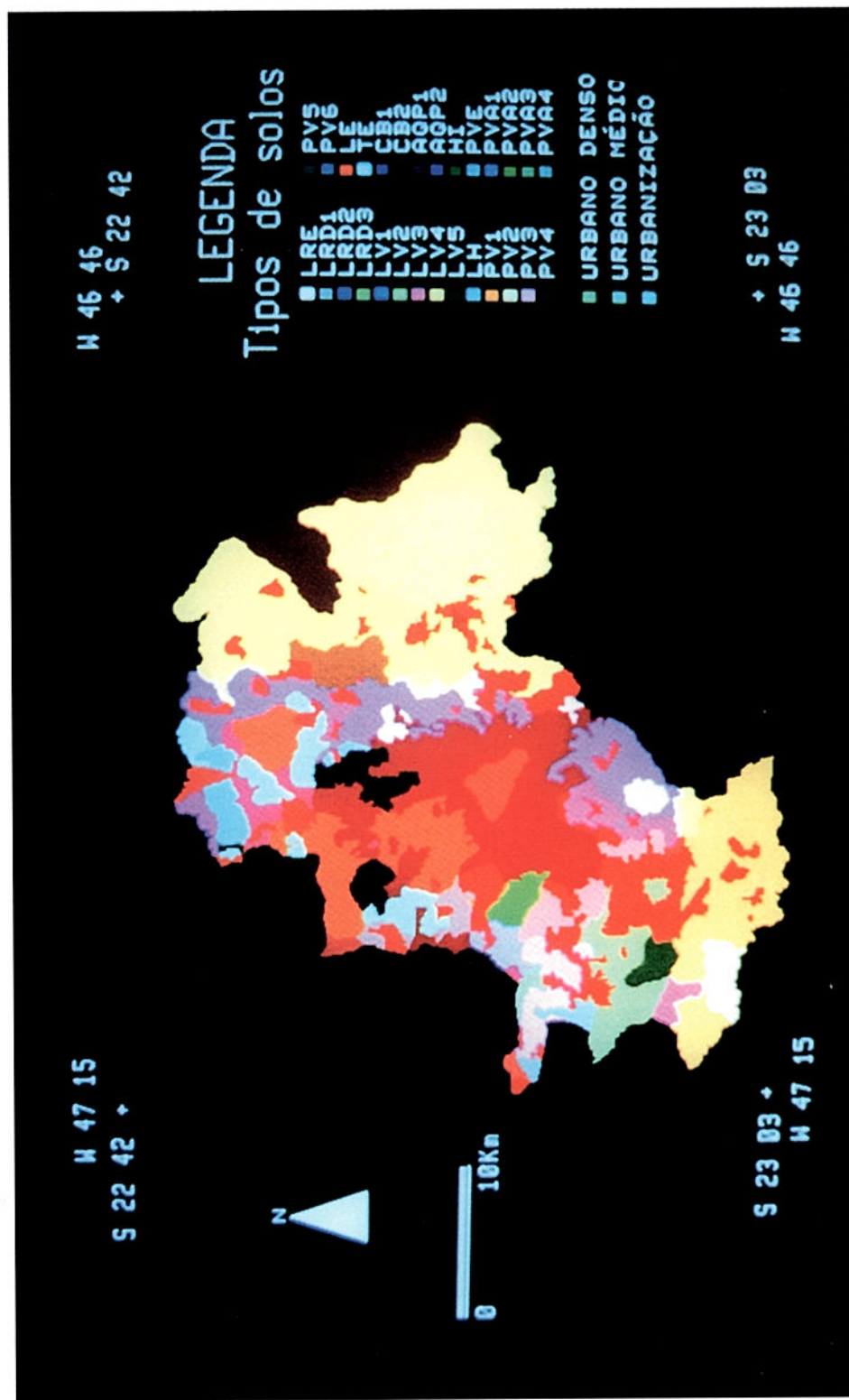


Foto Nº 3. Município de Campinas (SP). Mapa de erodibilidade.

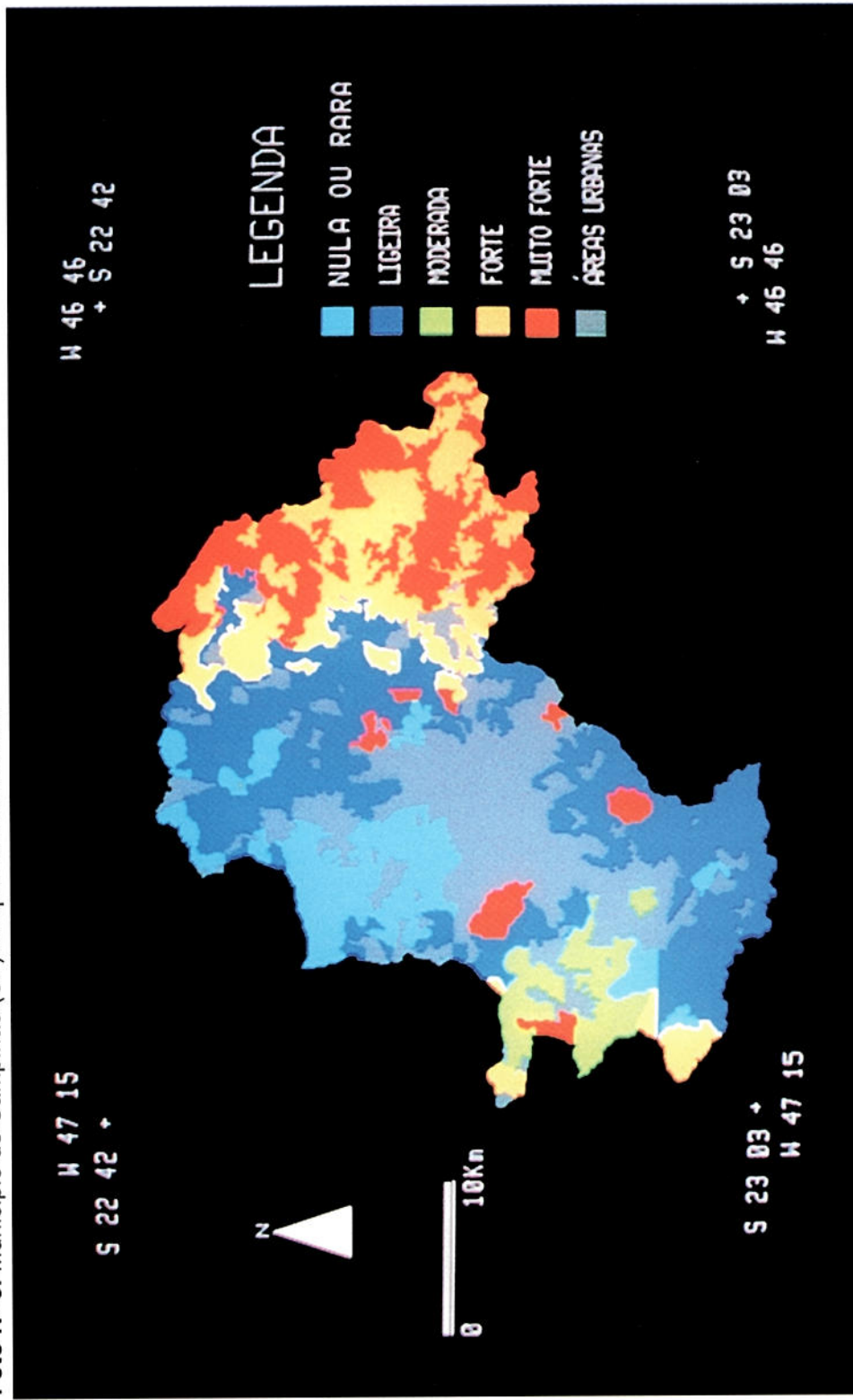
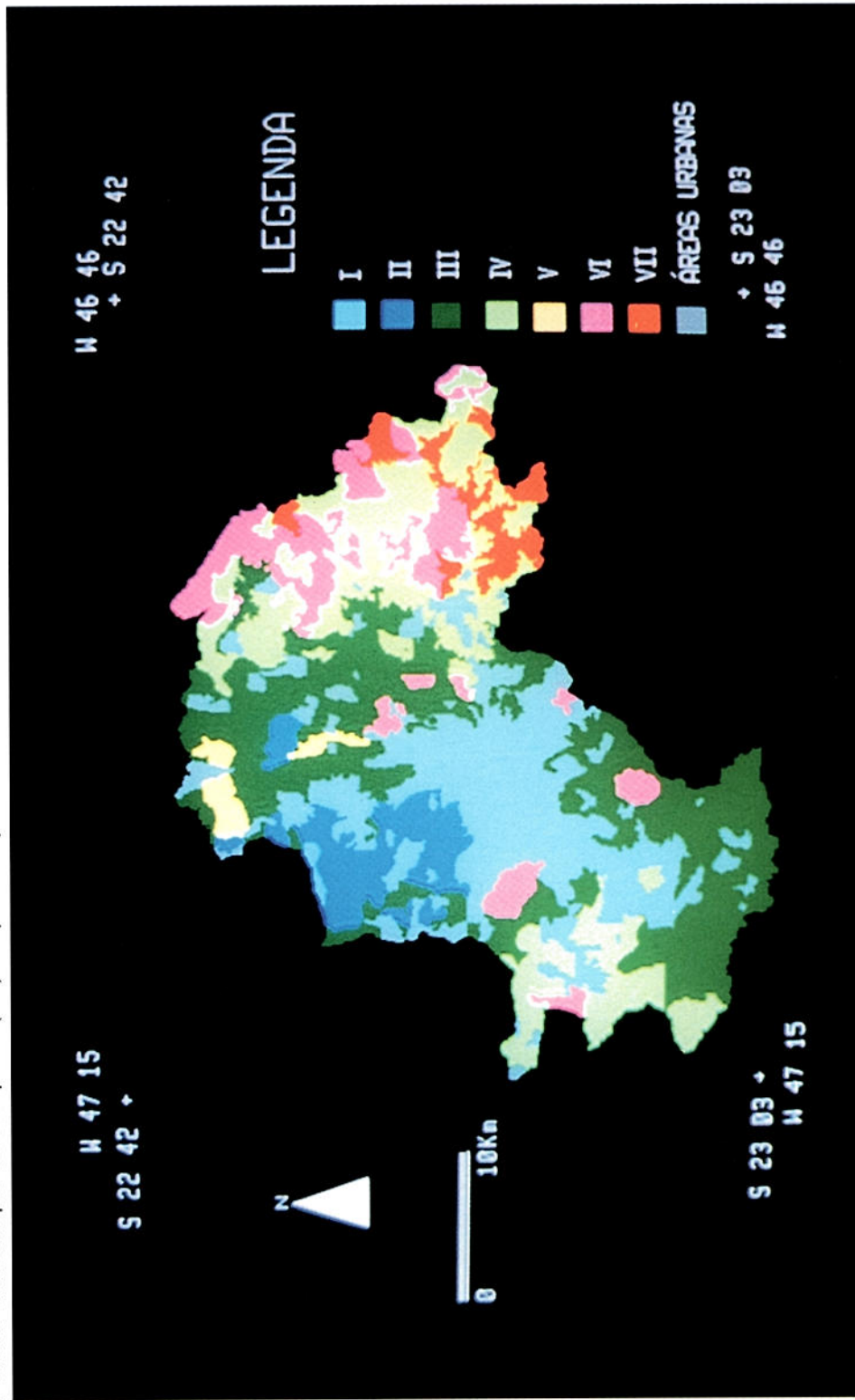


Foto Nº 4. Municipio de Campinas (SP). Mapa de capacidad de uso de las tierras.



