

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA

Dinamica del paisaje en ...
2001 TS-PP-2002.00465



CNPMA-4333-1



DINÁMICA DEL PAISAJE EN AGROECOSISTEMAS
INTENSIVOS EN BRASIL: INDICADORES
ESPACIO - TEMPORALES Y SOSTENIBILIDAD
AGRÍCOLA

TESIS DOCTORAL

CLAUDIO CÉSAR DE ALMEIDA BUSCHINELLI
ALCALÁ DE HENARES, NOVIEMBRE DE 2001

0465





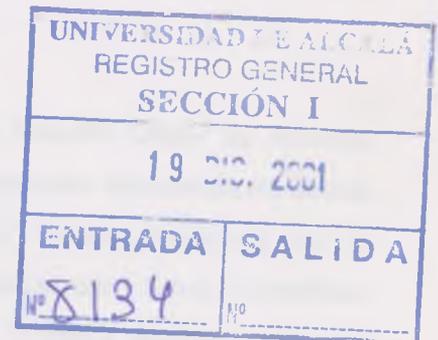
UNIVERSIDAD DE ALCALÁ DE HENARES

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA



Universidad de Alcalá



**DINÁMICA DEL PAISAJE EN AGROECOSISTEMAS
INTENSIVOS EN BRASIL: INDICADORES ESPACIO -
TEMPORALES Y SOSTENIBILIDAD AGRÍCOLA**

TESIS DOCTORAL

CLAUDIO CÉSAR DE ALMEIDA BUSCHINELLI

Alcalá de Henares, noviembre de 2001

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA

José Sancho Comíns, Catedrático de Análisis Geográfico Regional y Director del Departamento de Geografía,

Informa que la Tesis Doctoral presentada por D. Claudio César de Almeida Buschinelli y titulada "Dinámica del paisaje en agroecosistemas intensivos en Brasil: indicadores espacio – temporales y sostenibilidad agrícola", ha sido realizada bajo la dirección de D. Javier Martínez Vega y D. José Luis Labrandero Sanz, Científicos Titulares del CSIC. El Dr. Javier Martínez Vega ha sido Profesor Asociado de este departamento hasta el día 30 de septiembre de 2000.

El trabajo reúne las condiciones exigibles: rigor científico, aplicación correcta de la metodología, aportación novedosa y conclusiones interesantes. Además, el trabajo de Tesis Doctoral sigue los pasos habituales relativos a su organización y desarrollo: planteamiento de la hipótesis científica y objetivos, experimentación, análisis, conclusiones y proposiciones de futuros trabajos.

Por todo ello, estimo procedente su lectura ante el correspondiente tribunal.



Alcalá de Henares, 7 de diciembre de 2001

A handwritten signature in purple ink, consisting of several sharp, angular strokes that form a stylized, abstract shape.

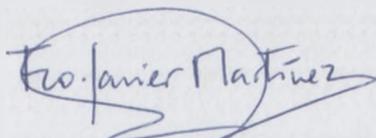
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA

D. Javier Martínez Vega, Científico Titular del C.S.I.C y D. José Luis Labrandero Sanz, Investigador Científico del C.S.I.C

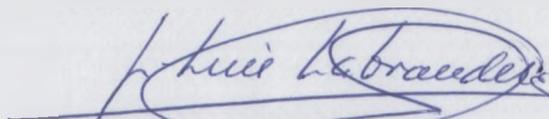
Informan que la Tesis Doctoral presentada por **D. Claudio Cesar de Almeida Buschinelli**, titulada **Dinámica del Paisaje en Agroecosistemas Intensivos en Brasil: Indicadores Espacio – Temporales y Sostenibilidad Agrícola**, reúne todas las cualidades exigibles a un trabajo académico de este nivel: contiene el rigor científico debido, utiliza correctamente la metodología y aporta ideas originales y conclusiones que enriquecen una de las líneas de investigación del Departamento. El autor demuestra la hipótesis científica y alcanza los objetivos planteados, en un texto bien elaborado y estructurado, apoyado por abundantes referencias bibliográficas, ilustraciones gráficas y cartográficas.

Por todo ello damos nuestro Visto Bueno a dicha Tesis Doctoral y consideramos que debe procederse a la lectura y defensa pública ante el Tribunal correspondiente.

Alcalá de Henares, 7 de diciembre de 2001



Fd.: Dr. Javier Martínez Vega
Científico Titular
Instituto de Economía y Geografía
CSIC



Fd.: Dr. José Luis Labrandero Sanz
Investigador Científico
Instituto de Economía y Geografía
CSIC



Fdo.: Dr. José Sancho Comins
Director del Departamento de Geografía
Facultad de Filosofía y Letras
Universidad de Alcalá de Henares

*la Tierra no la heredamos
de nuestros padres,
la tomamos prestada
de nuestros hijos*

JOSÉ MARTÍ

*Dedico este trabajo
a mi mujer Carmen,
a mis padres y hermanos y
a mí mismo*

Agradecimientos

Inicialmente, mi gustaría mostrar mi gratitud a todos aquellos que me ayudaron a concretar el trabajo. Nombrarlos es bastante difícil, y grande es el riesgo de olvidarme de alguien. Así, dirijo de manera explícita mi agradecimiento a las personas más cercanas.

A los compañeros y profesores del Curso de Doctorado, que facilitaron bastante la convivencia e integración de un representante del otro lado de la línea de Tordesillas, teniendo paciencia con mi castellano. Entre ellos, mi agradecimiento a Ruth Miranda y Pablo Echamendi, compañeros de las prácticas del curso, que me incentivaron en el trabajo. En especial, al compañero y siempre querido amigo Juan Antonio García González, por la inestimable labor en la preparación e impresión final de los mapas, incentivándome (con alguna que otra copa de marcha por Madrid), a concretar el trabajo.

Por la incansable ayuda en enseñarme los procedimientos informáticos del SIG Intergraph/Microstation95, por los comentarios y sugerencias y dedicación para la elaboración de la cartografía final, mi enorme agradecimiento a Pilar Echavarría Daspet, Técnica Especializada del CSIC.

A los Directores de la Tesis Doctoral, los doctores Javier Martínez Vega y José Luis Labradero Sanz, que siempre estuvieron dispuestos a orientarme en los momentos más difíciles de la elaboración del trabajo. Sus consejos han sido fundamentales, por ello y mucho más, les estoy muy agradecido.

A la Directora del Instituto de Economía y Geografía del CSIC, por facilitarme la utilización de los equipos e instalaciones del Laboratorio de SIG, Teledetección y Cartografía del Departamento de Geografía, donde siempre fue muy bien recibido por los investigadores, becarios y personal de apoyo, me ayudando y animando en la etapa final del trabajo.

A EMBRAPA, por haber posibilitado mi especialización mediante fondos del programa PROMOAGRO. A la "Chefia Geral" del CNPMA, por haber incentivado y confiado en la finalización de la investigación. A los compañeros de trabajo y amigos de Brasil, entre ellos, a Aderaldo Souza Silva que me facilitó parte del material básico del trabajo.

A mis padres, hermanos y familia por el completo y fundamental incentivo y confianza en todos los momentos. Y en especial a Carmen, compañera y mujer incansable, que a pesar de todo soportó con valentía el cambio que significó venir a España, y que siempre se mostró decidida en apoyarme, incluso en los momentos más difíciles, aportándome cariño y emociones al cotidiano. Y que en la etapa final del trabajo, ha finalizado la obra de nuestra casa.

Por último, mi agradecimiento más sincero a todas las personas que de alguna manera hayan participado de esta etapa de mi vida.

*Claudio
Madrid, otoño de 2001*

Índice General	Página
Dedicatoria y agradecimientos.....	i
Índice general.....	iv
Índice de figuras y fotos.....	viii
Índice de tablas.....	x
Índice del anexo cartográfico.....	xii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
I.1. Presentación.....	1
I.2. Justificación.....	1
I.3. Hipótesis y objetivos.....	2
I.3.1. Hipótesis científica de trabajo.....	2
I.3.2. Objetivos.....	3
CAPÍTULO II. ANTECEDENTES.....	4
II.1. Modernización de la actividad agrícola.....	4
II.1.1. Ámbito mundial.....	5
II.1.2. Ámbito regional del Cono Sur.....	10
II.2. Impactos ambientales asociados y mecanismos de control.....	20
II.2.1. Instrumentos normativos: de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) al estudio del Cambio Ambiental Acumulativo (CAA).....	21
II.2.2. Principales impactos ambientales.....	27
II.2.2.1. Reducción de los biomas naturales.....	27
II.2.2.2. Erosión hídrica de los suelos.....	32
II.2.2.3. Contaminación ambiental por agroquímicos tóxicos.....	35
II.2.2.4. Principales cambios económicos y socioculturales.....	37
II.3. Uso sostenible de los agroecosistemas y herramientas de apoyo.....	39
II.3.1. Sostenibilidad agrícola y sus indicadores.....	39
II.3.1.1. Concepto de sostenibilidad agrícola.....	39
II.3.1.2. Indicadores de sostenibilidad agrícola.....	43
II.3.1.3. Gestión sostenible de las tierras.....	48
II.3.2. Evaluación de tierras.....	52
II.3.2.1. Introducción.....	52
II.3.2.2. Principales tipos de metodologías de evaluación.....	52
II.3.2.2.1. Sistemas de evaluación del potencial productivo de las tierras.....	54
II.3.2.2.2. Sistemas de evaluación de la aptitud agrícola de las tierras...	55
II.3.2.2.3. Sistemas automatizados de evaluación de tierras.....	55