**Resultados cartográficos relativos a la
caracterización del uso de las tierras**

Foto N° 5. Municipio de Campinas (SP). Detalle de imagen del satélite SPOT de la región de Campinas (composición en color verdadero).



Foto Nº 6. Municipio de Campinas (SP). Detalle de imagen del satélite SPOT de la región de Campinas (pancromática).



Foto Nº 7. Municipio de Campinas (SP). Detalle de imagen del satélite SPOT de la región de Campinas (con bosques. clasificados).

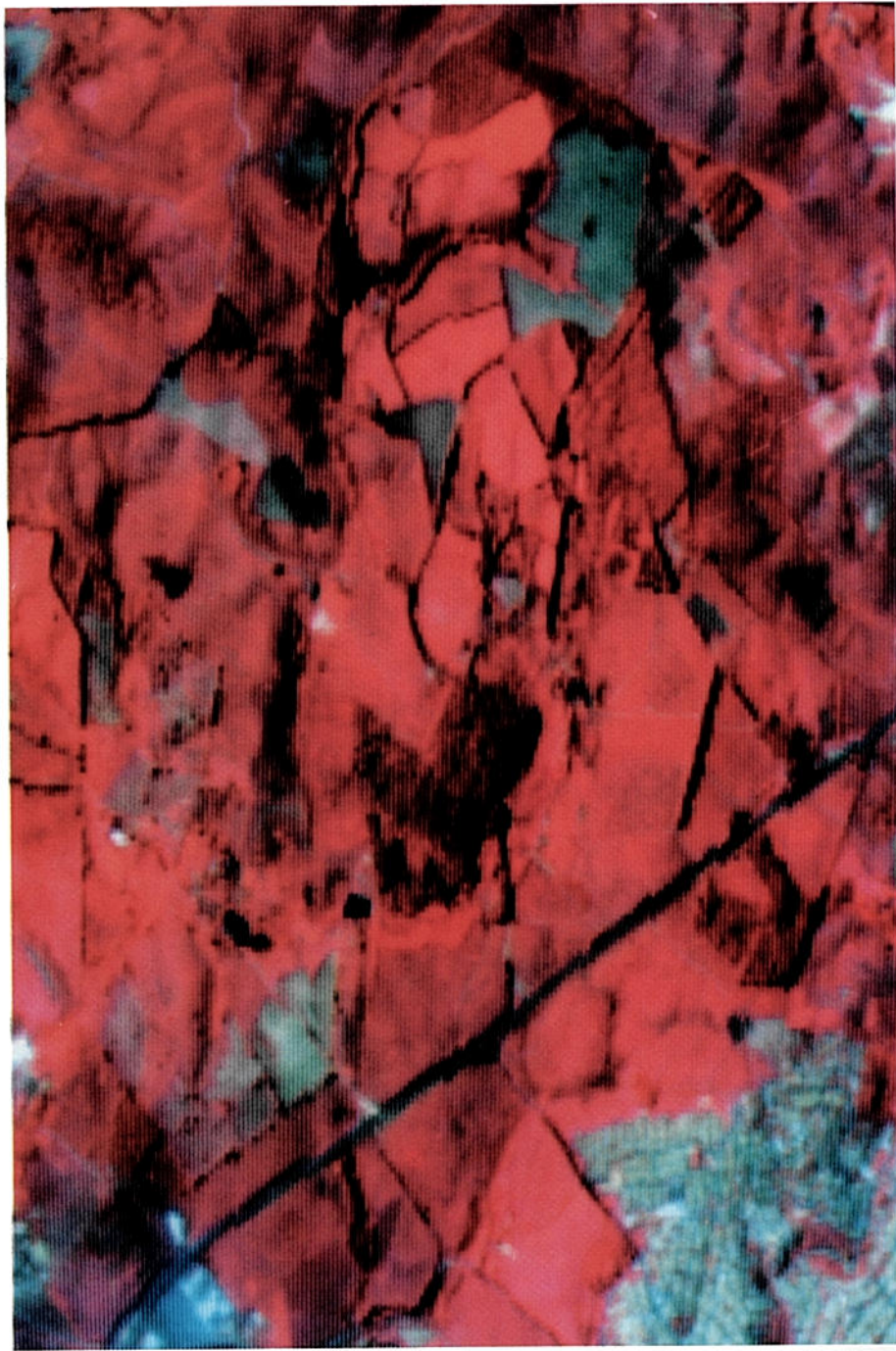
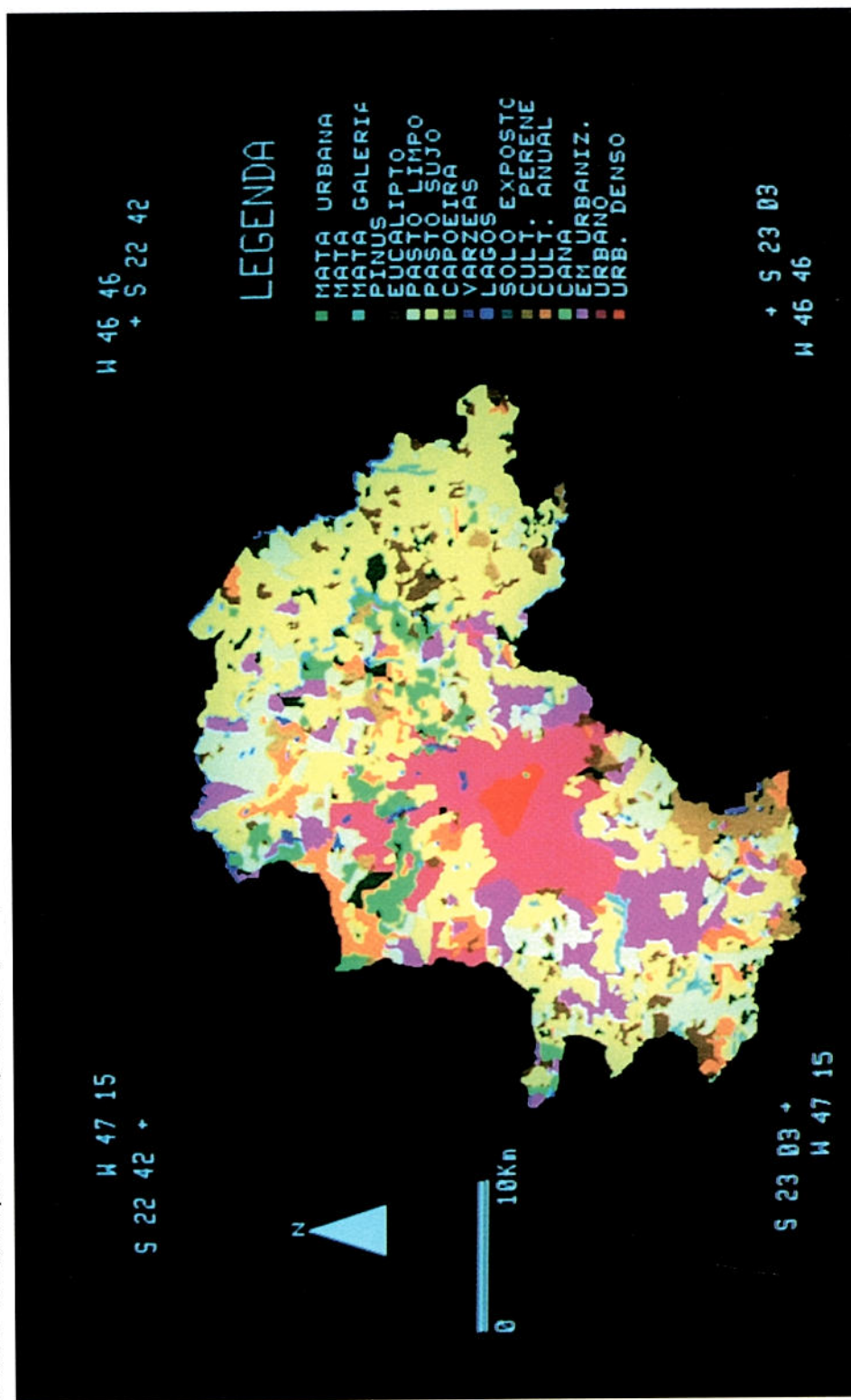


Foto Nº 8. Municipio de Campinas (SP). Mapa del uso actual de las tierras.



**Resultados cartográficos relativos al
impacto ambiental de la agricultura**

Foto Nº 9. Município de Campinas (SP). Mapa del uso de nitrógeno (kg/ha/año).