II.3.3. Teledetección, SIG's y cartografía temática como instrumentos de evaluación y monitoreo ambiental.....	59
II.3.3.1. Principales aplicaciones en la evaluación del territorio.....	66
II.3.3.1.1. Estudios de evaluación y gestión del territorio.....	67
II.3.3.1.2. Estudios multitemporales.....	69
CAPÍTULO III. ÁREA DE ESTUDIO.....	74
III.1. Ámbito Nacional.....	74
III.2. Ámbito Local.....	82
III.2.1. Medio físico.....	82
III.2.1.1. Clima.....	82
III.2.1.2. Hidrografía.....	84
III.2.1.3. Geología, relieve y suelos.....	86
III.2.1.4. Principales hábitats.....	88
III.2.1.5. Espacios protegidos y áreas de uso público.....	94
III.2.2. Medio antrópico.....	94
III.2.2.1. Breve historia.....	94
III.2.2.2. Población.....	95
III.2.2.3. Sistemas agrarios.....	96
III.2.3. Marco Legal con incidencia en el territorio de estudio.....	107
CAPÍTULO IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	109
IV. 1. Estudios anteriores, fuentes de datos y equipos utilizados.....	109
IV.1.1. Datos e informaciones.....	111
IV.1.2. Equipos cartográficos e informáticos.....	112
IV.1.2.1. Base cartográfica para el tratamiento de la información en papel	112
IV.1.2.2. Base digital y SIG.....	113
IV.2. Tratamiento de la información.....	114
IV.2.1. Ocupación de las tierras en 1971.....	118
IV.2.2. Ocupación de las tierras en 1988 y 1998.....	120
IV.2.2.1. Clasificación no supervisada.....	126
IV.2.2.2. Clasificación supervisada.....	127
IV.2.2.3. Tratamientos finales en las imágenes.....	132
IV.2.3. Capacidad de uso de las tierras.....	133
IV.3. Estudios de los cambios de ocupación del territorio.....	134
IV.4. Evaluación multitemporal de la adecuación de las tierras a las condiciones biofísicas.....	135

CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	138
V.1. Ocupación del territorio.....	138
V.1.1. Ocupación de las tierras en la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> en 1971.....	138
V.1.2. Ocupación de las tierras del Municipio de <i>Guaira</i> en 1988 y 1998.....	142
V.1.2.1. Clasificación no supervisada.....	142
V.1.2.2. Clasificación supervisada.....	154
V.2. Dinámica y estabilidad del paisaje agrario.....	169
V.2.1. Cambios de ocupación en la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i>	169
V.2.1.1. Áreas estables de ocupación entre 1971 y 1988.....	172
V.2.1.2. Áreas dinámicas de ocupación entre 1971 y 1988.....	174
V.2.1.3. Áreas estables de ocupación entre 1971 y 1998.....	178
V.2.1.4. Áreas dinámicas de ocupación entre 1971 y 1998.....	181
V.2.2. Cambios de ocupación en el Municipio de <i>Guaira</i>	185
V.2.2.1. Áreas estables de ocupación entre 1988 y 1998.....	186
V.2.2.2. Áreas dinámicas de ocupación entre 1988 y 1998.....	189
V.3. Capacidad de uso de tierras a las condiciones biofísicas.....	193
V.4. Dinámica de la adecuación en la ocupación de las tierras a las condiciones biofísicas.....	197
V.4.1. Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i>	197
V.4.1.1. Adecuación de la ocupación en 1971.....	197
V.4.1.2. Adecuación de la ocupación en 1988.....	200
V.4.1.3. Adecuación de la ocupación en 1998.....	202
V.4.2. Municipio de <i>Guaira</i>	203
V.4.2.1. Adecuación de la ocupación en 1988.....	203
V.4.2.2. Adecuación de la ocupación en 1998.....	206
V.5. Resultados de otros estudios desarrollados en la zona.....	209
Capítulo VI. CONCLUSIONES Y PROPOSICIONES FUTURAS.....	215
VI.1. Conclusiones.....	215
VI.2. Estudios futuros y recomendaciones.....	222