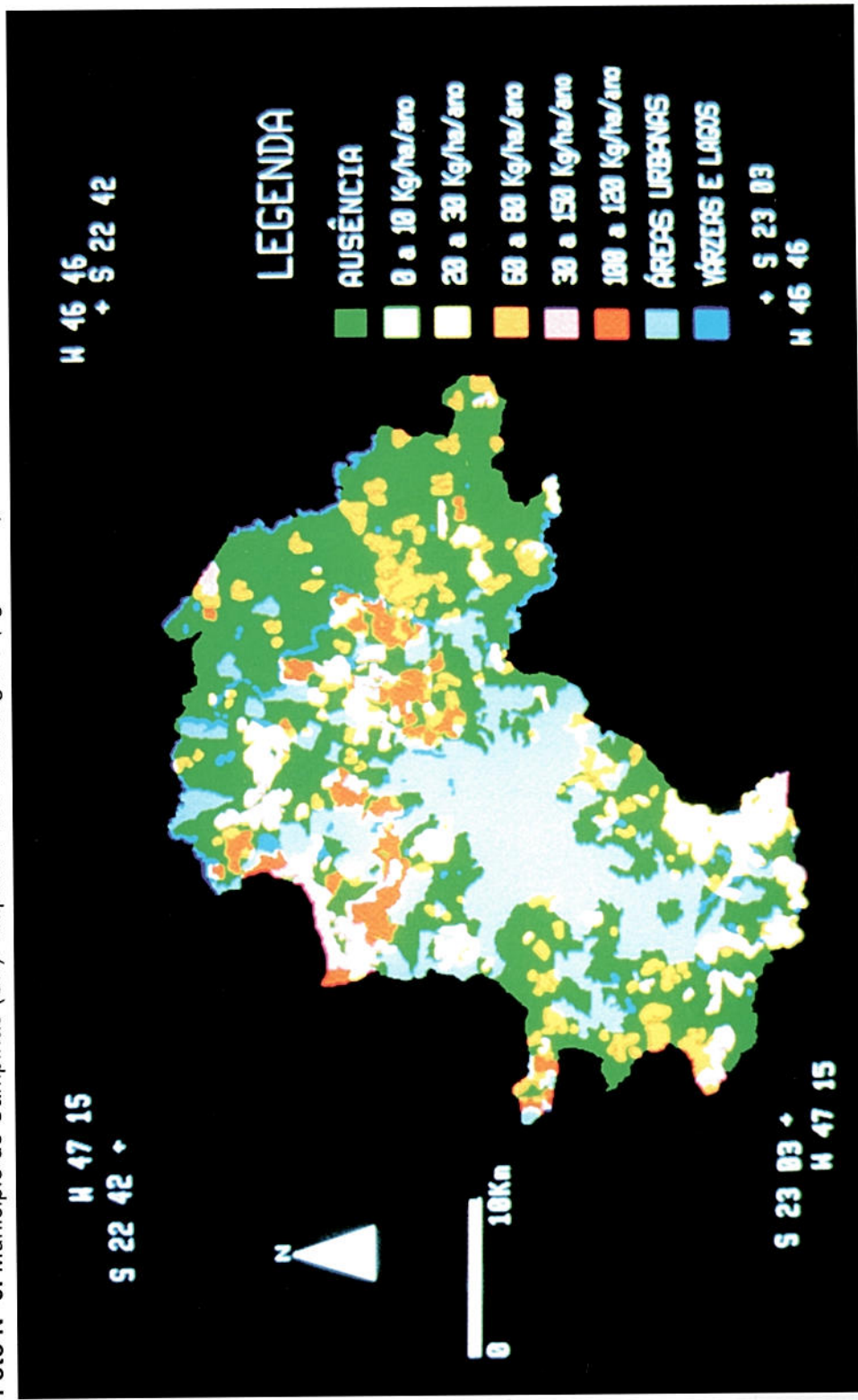


Foto Nº 10. Município de Campinas (SP). Mapa del impacto ambiental de las actividades agrícolas sobre la vegetación natural.

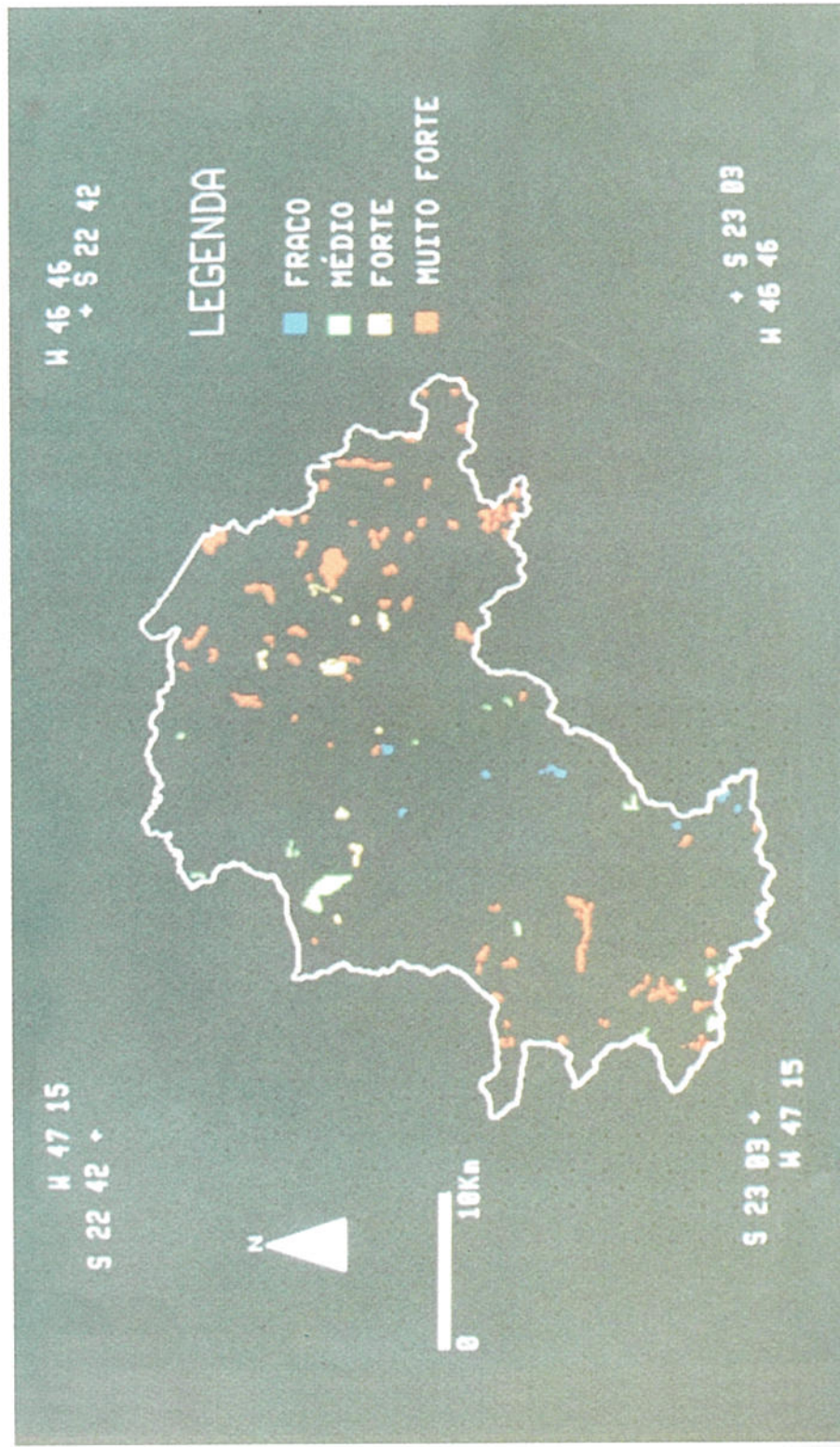
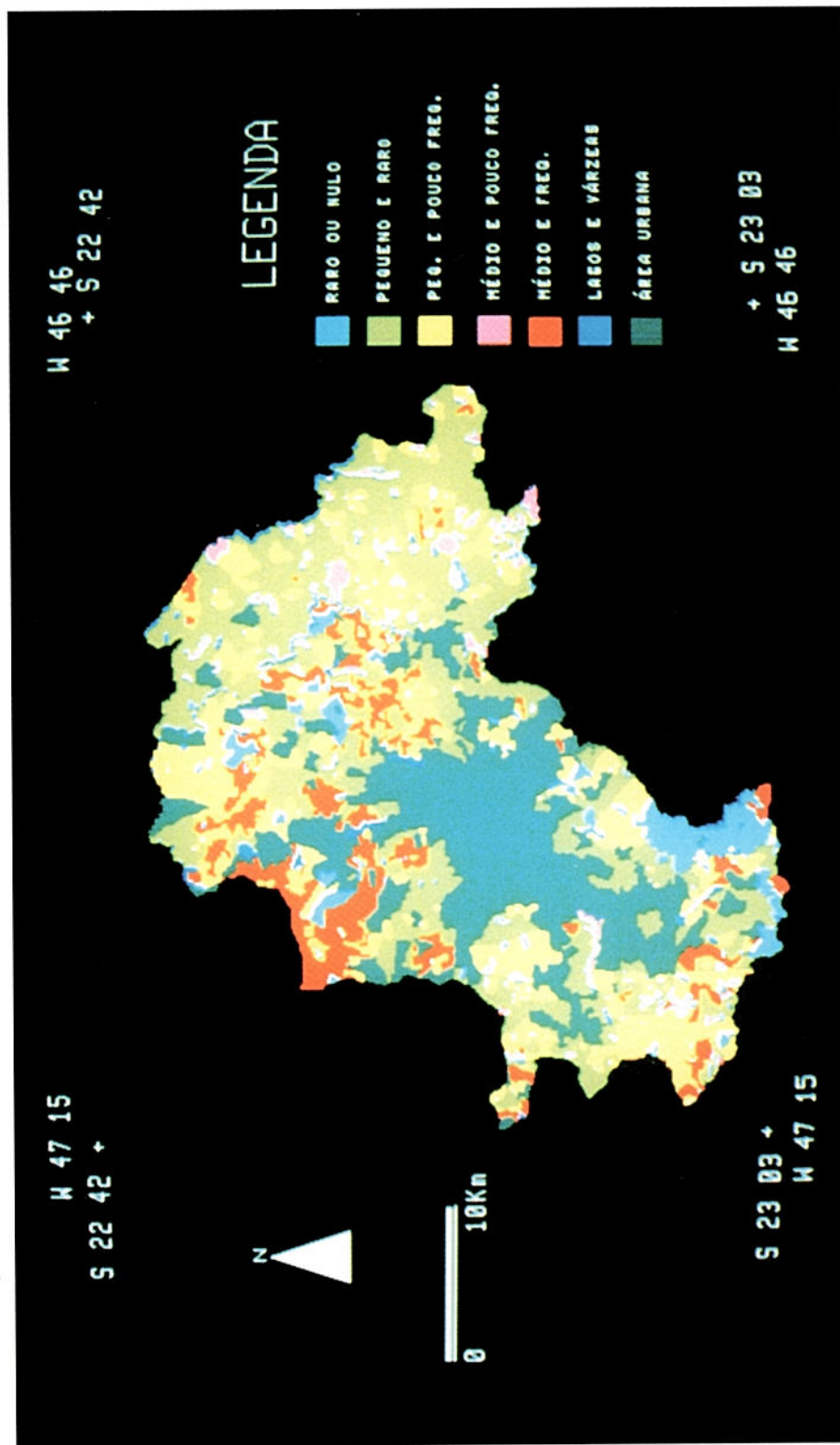


Foto Nº 11. Municipio de Campinas (SP). Mapa de síntesis del impacto ambiental de las actividades agrícolas.



**Resultados cartográficos relativos
a la sostenibilidad agrícola**

Foto Nº 12. Municipio de Campinas (SP). Mapa de empleo (jornadas-hombre/ha/año).