BIBLIOGRAFÍA.....	223
ANEXOS.....	238
Anexo IV.1. Informaciones de los ficheros de cabecera de las imágenes Landsat..	238
Anexo IV.2. Puntos de control y valores asociados para la corrección geométrica de la imagen de 1988.....	239
Anexo IV.3. Puntos de control y valores asociados para la corrección geométrica de la imagen de 1998.....	240
Anexo V.1. Estadísticas descriptivas de la clasificación no supervisada, imagen de 1988.....	241
Anexo V.2. Diagrama de separabilidad de la clasificación no supervisada de la imagen 1988.....	241
Anexo V.3. Matriz de separabilidad estadística por la distancia de J-M, en la clasificación no supervisada de la imagen de 1988.....	242
Anexo V.4. Curvas espectrales de la clasificación no supervisada, imagen de 1988.....	242
Anexo V.5. Matriz de confusión de la clasificación no supervisada, imagen de 1988, para la clasificación por el método mixto de paralelepípedos y máxima probabilidad.....	243
Anexo V.6. Matrices y estadísticas de los Componentes Principales de las imágenes de Guafra.....	244
CAPÍTULO II. ANTECEDENTES	
Figura II.1. Indicadores de la agricultura mundial agregados por continente, según FAO (2000).....	8
Figura II.2. Evolución de la población estimada en países seleccionados, en el periodo de 1961 y 1999, según datos de la FAO (2000).....	11
Figura II.3. Indicadores de la agricultura del Cono Sur y países desarrollados, según datos de la FAO (2000).....	17
Figura II.4. Atributos fundamentales del CAA, adaptado de Spaling y Smit (1993).....	26
Figura II.5. Esquema conceptual del modelo de causa - efecto del CAA, adaptado de Spaling y Smit (1993).....	26
Figura II.6. Ejemplos de los mapas generados por el Proyecto PROARCO (INPE, 2001).....	31
Figura II.7. Estimación de la evolución de la cobertura boscosa en el Estado de São Paulo.....	32
Figura II.8. Principales impactos económicos y sociales de actividades de desarrollo.....	38
Figura II.9. Modelo ideal de desarrollo sostenible, donde se contraponen las tres dimensiones fundamentales a lo largo del tiempo.....	42

Figura II.10. Principales características del espectro electromagnético con aplicación en la teledetección.....	61
CAPÍTULO III. ÁREA DE ESTUDIO	
Figura III.1. Croquis de localización del Municipio de <i>Guaira</i> en relación al Estado de <i>São Paulo</i> y Brasil.....	75
Figura III.2. Producto Interior Bruto y per cápita en dos muestras del Estado de <i>São Paulo</i> y Brasil.....	77
Figura III.3. Distribución interna del PIB en sectores económicos.....	78
Figura III.4. Tipos de ocupación de las tierras en el Estado de <i>São Paulo</i> y Brasil..	79
Figura III.5. Indicadores sociales del Estado de <i>São Paulo</i> y Brasil.....	79
Figura III.6. Valores de las medias mensuales de temperatura y humedad relativa del aire en la región de <i>Guaira</i>	83
Figura III.7. Valores de las medias mensuales de las máximas y mínimas de temperatura y humedad relativa del aire en la región de <i>Guaira</i>	83
Figura III.8. Climograma de Gaussen de las temperaturas medias y precipitación mensual media en la región de <i>Guaira</i>	84
Figura III.9. Grandes regiones fitogeográficas de Brasil y distribución espacial de las áreas de mayor presión antrópica.....	89
Fotografía III.1. Vista de un área remanente de <i>Cerrado</i> en la zona de <i>Guaira</i>	93
Fotografía III.2. Vista de las <i>várzeas</i> del <i>Ribeirão Jardim</i> cercanas de la ciudad de <i>Guaira</i>	93
Fotografía III.3. Vistas del entorno agropecuario de <i>Guaira</i>	106
CAPÍTULO IV. MATERIALES Y MÉTODOS	
Figura IV.1. Esquema general del Sistema de Información Geográfica MGE.....	114
Figura IV.2. Configuración esquemática de los ficheros raster preparados para los procedimientos en SIG.....	116
Figura IV.3. Organigrama metodológico del tratamiento de la información.....	117
Figura IV.4. Criterios de interpretación visual según la jerarquía de complejidad...	119
Figura IV.5. Histogramas de las frecuencias relativas de las bandas 3, 4 y 5 de las imágenes de 1988 y 1998.....	123
Figura IV.6. Ortoimagen en la composición falso color (3-4-5) del Municipio de <i>Guaira</i> en 1988.....	124
Figura IV.7. Ortoimagen en la composición falso color (3-4-5) del Municipio de <i>Guaira</i> en 1998.....	125
Figura IV.8. Representación esquemática de las actividades de evaluación de tierras.....	136
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
Figura V.1. Diagrama de separabilidad de la clasificación no supervisada, imagen de 1998.....	144
Figura V.2. Curvas espectrales de la clasificación no supervisada de la imagen de 1998.....	145

Figura V.3. Imagen de la clasificación no supervisada del Municipio de <i>Guaira</i> , 1988.....	147
Figura V.4. Imagen de la clasificación no supervisada del Municipio de <i>Guaira</i> , 1998.....	148
Figura V.5. Ilustración de los componentes principales de las imágenes de <i>Guaira</i> .	155
Figura V.6. Diagramas de separabilidad de las categorías temáticas en la clasificación supervisada de la imagen de 1988.....	157
Figura V.7. Curvas espectrales de las categorías temáticas de la clasificación supervisada de la imagen de 1988.....	158
Figura V.8. Diagramas de separabilidad de las categorías temáticas en la clasificación supervisada de la imagen de 1998.....	159
Figura V.9. Curvas espectrales de las categorías temáticas de la clasificación supervisada de la imagen de 1998.....	160
Figura V.10. Áreas estables de ocupación en la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> entre 1971 y 1988.....	173
Figura V.11. Áreas estables de ocupación en la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> entre 1971 y 1998.....	180
Figura V.12. Cambios de ocupación en la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> entre 1971 y 1998.....	184
Figura V.13. Áreas estables de ocupación en el Municipio de <i>Guaira</i> entre 1988 y 1998.....	187
Figura V.14. Mapa de Capacidad de Uso de las Tierras del Municipio de <i>Guaira</i> ...	195