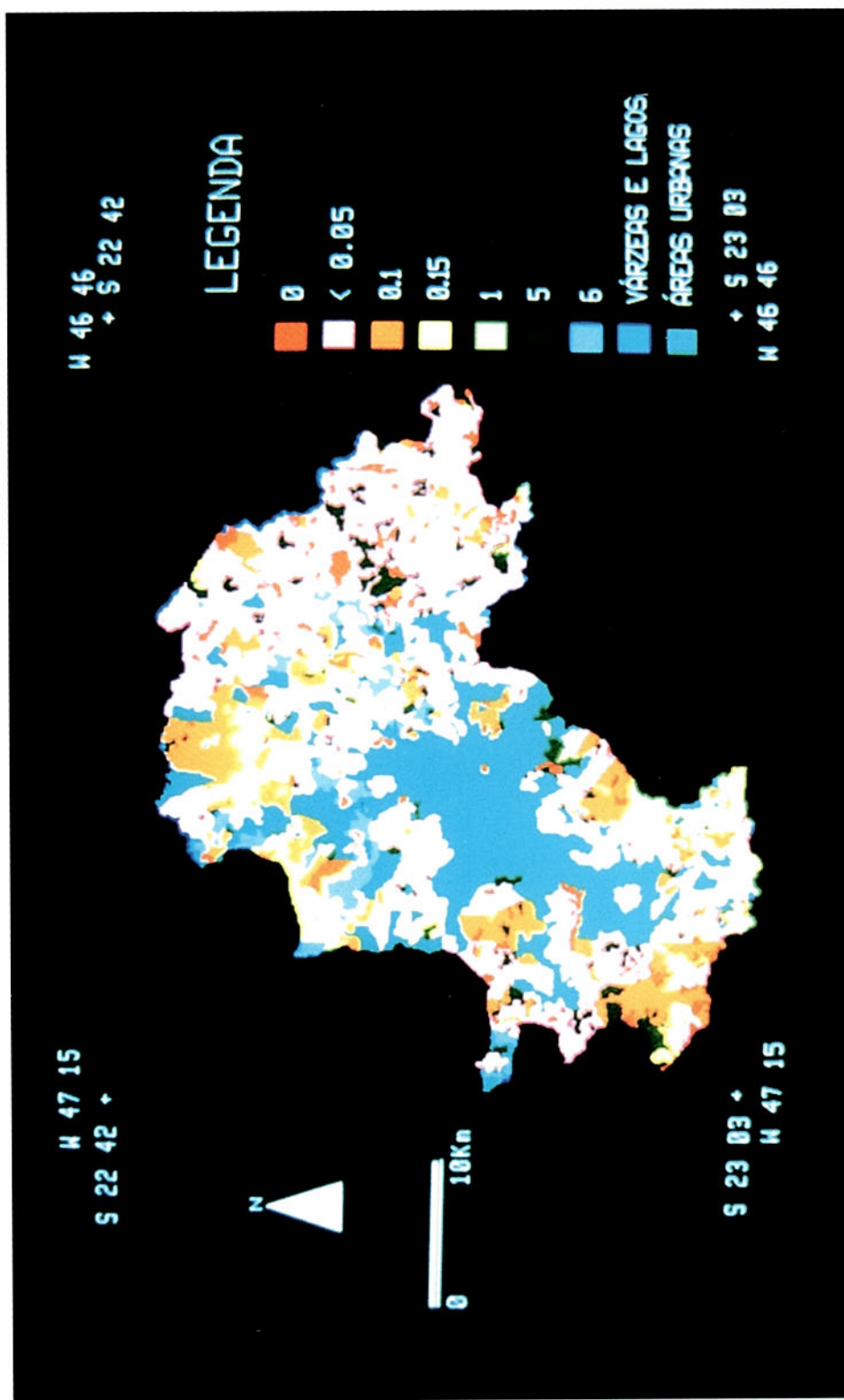


Foto Nº 13. Municipio de Campinas (SP). Mapa de la sustentabilidad económica y ambiental.

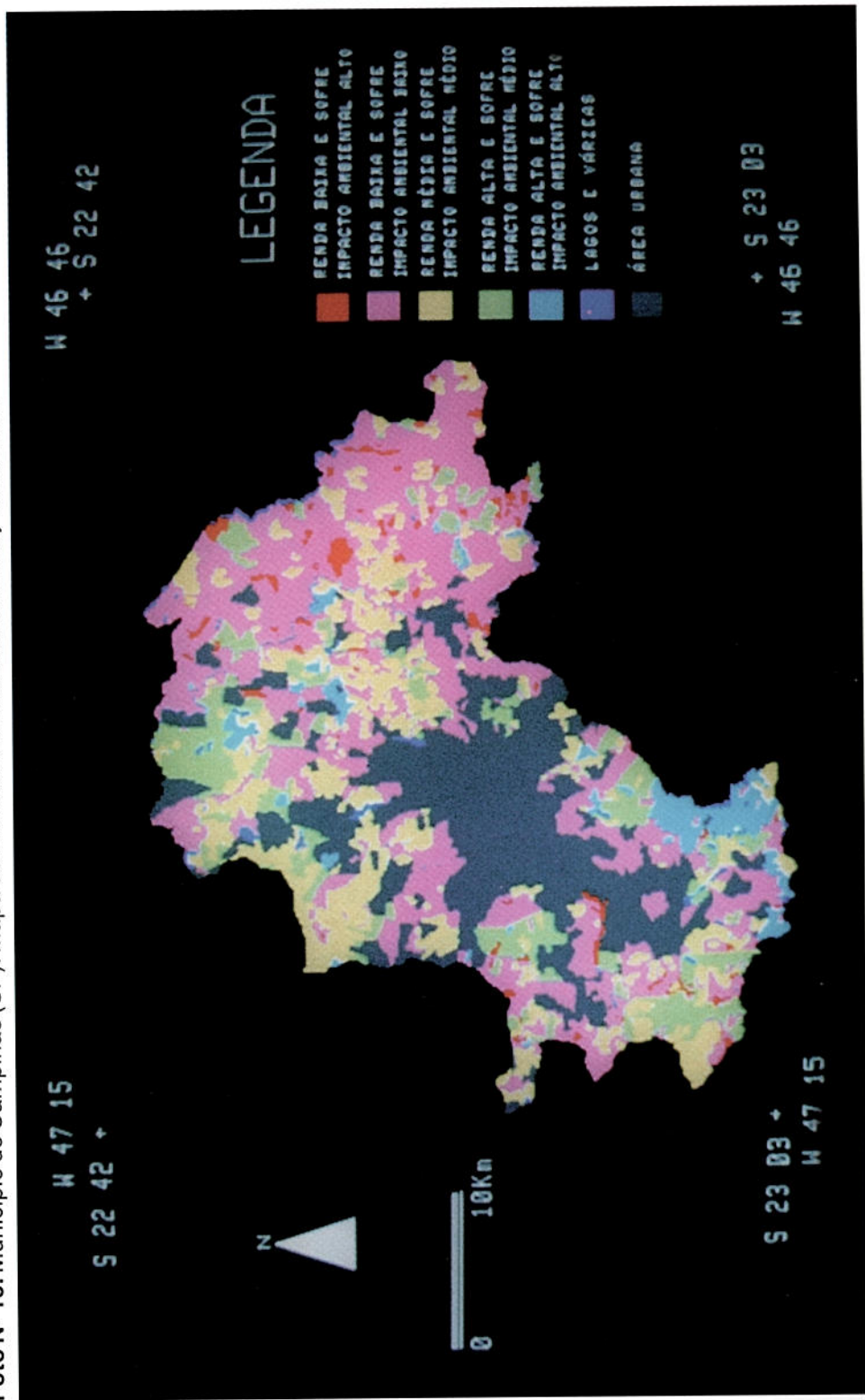


Foto Nº 14. Municipio de Campinas (SP). Mapa de la sustentabilidad social y ambiental.

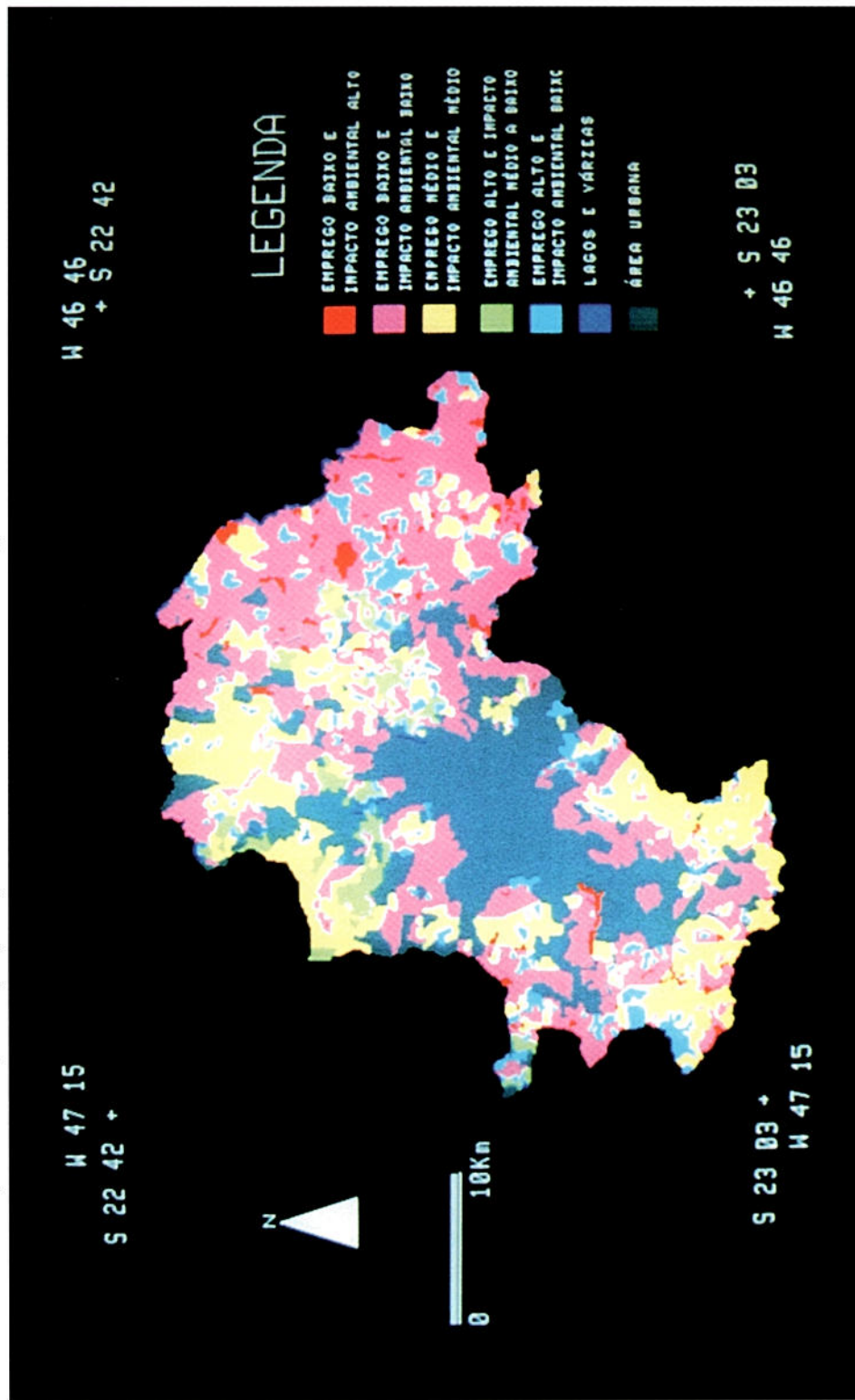


Foto Nº 15. Municipio de Campinas (SP). Mapa de adecuabilidad del uso de las tierras.

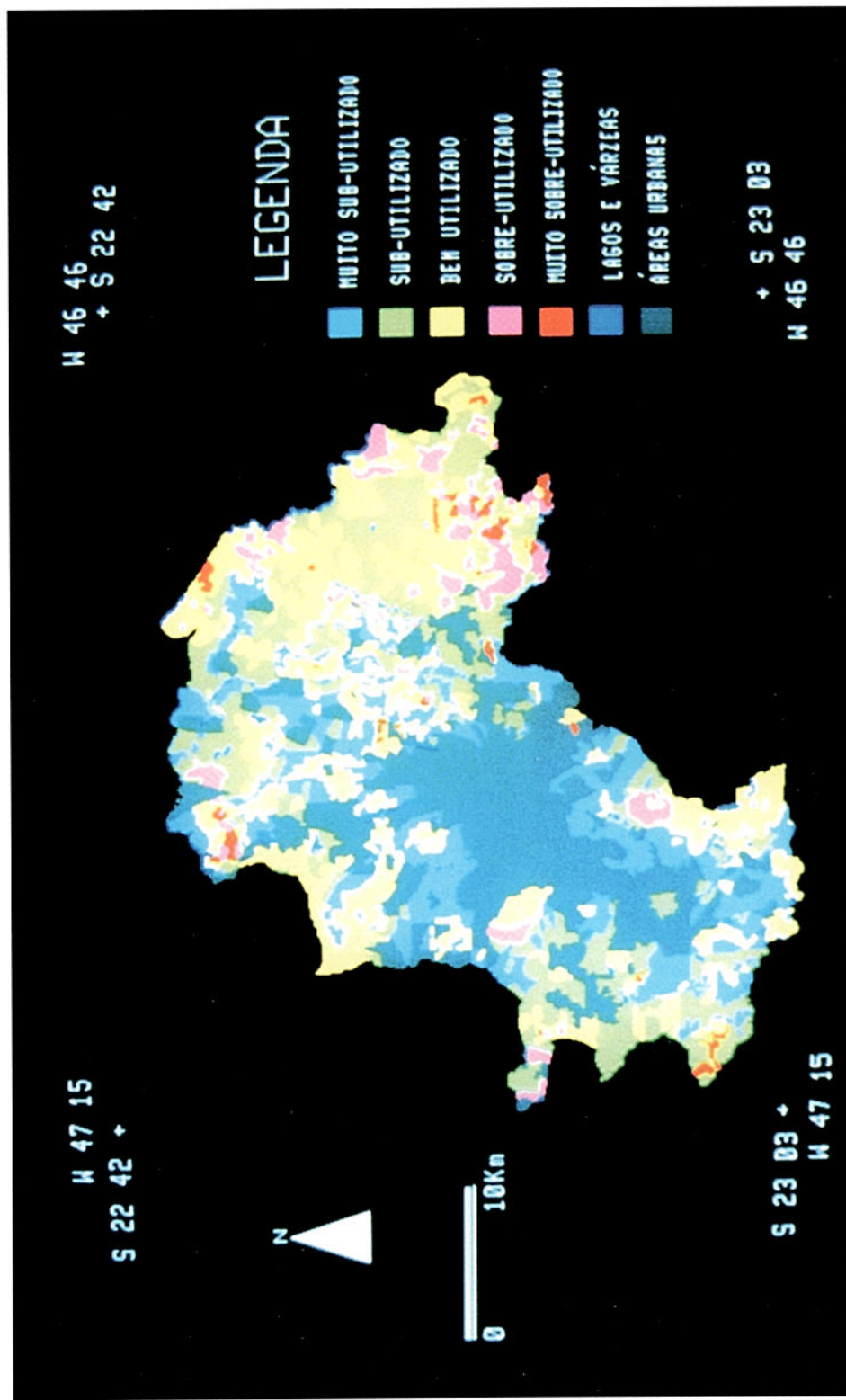
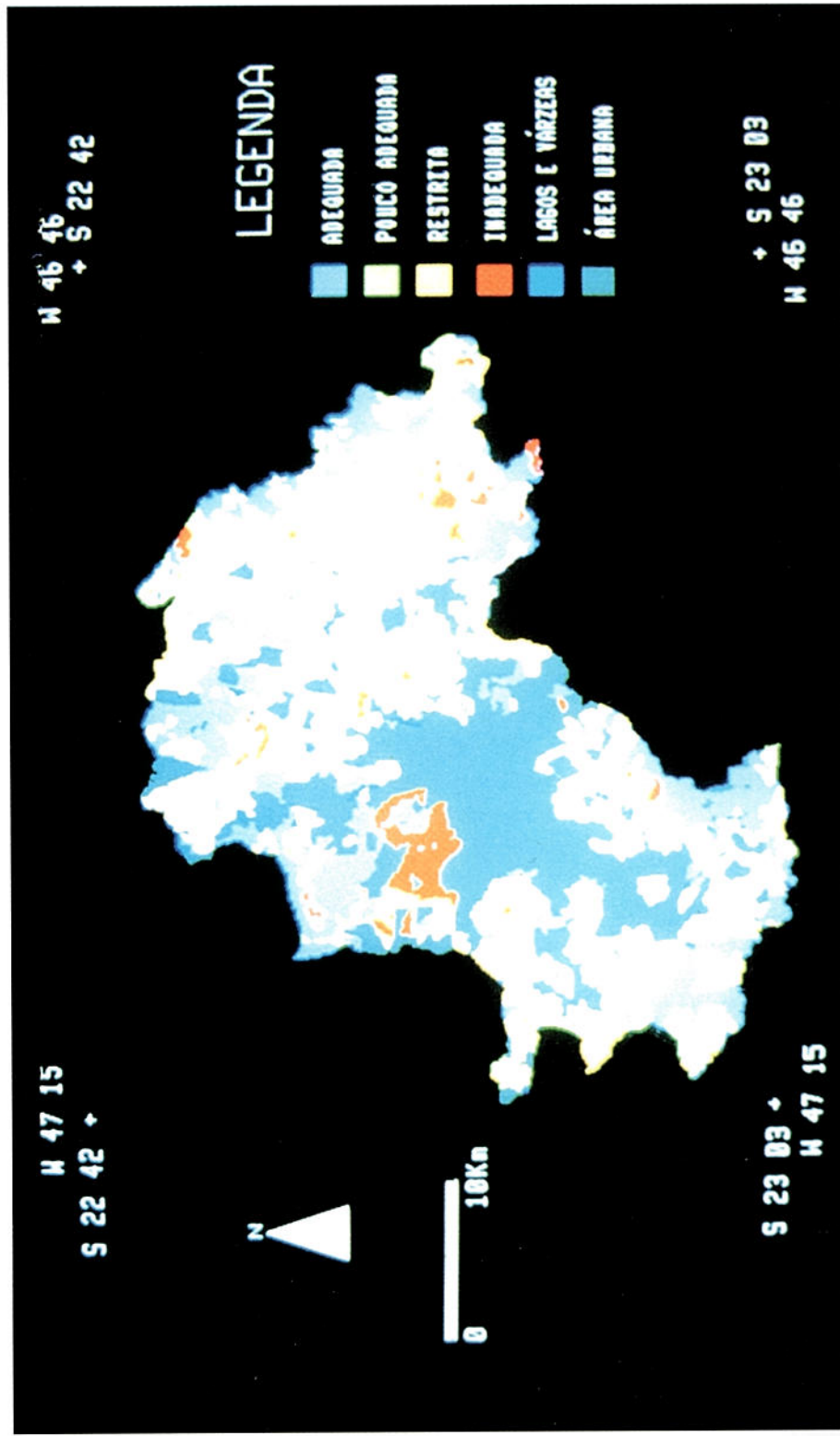


Foto Nº 16. Municipio de Campinas (SP). Mapa de adecuabilidad de la localización de los usos de las tierras.



DISCUSION Y CONCLUSIONES

Este proyecto de investigación pudo demostrar, de forma inédita, la importancia y la operacionalidad del GIS, como herramienta metodológica para evaluar la sostenibilidad agrícola de los sistemas de producción. Estos sistemas fueron considerados a nivel de municipio, cuenca hidrográfica o comunidad, integrando los datos obtenidos a nivel de finca.

La metodología propuesta al inicio del proyecto fue adaptada y convalidada a lo largo de su ejecución, en función de los logros y dificultades en su aplicación. En este sentido, la metodología descrita en este documento, difiere en algunos aspectos de la propuesta original y representa, de hecho, la síntesis metodológica del proyecto, tanto a nivel de opciones metodológicas y estratégicas, como a nivel de aspectos más operacionales. Por ejemplo, no se elaboró un mapa del impacto ambiental del uso de las tierras y un mapa del impacto ambiental de los sistemas de producción.

Los sistemas de producción engloban los diferentes tipos de uso, y un mismo uso puede comprender varios sistemas. El análisis de 100 fincas y el seguimiento dinámico de 40, fueron determinantes para establecer esas relaciones bajo una estrategia de muestreo estratificado y al azar. La complejidad del tema llevó a la elaboración de 17 mapas de impactos ambientales de los insumos agrícolas, de los recursos naturales afectados, de los sistemas ecológicos y de la adecuabilidad ambiental de la actividad agrícola, tanto en términos de ubicación como de recursos movilizados.

Los cuatro objetivos metodológicos propuestos han sido logrados y permitieron la estructuración de un sistema de informaciones geográficas (GIS), con casi 50 planos de información. Campinas es hoy el único municipio del Brasil que dispone de un análisis cartográfico y numérico de su agricultura, tan detallado y en base a medios tecnológicos tan modernos. Los temas tratados, las metodologías empleadas y los resultados obtenidos serán discutidos en los párrafos siguientes:

Capacidad del Uso Agrícola de las Tierras

El primer objetivo buscaba desarrollar una metodología, apoyada en GIS, para caracterizar de forma integrada, la capacidad de uso agrícola de las tierras, en áreas de pequeña agricultura y en la escala microrregional. Este objetivo fue logrado de forma completa. El uso del GIS permitió una caracterización de la capacidad del uso agrícola de las tierras de una forma mucho más amplia que la tradicional. El mapa final representa una integración jerarquizada - vía GIS - de doce mapas distintos. Cada mapa intermedio o temático, puede servir a distintas aplicaciones: estudios de

exposiciones de las pendientes al sol y a los vientos dominantes; estudios de la repartición espacial de los riesgos de heladas; estudios de las relaciones existentes entre los suelos, la topografía y las unidades de paisaje, etc.