Índice de Tablas

CAPÍTULO II. ANTECEDENTES

Tabla II.1. Evolución de la población mundial estimada en el periodo de 1961 y 1999.....	6
Tabla II.2. Evolución de algunos indicadores de desarrollo económico y social de países del Cono Sur y desarrollados.....	13
Tabla II.3. Principales características de ocupación de las tierras y evolución de los cambios relativos en el periodo del 1961 y 1998 en el Cono Sur.....	15
Tabla II.4. Evolución de la deforestación en la Amazonía brasileña.	28
Tabla II.5. Estimaciones de la pérdida de suelos en el Estado de <i>Paraná</i> (Brasil.....	34
Tabla II.6. Estimación del coste ambiental indirecto anual del uso de agroquímicos en EE.UU.....	37
Tabla II.7. Algunos indicadores para la gestión sostenible de las tierras.....	48
Tabla II.8. Distintas dimensiones de sostenibilidad con respectivas escalas de tiempo necesarias para evaluación de la sostenibilidad.....	50
Tabla II.9. Clasificación de los sistemas de acuerdo con el tiempo que reúnen simultáneamente las condiciones de sostenibilidad.....	50
Tabla II.10. Principales características de algunos satélites y respectivos sensores remotos.....	62

Tabla II.11. Principales programas informáticos de tratamiento digital de imágenes usados en aplicaciones ambientales y sus funciones más relevantes.....	65
CAPÍTULO III. ÁREA DE ESTUDIO	
Tabla III.1. Población residente en el año 2000 en Brasil, sus Regiones y los Estados Federativos del Sureste Brasileño.....	76
Tabla III.2. Evolución de la producción agrícola en el Estado de <i>São Paulo</i> y Brasil.....	81
Tabla III.3. Principales características de la Cuenca Hidrográfica <i>Sapucaí-Mirim y Grande</i>	85
Tabla III.4. Principales clases de suelos y superficie ocupada en el Municipio de <i>Guaira</i>	88
Tabla III.5. Algunas características que diferencian los tres principales tipos de <i>Cerrados</i>	90
Tabla III.6. Ejemplares de la fauna amenazada de extinción de los <i>Cerrados</i>	92
Tabla III.7. Población residente en municipios seleccionados de la Mesoregión Geográfica de <i>Ribeirão Preto</i> en 1996 y 2000.....	96
Tabla III.8. Distribución de las propiedades rurales, según grupos de áreas en 1995, en municipios seleccionados de la Mesoregión Geográfica de <i>Ribeirão Preto</i>	98
Tabla III.9. Ocupación de las tierras en 1995 en municipios seleccionados de la Mesoregión Geográfica de <i>Ribeirão Preto</i>	100
Tabla III.10. Principales cultivos permanentes de municipios seleccionados de la Mesoregión Geográfica de <i>Ribeirão Preto</i>	101
Tabla III.11. Principales cultivos temporales de municipios seleccionados de la Mesoregión Geográfica de <i>Ribeirão Preto</i>	102
Tabla III.12. Máquinas agrícolas utilizadas en 1995 en municipios seleccionados de la Región Geográfica de <i>Ribeirão Preto</i>	103
Tabla III.13. Distribución de los principales sistemas de irrigación presentes en <i>Guaira</i> en 1990.....	103
Tabla III.14. Número de cabezas de los principales rebaños de municipios seleccionados de la Región Geográfica de <i>Ribeirão Preto</i>	105
CAPÍTULO IV. MATERIALES Y MÉTODOS	
Tabla IV.1. Categorías temáticas del Mapa de Ocupación de las Tierras en 1971.	120
Tabla IV.2. Estadísticas descriptivas de los valores de niveles digitales de las imágenes originales.....	122
Tabla IV.3. Categorías temáticas del Mapa de Ocupación de las Tierras en 1988 y 1998.....	130
Tabla IV.4. Valores de la corrección geométrica de las imágenes.....	133
Tabla IV.5. Descripción de las categorías y recomendaciones del Mapa de Capacidad de Uso de las Tierras.....	134
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	

Tabla V.1. Superficies de ocupación de tierras en la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> en 1971.....	139
Tabla V.2. Principales cultivos anuales del Municipio de <i>Guaíra</i> a principios de la década de los setenta.....	140
Tabla V.3. Estadísticas descriptivas de la clasificación no supervisada de la imagen de 1998.....	144
Tabla V.4. Matriz de separabilidad estadística de las clases espectrales por la distancia de J-M en la clasificación no supervisada (Método <i>K-Means</i>) de la imagen de 1998.....	145
Tabla V.5. Correspondencias entre las clases espectrales y categorías temáticas identificadas en la clasificación no supervisada de la imagen de 1998.....	146
Tabla V.6. Calendario agrícola de los principales cultivos de <i>Guaíra</i>	149
Tabla V.7. Matriz de confusión de la clasificación no supervisada, imagen de 1998, por el método mixto de paralelepípedos y máxima probabilidad.....	153
Tabla V.8. Estadísticas descriptivas de las categorías temáticas en la clasificación supervisada de la imagen de 1988.....	157
Tabla V.9. Matriz de separabilidad estadística de las categorías temáticas por la distancia de J-M (Jeffries-Matusita) de la imagen de 1988.....	158
Tabla V.10. Estadísticas descriptivas de las categorías temáticas en la clasificación supervisada de la imagen de 1998.....	159
Tabla V.11. Matriz de separabilidad estadística de las categorías temáticas por la distancia de J-M (Jeffries-Matusita) de la imagen de 1998.....	160
Tabla V.12. Matriz de error de la clasificación supervisada de la imagen de 1988, por el método mixto de paralelepípedos y máxima probabilidad.....	163
Tabla V.13. Matriz de error de la clasificación supervisada de la imagen de 1998, por el método mixto de paralelepípedos y máxima probabilidad.....	165
Tabla V.14. Superficies de ocupación de tierras en el Municipio de <i>Guaíra</i> y en la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> en 1988 y 1998.....	167
Tabla V.15. Agregación de las categorías temáticas para el estudio de cambios de ocupación.....	170
Tabla V.16. Matriz de cambios de ocupación en la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> entre 1971 y 1988.....	171
Tabla V.17. Superficies de las categorías estables del mapa de cambios de ocupación de la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> entre 1971 y 1988.....	172
Tabla V.18. Superficies de las categorías dinámicas del mapa de cambios de ocupación de la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> ente 1971 y 1988.....	176
Tabla V.19. Matriz de cambios de ocupación en la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> entre 1971 y 1998.....	179
Tabla V.20. Superficies de las categorías estables del mapa de cambios de ocupación en la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> entre 1971 y 1998.....	181
Tabla V.21. Superficies de las categorías dinámicas del mapa de cambios de ocupación de la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> entre 1971 y 1998.....	183

Tabla V.22. Matriz de cambios de ocupación en el Municipio de <i>Guaira</i> entre 1988 y 1998.....	185
Tabla V.23. Superficies de las categorías estables del mapa de cambios de ocupación del Municipio de <i>Guaira</i> entre 1988 y 1998.....	186
Tabla V.24. Superficies de las categorías dinámicas de ocupación del Municipio de <i>Guaira</i>	190
Tabla V.25. Superficies de ocupación del Mapa de Capacidad de Uso de las Tierras.....	194
Tabla V.26. Superficies de las categorías del Mapa de Conflictos de Ocupación de las Tierras en la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> en 1971.....	198
Tabla V.27. Superficies de las categorías del Mapa de Conflictos de Ocupación de las Tierras en la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> en 1988.....	201
Tabla V.28. Superficies de las categorías del Mapa de Conflictos de Ocupación de las Tierras en la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> en 1998.....	203
Tabla V.29. Superficies de las categorías del Mapa de Conflictos de Ocupación de las Tierras en el Municipio de <i>Guaira</i> en 1988.....	205
Tabla V.30. Superficies de las categorías del Mapa de Conflictos de Ocupación de las Tierras en el Municipio de <i>Guaira</i> en 1998.....	207

Índice del Anexo Cartográfico

Mapa 1. Ocupación de las tierras en la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> en 1971.
Mapa 2. Ocupación de las tierras en el Municipio de <i>Guaira</i> en 1988.
Mapa 3. Ocupación de las tierras en el Municipio de <i>Guaira</i> en 1998.
Mapa 4. Áreas con extensificación de ocupación en la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> entre 1971 y 1988.
Mapa 5. Áreas con intensificación de ocupación en la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> entre 1971 y 1988.
Mapa 6. Áreas con extensificación de ocupación en la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> entre 1971 y 1998.
Mapa 7. Áreas con intensificación de ocupación en la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> entre 1971 y 1998.
Mapa 8. Áreas con extensificación de ocupación en el Municipio de <i>Guaira</i> entre 1988 y 1998.
Mapa 9. Áreas con intensificación de ocupación en el Municipio de <i>Guaira</i> entre 1988 y 1998.
Mapa 10. Áreas de conflicto de ocupación de tierras en la Cuenca del <i>Ribeirão Jardim</i> en 1971.
Mapa 11. Áreas de conflicto de ocupación de tierras en el Municipio de <i>Guaira</i> en 1988
Mapa 12. Áreas de conflicto de ocupación de tierras en el Municipio de <i>Guaira</i> en 1998

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo están descritas la presentación del autor y directores de la Tesis Doctoral, así como, una breve justificativa del trabajo, su hipótesis científica y objetivos propuestos.