La posibilidad ofrecida por el GIS para cambiar clases, alternar intervalos de clases, agrupar nuevas clases, constituir nuevos archivos de reglas para el cruce o la integración de dos o más mapas, evaluar automáticamente áreas y perímetros y reclasificar temas, permitieron que cada mapa pudiera ser construido y probado en diversas configuraciones numéricas. El poder de discriminación espacial de los intervalos de clases y de los cruces propuestos, también pudo ser validado y analizado gracias a los recursos del GIS. Estas formas de estudio y análisis, implican una cantidad inimaginable de cálculos, imposibles de ser hechos de otra manera y con el mismo resultado en términos de tiempo, costos y precisión.

El mapa final de la capacidad de uso agrícola de las tierras, no sólo cumple en sí mismo con sus objetivos, sino que también permite dar origen inmediatamente -vía GIS- a un mapa de erodibilidad, o de disponibilidad hídrica, o aún a un mapa sobre la toxicidad del aluminio libre en los suelos, por ejemplo. Basta un cambio en las clases de pendientes, para obtener otro mapa de erodibilidad, más o menos exigente en términos de conservación. De hecho, esta primera etapa del proyecto logró definir de forma coherente los métodos y las estructuras de un banco de datos geocodificado, capaz de servir en las más distintas evaluaciones de la capacidad de uso (*carrying capacity*), de los recursos naturales movilizados por la agricultura en un territorio determinado.

Uso Actual de las Tierras

El segundo objetivo logrado por el proyecto, fue el de consolidar una metodología de caracterización del uso actual de las tierras y de los principales sistemas de producción asociados. En esta etapa se buscó valorizar los recursos instrumentales ofrecidos por los GIS y el tratamiento de imágenes de satélites, en áreas de pequeña agricultura y en la escala microrregional. El uso del GIS y de las imágenes de satélites (SPOT y LANDSAT), en forma digital y analógica, permitieron la caracterización y el mapeo del uso agrícola de las tierras en forma:

- Precisa (detalles de 50 metros para un área de casi 800 km²).
- Oportuna (las imágenes de satélite en algunas ocasiones tenían apenas algunos meses de diferencia con la fecha de conclusión del mapa).
- Operacional (un equipo de tres personas fue suficiente para la ejecución del trabajo, y las rutinas obtenidas pueden ser aplicadas en contextos semejantes).
- Detallada (fueron establecidas 18 categorías distintas de uso de las tierras).
- Eficiente (las verificaciones de campo indicaron pocas diferencias con el mapa intermedio obtenido con las imágenes de satélite).

El mapa fina
del muestreo
sistemas de p
la creación d
producción,
de uso de las
La construc
complejo de

Las técnicas
ya que no se
conjunto del
cuarenta fuer
y entrevistas
banco de dato
para lograr es
en este docun

Impacto Aml

El tercer objet
caracterizaci
microrregiona

La metodolog
desarrollada e
la explotación
todos los plan
del banco de
Gracias al usu
considerados

La primera pe
uno de los inst
producción vi
posible, gracia
simultáneame
pesticidas o fe

En la segunda
los recursos na
Los modelos c
temáticos con
natural consid

Impacto ambien

El mapa final del uso de las tierras, representó un instrumento para la organización del muestreo y del seguimiento de las fincas, facilitando la descripción técnica de los sistemas de producción vinculados a las unidades de uso de las tierras. Fue necesaria la creación de un banco de datos con los coeficientes técnicos de los sistemas de producción, vinculados a cada tipo de uso de tierras. Muchas veces, un mismo tipo de uso de las tierras incluía implicar en dos o tres sistemas de producción diferentes. La construcción de ese banco de datos geocodificable, representó un esfuerzo complejo de integración de datos numéricos y cartográficos.

Las técnicas y estrategias de muestreo, cumplieron un rol importante en este caso, ya que no se dispone de mapas de catastro rural actualizados y unificados del conjunto del municipio de Campinas. Cien fincas fueron estudiadas y de éstas, cuarenta fueron objeto de un seguimiento dinámico simplificado. Datos de literatura y entrevistas con investigadores y extensionistas, contribuyeron para completar el banco de datos que sigue evolucionando. Todas las etapas y pasos metodológicos para lograr esa integración entre el GIS y las imágenes de satélites, fueron presentados en este documento y sirvieron de base para el logro de su tercer objetivo.

Impacto Ambiental de la Agricultura

El tercer objetivo del proyecto era desarrollar una metodología, apoyada en GIS, de caracterización del impacto ambiental de la actividad agrícola, en escala microrregional (recursos naturales y sistemas ecológicos).

La metodología de evaluación del impacto ambiental del uso agrícola de las tierras desarrollada en este proyecto, fue tributaria de las etapas antecedentes y se basó en la explotación simultánea, vía GIS, del mapa de capacidad de uso de las tierras (y de todos los planos de información derivados), del mapa de uso actual de las tierras y del banco de datos con los coeficientes técnicos de los sistemas de producción. Gracias al uso del GIS, los impactos ambientales de la agricultura pudieron ser considerados desde tres perspectivas.

La primera perspectiva consideró el impacto ambiental directo e indirecto de cada uno de los insumos agrícolas, considerados sus empleos en los sistemas técnicos de producción vinculados a cada uso de las tierras. En este nivel de información es posible, gracias a los recursos del GIS, detectar e identificar las áreas críticas y/o simultáneamente afectadas para cada tipo de insumo más impactante, como los pesticidas o fertilizantes nitrogenados.

En la segunda perspectiva, se consideró el impacto ambiental de la agricultura sobre los recursos naturales (suelos, aguas superficiales, aire, vegetación natural y fauna). Los modelos definidos y los archivos de reglas construidos para integrar los mapas temáticos con esta finalidad, fueron distintos en función de la naturaleza del recurso natural considerado. Por ejemplo, en el caso de la vegetación natural impactada por

la agricultura, se trataba de considerar el entorno de esas unidades preservadas, los sistemas de producción practicados, los vientos dominantes, las pendientes etc. En estos casos, el impacto venía eminentemente desde "afuera" mientras que en otros, los impactos eran producidos *in situ*. El GIS posee recursos importantes de manipulación de objetos geométricos para considerar entornos espaciales, ecotonos, perímetros, etc., aplicados en esta etapa del trabajo.

En la última perspectiva, los mapas anteriores fueron integrados y considerados a nivel de sistemas ecológicos, dando origen a los mapas del impacto ambiental de la agricultura sobre los sistemas bióticos y abióticos.

Un mapa de síntesis final pudo ser elaborado, resumiendo el impacto ambiental de la agricultura en el municipio de Campinas.

Cada uno de los mapas analíticos o sintéticos, fue integrado con pesos distintos y de formas variadas, para generar los dos mapas finales del impacto ambiental del uso de las tierras y de los sistemas de producción, sobre los sistemas bióticos y abióticos, así como el mapa de síntesis. Algunos mapas o temas, como los recursos hídricos, participaron tanto de los mapas sintéticos sobre los sistemas bióticos, como de los abióticos. Otros mapas solo intervinieron en uno de los casos. Verificaciones de campo permitieron constatar la pertinencia de los mapas obtenidos.

Hay que señalar que los mapas sintéticos, están absolutamente condicionados por lo que uno considere como prioridades, en términos ambientales o problemas críticos más importantes. Las opiniones de los pedólogos o de los hidrólogos, por ejemplo, no son las mismas respecto de lo que es más prioritario o crítico, en términos de impacto ambiental de las actividades agrícolas. Los mapas finales resultaron de un consenso relativo entre los participantes del proyecto. Pero ese proceso de diálogo interdisciplinario, dejó clara la capacidad del GIS para generar varios mapas de situaciones críticas de impacto ambiental, según las distintas prioridades elegidas. Ese ejercicio para definir pesos de las variables y modelar su intervención, puede servir también para detectar y definir preliminarmente áreas, fenómenos y procesos críticos, en términos de sostenibilidad. En total, el tercer objetivo del proyecto, generó un conjunto de 15 mapas distintos, relativos al impacto ambiental de las actividades agrícolas.

Evaluación de la Sostenibilidad Agrícola

El cuarto objetivo del proyecto fue el de consolidar una metodología de evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de producción de los pequeños agricultores, apoyada en GIS, en la escala de comunidades, cuencas o municipios (microrregional). Este objetivo fue el más complejo del trabajo. Su logro implicó, no solamente un trabajo de naturaleza cartográfica, sino también, simulaciones de escenarios cuantitativos (numéricos), y cualitativos. Esto se tradujo en una serie de productos de gran

interés para resultados ar la dimensión fenómenos c actual conte;

En este enfoque (por ejemplo), La intensidad completamer hay que mane incoherentes,

Algunas oper imposibles o completamen productividad

Considerando por la agricult *sensu lato* por sostenibilidad ambiental de l mapa de imp; distintas como superficie, el r características

Como ya se ha pueden ser vis balance entre c de los coeficie tierras, se ha l sociales.

El procedimie indicadores, en prioritarios en e lugar a modelo vista económica agricultores y r como una herra los servicios y delimitado.

Impacto ambient

interés para el estudio de la sostenibilidad agrícola. Se buscó generar, en base a los resultados anteriores, indicadores de sostenibilidad agrícola que pudieran combinar: la dimensión espacial (áreas críticas, ubicación de los usos, etc.), la naturaleza de los fenómenos que requieren mayor sostenibilidad y los procesos más críticos en el actual contexto (acumulación, sinergías, etc.).

En este enfoque metodológico los cambios de escala (municipio, cuencas, comunidad, por ejemplo), implican muchas veces un cambio de los fenómenos a ser considerados. La intensidad y la naturaleza de los procesos considerados, también pueden cambiar completamente. En este sentido, la experiencia del equipo del proyecto, mostró que hay que manejar con mucho criterio el instrumento GIS, para no generar resultados incoherentes, o indebidamente ponderados, con relación a la realidad rural.

Algunas operaciones intermedias imaginadas en el inicio del proyecto, se revelaron imposibles o sin sentido. Por ejemplo, la heterogeneidad espacial inviabilizó completamente las tentativas de generar mapas de isolíneas de producción y productividad, a pesar de la posibilidad del recurso en el *software* de GIS empleado.

Considerando la sostenibilidad como un objetivo a ser buscado de forma permanente por la agricultura, el proyecto ha confrontado el consumo y la producción de recursos *sensu lato* por parte de la actividad agrícola. La primera etapa de la evaluación de la sostenibilidad agrícola pasó, obligatoriamente, por una evaluación del impacto ambiental de los insumos, de los sistemas de producción y del uso de las tierras. El mapa de impacto ambiental logrado en este trabajo, consideró dimensiones tan distintas como el mantenimiento de la vegetación nativa y la calidad del agua de superficie, el mantenimiento de las poblaciones faunísticas y la conservación de las características físicas de los suelos.

Como ya se ha dicho en este documento, los problemas de impacto ambiental, no pueden ser vistos como sinónimos de problemas de sostenibilidad. Para hacer un balance entre consumo y producción de recursos, a través del GIS, del banco de datos de los coeficientes técnicos de los sistemas de producción, y del mapa de uso de las tierras, se ha buscado valorizar la actividad agrícola en términos económicos y sociales.