I.1. Presentación

El trabajo de Tesis Doctoral representa la conclusión del entrenamiento de larga duración desarrollado por el autor, dentro del programa de capacitación de Embrapa - *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*, vinculada al Ministerio de Agricultura y del Abastecimiento de Brasil.

El autor, es investigador del *Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental* – CNPMA. Trátase de un centro de investigación de ámbito nacional, también conocido como *Embrapa Meio Ambiente* por su perfil temático de actuación, caracterizado por los siguientes objetivos generales:

- ♦ “Identificar, cuantificar y cualificar los impactos ambientales del agronegocio;
- ♦ generar, adaptar y divulgar conocimientos y soluciones tecnológicas para la sostenibilidad del agronegocio; y
- ♦ contribuir a la gestión ambiental de las actividades del agronegocio y de otras en expansión en el medio rural”.

Los Directores del trabajo de Tesis Doctoral fueron los Doctores:

- ♦ Don Javier Martínez Vega, Científico Titular del Instituto de Economía y Geografía del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Madrid. Y hasta hace poco tiempo, Profesor Asociado de Análisis Geográfico Regional del Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá de Henares; y
- ♦ Don José Luis Labrandero Sanz, Investigador Científico del Instituto de Economía y Geografía del CSIC, Madrid.

I.2. Justificación

Uno de los factores de mayor degradación de los recursos naturales es la actividad agrícola, tanto en su avance por áreas inexploradas o marginales como por su continuidad por largos periodos en un mismo territorio.

La necesidad del aumento de la producción mundial de alimentos para satisfacer una población siempre creciente, además de los avances tecnológicos y la búsqueda de

nuevos mercados, han impulsado la moderna agricultura a niveles de productividad asombrosos, originando desgraciadamente serios problemas ambientales, de igualmente, larga escala.

En los países en desarrollo, donde el sector primario todavía sigue como una de las más importantes fuentes de divisas, el fenómeno de modernización agrícola ocurrió de manera muy rápida y la ocupación de las tierras con sistemas intensivos de explotación no siempre fue la más adecuada para su conservación.

Las consecuencias son bastante graves, complejas y diversas, ya que abarcan desde aspectos ecológicos como la reducción de la biodiversidad, efecto invernadero y, entre otros, la contaminación ambiental hasta factores socioculturales y económicos, que se manifiestan como los más visibles por traducirse en el endeudamiento de los agricultores y el abandono del campo.

Así que, el trabajo de Tesis Doctoral tiene como tema principal la sostenibilidad de la actividad agrícola, la cual creemos está definida por factores ecológicos, económicos y sociales que se expresan en el tiempo y espacio, y en diferentes patrones de ocupación y explotación de los recursos naturales.

Estas variables pueden configurarse como importantes indicadores del grado de sostenibilidad del agroecosistema. El uso de las técnicas de Análisis Geográfico Regional apoyadas por SIG se justifica por si mismo ya que permiten el tratamiento integrado de las variables y evaluaciones en distintas escalas.

Además, como investigador en entrenamiento de un país en desarrollo como Brasil, la localización del trabajo no podría ser otra, que un área de agricultura intensiva – Municipio de *Guaira* - situada en una de las regiones más desarrolladas del país, el Estado de *São Paulo*, conforme presentaremos más adelante.

I.3. Hipótesis y objetivos

A continuación presentamos la hipótesis científica y los objetivos del trabajo que establecidos en el principio del estudio..

I.3.1. Hipótesis científica de trabajo

La dinámica reciente del paisaje agrario de *Guaira*, caracterizada por una intensificación muy rápida de los procesos productivos y por la ausencia de criterios de conservación de los recursos naturales, conlleva al comprometimiento de la sostenibilidad de los agroecosistemas a mediano y largo plazo.

Parámetros cualitativos y cuantitativos, espaciales y temporales, relacionados con los cambios de ocupación del territorio, y su adecuación a la capacidad de uso de las tierras en el tiempo, además de los índices de desarrollo económico, social y ecológico de los sistemas agrícolas, pueden ser integrados y correlacionados de tal manera que representen importantes indicadores espaciales y temporales de la sostenibilidad de agroecosistemas, incluso con carácter preventivo de las tendencias a medio plazo.

Esta llamada de atención sobre los procesos y tendencias de la agricultura puede fundamentar la toma de decisiones de los planificadores, con objeto de evitar fuertes impactos de esta actividad sobre el medio ambiente y de alcanzar la sostenibilidad futura de los agroecosistemas del área de estudio.

1.3.2. Objetivos

El objetivo general del trabajo es evaluar la sostenibilidad de agroecosistemas de elevada aplicación tecnológica en el municipio de *Guaira*, mediante indicadores espaciales y temporales del paisaje agrario e índices de desarrollo del sistema productivo.