El procedimiento empleado fue bastante simple, y se basó en la creación de dos indicadores, en donde determinados problemas fueron privilegiados, pues serían prioritarios en el contexto rural y agrario estudiado. En el futuro, esa etapa podría dar lugar a modelos de valorización más complejos y completos, tanto desde el punto de vista económico, como social. Las ponderaciones podrían ser discutidas con los agricultores y responsables del desarrollo rural y local. De hecho, el GIS se reveló como una herramienta eficiente para realizar ese tipo de evaluación de la riqueza de los servicios y utilidades generados por la actividad agrícola a nivel de un territorio delimitado.

La generación de los mapas de sostenibilidad agrícola, fue sin duda el resultado que involucró los aspectos más complejos de la investigación. En la primera parte, la generación del mapa de adecuabilidad del uso de las tierras, exigió una evaluación numérica de la disponibilidad de unidades de capacidad de uso de tierras, a partir del mapa de capacidad de uso, vía GIS. La realización de un producto cruzado (tabla cruzada), vía GIS, entre la capacidad de uso de las tierras y de los usos actuales debidamente "capacitados" (en función de sus requerimientos o aceptación de clases de capacidad de uso), fue determinante en la identificación de las situaciones más críticas.

Vía GIS, en un producto cruzado cartográfico, cada punto de un mapa es confrontado con el mismo punto en el otro. La matriz generada está llena de informaciones para definir el archivo de reglas para la generación del mapa de adecuabilidad del uso actual de las tierras. De alguna forma, ese mapa ya es una excelente indicación de los problemas de sostenibilidad originados por cuestiones de localización y ubicación espaciales de los cultivos, y/o por el uso inadecuado de los recursos por parte de las actividades agrícolas.

De forma análoga, la evaluación de la sostenibilidad económica y social, al buscar un posible balance entre el mapa de impacto ambiental de la agricultura y los mapas de los indicadores de desempeño económico y social, también exigió varios productos cruzados, siguiendo algunas reclasificaciones fundamentales para aclarar posibles patrones espaciales. La identificación y jerarquización de las situaciones más críticas, a partir de una evaluación numérica de las superficies y valores involucrados, fueron muy útiles en la creación del archivo de reglas definitivo. Este archivo fue utilizado para la integración de los mapas de impacto ambiental, de desempeño económico y de desempeño social, vía GIS, en el mapa final de la sostenibilidad económica de la agricultura para el Municipio de Campinas.

Los recursos del GIS, como el banco de datos articulado a cada polígono del mapa, permitieron identificar, en términos territoriales o de áreas (ubicación, superficies, entorno, situación espacial, etc.), las situaciones más críticas en términos de sostenibilidad. A veces esos polígonos son muy pequeños en el mapa final y necesitan una ampliación en la pantalla para una correcta visualización. Confrontar esos polígonos con otros planos de información, es fácil y de gran interés. Están algunas veces no solamente asociados a procesos (mecanización, preparación de suelos, uso de determinadas tecnologías, etc.), y a fenómenos (pérdida de suelos, contaminación de acuíferos, producción de riqueza, etc.), sino también a determinadas posiciones geomorfológicas o de patrones de repartición espacial del uso de las tierras, que se pueden identificar vía GIS. Algunas de esas situaciones evocan una posible acumulación histórica de problemas, que la naturaleza de esta investigación no permitía evaluar. Esas dimensiones temporales, que pueden significar acumulación, compensación o exacerbación de problemas de sostenibilidad, no pudieron ser debidamente analizadas en este caso.

Este cruce
a título de
cuenca del
sentados en
Procesos sin

Escenarios

Uno de los i
de cambio
ejercicio, en
el objetivo
naturales y/
atribuirles ni

Ese ejercicio
le pareció mu
de los proble
de políticas d
Aspectos de
América Lati
en cuenta el
evaluación de

Los resultado
complementa
las tierras y/o
ser definidas
ciones y evalu
adopción de t

A partir de e
realizar alguna
en el Municipi
grandes estrate
estos escenario
de desarrollo
más eficiente:
cambiar el uso

Estos dos ejes
tienen implicac
fue hecha más
y su interés pa

Impacto ambient

Este cruce con otros mapas y los recursos de cambios de escala del GIS, permitieron, a título de ejemplo, la elaboración de mapas análogos -pero distintos- a nivel de la cuenca del río Atibaia. Cuatro ejemplo de mapas a nivel de esta cuenca fueron presentados en escala 1:25.000 en el informe final de este proyecto (Miranda *et al.*, 1995). Procesos similares pueden ser empleados a nivel de comunidades, subcuencas, etc.

Escenarios para Aumentar la Sostenibilidad Agrícola

Uno de los intereses de los GIS, está en la posibilidad de simular nuevos escenarios de cambio y desarrollo, para un determinado espacio geográfico. A título de ejercicio, en el caso de Campinas, dos escenarios o estrategias fueron definidas con el objetivo de simular un posible aumento de la sostenibilidad de los recursos naturales y/u obtener una reducción de áreas y procesos críticos. No hay que atribuirles ningún valor esencial a nivel práctico para la agricultura de Campinas.

Ese ejercicio no estaba previsto en el proyecto inicial, pero al equipo de investigación le pareció muy interesante intentar ir más allá en el uso del GIS, para un diagnóstico de los problemas de sostenibilidad, para probar su interés en el proceso de generación de políticas de investigación, fomento, extensión, urbanización, o asistencia técnica. Aspectos de integración entre los niveles micro y macro, que tanto preocupan en América Latina, podrían encontrar en los GIS una herramienta interesante, teniendo en cuenta el poder resolutivo que el GIS pudo cumplir en la construcción y evaluación de cada escenario.

Los resultados obtenidos mostraron la utilidad del GIS como un instrumento complementario en la concepción y simulación de estrategias de cambio del uso de las tierras y/o de cambios en los sistemas de producción. Estas estrategias pudieron ser definidas y simuladas. Con la simulación, fue posible hacer algunas comparaciones y evaluaciones, en relación a su eficiencia y logros, dentro de hipótesis de adopción de tecnología, definidas en un marco de viabilidad y factibilidad.

A partir de estos resultados, el equipo desarrolló aspectos metodológicos para realizar algunas simulaciones de cambios, en las actuales situaciones críticas identificadas en el Municipio de Campinas. Dichas simulaciones fueron construidas en base a dos grandes estrategias o ejes de trabajo posibles, en la cuestión de la sostenibilidad. De hecho, estos escenarios polarizan e interrogan las opiniones de los investigadores y responsables de desarrollo. De forma simplificada, el desafío podría ser resumido en lo que sería más eficiente: cambiar los sistemas de producción (eje con matiz tecnológico), o cambiar el uso de las tierras (eje con matiz de políticas públicas).

Estos dos ejes no son excluyentes y, evidentemente, pueden ser combinados. Ambos tienen implicaciones de tecnología y de políticas públicas. Esa separación abusiva fue hecha más en el sentido de obtener una mejor visión del posible aporte del GIS y su interés para simular esos escenarios.

Cabe señalar, que los escenarios fueron contruidos a partir de la realidad, y en función del impacto ambiental, identificado y mapeado por el proyecto, vía GIS. Las soluciones probadas también corresponden a la realidad tecnológica y a las posibilidades del municipio, en términos de mercado, acceso a tecnología, servicios de fomento, condiciones ambientales, etc. En otras palabras, se buscó trabajar con soluciones reales, para situaciones reales. Para medir el poder "resolutivo" de esos escenarios, se trabajó con una perspectiva máxima de adopción y aplicación, dentro de criterios mínimos de factibilidad (el escenario es aplicable o no), y de viabilidad (el escenario es posible y en qué medida). La adopción o aplicación quedó entonces limitada, exclusivamente, por imposibilidades ambientales de naturaleza agronómica o ecológica, detectadas y evaluadas a partir del GIS y de los resultados obtenidos en cada caso. La no adopción por razones culturales, sicológicas o personales, fue considerada nula en estos escenarios preliminares.

Escenario 1: cambios tecnológicos

En algunos casos se trata de introducir la tecnología y en otros de perfeccionar o ampliar su empleo. El análisis multidisciplinario identificó las siguientes tecnologías o innovaciones tecnológicas prioritarias y disponibles, capaces de resolver en forma más directa las áreas, fenómenos y procesos críticos, en términos de la sostenibilidad agrícola en Campinas.

1. Introducción de la cosechadora de caña verde.
2. Intensificación de las prácticas de conservación de suelos.
3. Manejo integrado de plagas y malezas (MIPM).
4. Racionalización del uso de fertilizantes y abonos.
5. Intensificación de la ganadería extensiva.
6. Manejo de praderas cultivadas.

En este escenario, se consideró que todos los cambios tecnológicos serían aplicados simultáneamente, con tasas de adopción diferenciadas según su factibilidad y viabilidad, frente a las condiciones locales y según los criterios ya discutidos. Las principales etapas metodológicas y operacionales aplicadas, probadas y evaluadas para el escenario 1, fueron las siguientes:

- Actualización del banco de datos sobre los coeficientes de los sistemas de producción (en base a datos de la literatura y a discusiones con especialistas), en lo que se refiere a: la cosechadora de caña verde, la conservación de suelos para cultivos anuales, el manejo integrado de plagas y malezas (MIPM) para cultivos anuales y perennes y el planeamiento racional del uso de abonos y fertilizantes. Los datos existentes sobre la ganadería ya eran suficientes.
- Análisis y definición de un nivel probable de factibilidad y viabilidad de la introducción de los cambios tecnológicos propuestos (posible tasa de adopción en cada caso).

- Selección de cambios tecnológicos de cosecha de suelo de los h... emplead...
- Revaluac... tecnología de impac... sistemas l...
- Evaluació... través de... ros), y soc...

Escenario 2:

Los cambios e... políticas de pr... posible aplicac... de determinad... mecanismos m... fomento y edu... cuya impleme... análisis del esp...

1. Reubicación de determin...
2. Incentivos a...
3. Estímulo o c... ubicaciones

En este escenari... aplicados simul... factibilidad y v... anterior, un esc... consideración a... de los recursos... problemas de p... causados por la... metodológicas y... escenario 2, fuer...

- Identificación espacial de la

- Selección, vía GIS, de las áreas pertinentes y posibles para la introducción de los cambios tecnológicos, en función de las exigencias agronómicas de cada uno: cosechadora de caña (pendientes y tamaño mínimo de las parcelas), conservación de suelos (pendientes, tipos de suelos, erodibilidad, ...), MIPM (impacto actual de los herbicidas, ...), etc. Las áreas en donde el sistema alternativo ya era empleado, no fueron seleccionadas.
- Revaluación, vía GIS, del impacto ambiental de la implantación de las nuevas tecnologías en los sistemas de producción actuales. Reconstitución de los mapas de impacto ambiental de los insumos, sobre los recursos naturales y sobre los sistemas bióticos y abióticos.
- Evaluación preliminar de los logros obtenidos en términos de sostenibilidad, a través de algunos indicadores de impactos territoriales, económicos (financieros), y sociales (empleo).

Escenario 2: cambios en el uso de las tierras

Los cambios en el uso de las tierras, pueden ser obtenidos rápidamente a través de políticas de precios y fomento. Existen mecanismos de cohesión muy fuertes, de posible aplicación en regiones como la estudiada (prohibición de las quemas, del uso de determinados plaguicidas), a través de leyes municipales, etc. Existen también mecanismos más difusos de concertación, de posible aplicación vía extensión rural, fomento y educación ambiental. El equipo multidisciplinario definió tres metas, cuya implementación fue siendo progresivamente ejecutada, en función de un análisis del espacio rural, vía GIS:

1. Reubicación de usos cerca de las áreas críticas, o cambio de los usos al interior de determinadas áreas críticas (acción concentrada).
2. Incentivos a nuevos usos de las tierras menos impactantes (acción difusa).
3. Estímulo o desestímulo a determinados usos (acción difusa), en determinadas ubicaciones espaciales.

En este escenario, se consideró que todos los cambios en el uso de las tierras serían aplicados simultáneamente, con tasas de adopción diferenciadas según su factibilidad y viabilidad, frente a las condiciones locales. Como en el caso anterior, un escenario de adopción y aplicación máximas fue considerado. En consideración a algunas acciones actuales de la coordinación de protección de los recursos naturales del municipio, se dio una importancia mayor a los problemas de preservación de la fauna salvaje y de la reducción de los impactos causados por la agricultura sobre ese recurso natural. Las principales etapas metodológicas y operacionales aplicadas, probadas y evaluadas para concretizar el escenario 2, fueron las siguientes:

- Identificación de las áreas críticas, en términos de inadecuación de la ubicación espacial de la actividad agrícola.

- Generación digital, a través del GIS, de un nuevo mapa preliminar de adecuabilidad del uso actual de las tierras (capacidad de uso vs uso actual), en lo que se refiere al uso de los recursos naturales.
- Integración (tabla cruzada), de los mapas de capacidad de uso, uso actual y de los habitats faunísticos.
- Usando las rutinas de manipulación y consulta del GIS, identificación de áreas inadecuadas de uso de las tierras, en lo que se refiere a la protección de la fauna salvaje.
- Introducción de los resultados en el mapa de adecuabilidad del uso de los recursos.
- Confrontación con los mapas de impacto ambiental e identificación, vía GIS, de los usos de las tierras más frecuentes en áreas críticas (tablas cruzadas).
- Definición de posibles alternativas de cambios o de sustitución de usos y actividades factibles, y posiblemente viables, en el contexto local (consultas al banco de datos y a los planos de informaciones disponibles en el GIS).
- Simulación, vía GIS, de la sustitución de los usos inadecuados por los usos recomendados. Revaluación del impacto ambiental de la implantación de los nuevos usos de las tierras, en el contexto de los usos actuales.
- Evaluación preliminar de los logros obtenidos, en términos de sostenibilidad, a través de algunos indicadores de impactos territoriales (reducción de áreas críticas), económicos (financieros) y sociales (empleo).

En conclusión, cabe añadir que los resultados presentados parcialmente en este documento ya dieron lugar a una serie de publicaciones y están disponibles mediante un acceso electrónico remoto, vía Internet, en *World Wide Web* en las estaciones de trabajo de ECOFUERZA (<http://www.ecof.org.br/projetos/cmp/gis.html>) El objetivo de este breve documento, fue el de presentar parte de los métodos desarrollados y de los resultados obtenidos con el uso de un GIS, de forma pedagógica y en lenguaje simple.

La imposibilidad de reproducir en tamaño y colores reales los mapas temáticos y sintéticos generados, limitó en mucho la presentación de los resultados cartográficos y numéricos obtenidos. Esperamos haber logrado el propósito principal de este documento: el de dar a conocer las posibilidades que ofrece el GIS para investigadores, responsables de desarrollo y planificación, gestores de políticas públicas (en particular agrícolas y ambientales), en la gestión de los problemas de impacto ambiental y sostenibilidad agrícola.

AGRAD

Agradecemos
con este proy

- Agricultore
- BS. Alexan
Pesquisa Ag
- Centro Inte
Canadá.
- Ing. Agr. Ec
Metodología
- Dr. Germán
tura - IICA.
- Dr. José Rob
Empresa Bra
- Sr. Julio Berç
Investigación
- Dr. Luiz Edua
Agropecuária
- MSc. Mateus
Agropecuária
- Dr. Nelson de
Tecnologia Es
- Paulo Franzin
Agropecuária
- Dr. Pedro Luiz
del *Instituto Ag*
- Personal técnico
EMBRAPA/NN

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las siguientes personas e instituciones por su valiosa colaboración con este proyecto:

- Agricultores del Municipio de Campinas, Estado de San Pablo, Brasil.
- BS. Alexandre Camargo Coutinho, Investigador de la *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária* - EMBRAPA/NMA.
- Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo - CIID, Ottawa, Canadá.
- Ing. Agr. Eduardo Ramírez, Secretario Ejecutivo de la Red Internacional de Metodología de Investigación de Sistemas de Producción - RIMISP.
- Dr. Germán Escobar, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA.
- Dr. José Roberto Miranda, Jefe del Núcleo de Monitoramento Ambiental de la *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária* - EMBRAPA/NMA.
- Sr. Julio Berdegú S., Coordinador de la Red Internacional de Metodología de Investigación de Sistemas de Producción - RIMISP.
- Dr. Luiz Eduardo Mantovani, Investigador de la *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária* - EMBRAPA/NMA.
- MSc. Mateus Batistella, Investigador de la *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária* - EMBRAPA/NMA.
- Dr. Nelson de Jesús Parada, Director del *Núcleo de Ciências Aplicadas à Tecnologia Espacial* - NUCATE/UNICAMP.
- Paulo Franzin, Técnico Agrícola de la *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária* - EMBRAPA/NMA.
- Dr. Pedro Luiz Donzelli, Investigador del Departamento de Fotointerpretación del *Instituto Agrônomo de Campinas* - IAC.
- Personal técnico y administrativo de ECOFUERZA - *Investigación y Desarrollo*, EMBRAPA/NMA, NUCATE/UNICAMP y RIMISP.

BIBLIOGRAFIA

- Asrar G., ed., 1989. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: John Wiley & Sons. 734p.
- Baudelot C. *et al.*, 1975. **Le paysage rural et régional**. Contribution à la méthodologie des études d'aménagement. Paris: Minist. Equip./ Minist. Qual. de la Vie et de l'Envir. e La Documentation Française. 129p.
- Berdegúe J.A. y Miranda E.E. de, 1990. Assessment of sustainable land systems research in South America. **En: International Workshop on Sustainable Land Use Systems**, New Delhi, 12-16 de Febrero de 1990.
- Bertrand G., 1972. **La «science du paysage», une «science diagonale»**. Rev. Geogr. Pyrenées et du Sud-Ouest, t. 43, fasc. 2, p.167-180.
- Conway G.B. & Barbier E.B., 1988. After the green revolution. sustainable and equitable agricultural development. **Future**, 20(6):651-70.
- Dovers S., 1989. Sustainable: definitions, clarifications and contexts. Sustainable development: from theory to practice. *Journal of Society for International Development*. 2/3.
- Forman T.T.R. y Godron M., 1981. Patches and structural components for a landscape ecology. *BioScience*, 31(10):733-740.
- Forman T.T.R. y Godron M., 1986. **Landscape ecology**. New York: John Wiley & Sons. 619p.
- González E., 1990. La dimensión ambiental de las políticas económicas en América Latina y el Caribe. **En: Reunión técnica de expertos gubernamentales «Hacia un desarrollo ambientalmente sustentable**. Santiago de Chile, 12-14 de Setiembre de 1990.
- Hart R. y Sands M., 1990. **Sustainable land use systems research and development**. **En: International Workshop on Sustainable Land use Systems**, New Delhi, 12-16 Febrero de 1990.
- Johannsen C.J. y Barney T.W., 1981. Remote sensing applications for resource management. *J. of Soil and Water Conservation*, 36(3):128-131.
- Lillesand T.M. y Kiefer R.W., 1987. **Remote sensing and image interpretation**. 2nd. New York: John Wiley & Sons. 721p.
- Long G., 1974. **Diagnostic phyto-écologique et aménagement du territoire; principes généraux et méthodes 1**. Paris, Masson. 252p. (Collection d'Écologie,4).
- Miranda E.E. de, 1991. **Estrategias e iniciativas para aumentar la sostenibilidad agrícola en el Cono Sur**. Buenos Aires, IICA/CONASUR.
- Miranda E.E. de, 1987. **Rondônia - A terra do mito e o mito da terra - os colonos do Projeto Machadinho**. Jaguariúna, SP, CNPDA-EMBRAPA. 175 p.
- Miranda E.E. de, 1986. Tipificación de pequeños agricultores: ejemplo de la metodología aplicada a los productores de frijol de Itararé - SP, Brasil. **En: Seminario sobre Clasificación de Sistemas de Producción**. Panamá 7 a 12 de diciembre de 1985. Panamá, CIID. 59 p.
- Miranda E.E. de, 1985. **Diferenciação camponesa e tipologias de produtores (Município de Euclides da Cunha)**. Salvador, BA, EMATER-BA/EMBRAPA-CPATSA. 42p. il. (Série Pesquisa e Desenvolvimento, 8).
- Miranda E.E. de; Dorado A.J.; Guimarães M.; Mangabeira J.A. y Miranda J.R., 1995. **Sistemas de informaciones geográficas como instrumento complementario para la evaluación de sistemas de producción sostenibles**. Informe Final. Campinas, Brasil, ECOFORÇA/ RIMISP/ CIID.

Miranda E.E. de
sistema de in
das terras. E
RS. 12 p.
Miranda, E., Mir
biodiversity.
Miranda J.R., 198
(région d'Ot
Languedoc. 4
Sanholuz L.A. et
novables en A
dación Bariloc

- Miranda E.E. de; Mantovani L.E. y Cavalli A.C., 1986. Aplicação de imagens orbitais em sistema de informações geográficas para o monitoramento espaço-temporal da ocupação das terras. **En: Simpósio Latino-americano de Sensoriamento Remoto**, 4. Gramado, RS. 12 p.
- Miranda, E., Miranda E.E. de y Mattos, C., 1992. **Brazilian rain forest colonization and biodiversity**. Amsterdam, Elsevier. 15p.
- Miranda J.R., 1986. **Ecologie des peuplements de reptiles du tropique semi-aride brésilien (région d'Ouricuri-PE)**. Montpellier, Université des Sciences et Techniques du Languedoc. 418p. il.
- Sancholuz L.A. et al., 1985. **Aprovechamiento de ecosistemas y recursos naturales renovables en América Latina: un análisis comparativo**. Bariloche, Argentina. Fundación Bariloche.