Para ello, es necesario alcanzar algunos objetivos más específicos.

Éstos son los siguientes:

- evaluar la dinámica de ocupación de las tierras en dos ámbitos geográficos y temporales distintos, la Cuenca Hidrográfica del *Ribeirão Jardim* – entre 1971 y 1998- y en el Municipio de *Guaira*, entre el 1988 y 1998. Trátase de un área que presenta un cambio significativo de la actividad agrícola, pues el sistema productivo predominante de prácticas extensivas tradicionales es sustituido por un sistema totalmente tecnificado e intensivo;
- evaluar la dinámica de la adecuación de ocupación de las tierras a la capacidad agrológica del suelo en los dos ámbitos geográficos mencionados;
- identificar parámetros espaciales y temporales que puedan ser asociados e integrados a los índices de desarrollo agrícola, de forma que representen indicadores de sostenibilidad agrícola para todo el municipio;

Los resultados y conclusiones obtenidas demostrarán la hipótesis científica de trabajo o, en caso contrario, plantearán una reformación de la misma.

Presentamos a continuación la revisión de la bibliografía consultada para la ejecución del trabajo.

CAPÍTULO II. ANTECEDENTES

En el presente capítulo, abordaremos algunos puntos importantes en el contexto general del trabajo, incluyendo, la revisión de la literatura internacional relacionada con el tema principal de la Tesis Doctoral.

II.1. Modernización de la actividad agrícola

La agricultura puede ser considerada como la actividad más importante en el proceso de fijación del hombre en un territorio. Solamente cuando éste pasa a conocer suficientemente ciertos factores de su entorno, pudo establecerse de forma más duradera y desarrollar progresivamente determinadas habilidades que le capacitó una notable expansión y dominio del territorio.

La necesidad de supervivencia, la curiosidad, la observación y un sin número de tentativas y errores fueron, en principio, la base de acumulación de conocimientos para trabajar la tierra y producir alimentos, haciendo frente a las dificultades impuestas por el clima y los demás factores limitantes.

De acuerdo con el sociólogo brasileño Darcy Ribeiro (1975):

"La Revolución Agrícola, como motor del primer proceso civilizatorio, permite la ruptura con la condición de las tribus de cazadores y recolectores nómadas y dá lugar a una nueva formación sociocultural - las Aldeas Agrícolas Indiferenciadas".

Creemos que éste es el definitivo principio del proceso de desarrollo tecnológico o dominio de la técnica, pues los conocimientos relativos a su entorno aplicados a la caza o recolección de alimentos forman parte del periodo nómada de la historia de la humanidad, y preparatorio para su posterior asentamiento y desarrollo como etnias y culturas propias (Ribeiro, 1975).

El concepto de la tecnología que queremos asociar al desarrollo de la actividad agrícola es el más amplio posible e integra tanto los procedimientos como los conocimientos o habilidades destinados a solventar un determinado problema. Así, consideramos el "saber hacer" como tecnología, y no solamente los componentes físicos o materiales que equivocadamente, y de forma simplista, muchas veces son atribuidos al concepto de tecnología, como bien aporta Porter (1995).

En cuanto a las técnicas agrarias inicialmente usadas, a pesar de ser muy rudimentarias, el hombre siempre buscó formas de facilitar su trabajo, desarrollando y

perfeccionando procedimientos e instrumentos para las más distintas actividades cotidianas. Se puede generalizar que el fuego, las herramientas de labranza y cosecha, además de la domesticación tanto de animales para consumo o para la tracción, como de las plantas más palatales, fueron durante mucho tiempo la base tecnológica del hombre.

La evolución ha sido notable, tanto que una comparación entre los primeros agricultores instalados en las llanuras aluviales del Río Nilo y los modernos empresarios agrícolas de Norte América o Europa nos parece impropia, por los contrastes tecnológicos y principalmente por la manera de relacionarse con la naturaleza y sus recursos.

No pretendemos hacer un relato de esta evolución, más sí presentar y reflexionar sobre los principales cambios ocurridos en los últimos 40 años, cuando realmente la moderna agricultura se desarrolla e intensifica con el aporte de conocimientos y experimentación, principalmente en agronomía, biología, climatología, ingeniería, química, entre otras; además de la definitiva implantación del capitalismo y de la economía de mercado como modelo de desarrollo.

No se trata de olvidar la importancia de los científicos anteriores que mucho contribuyeron a la formación de las bases de tal evolución, pero sí de centrarnos en los avances más recientes, obtenidos a partir de la oferta tecnológica del período posterior a la segunda guerra mundial, que culmina con la inagotable oferta de técnicas y servicios promovida por el desarrollo de la informática y sus múltiples aplicaciones.

De todas maneras, la modernización de la agricultura es un tema bastante conocido y extensamente abordada en la literatura internacional (Dahlberg, 1979; Pimentel, 1996) y, en cierta manera, es consecuencia de dos condicionantes principales: por un lado, la visión empresarial dominadora, en que el medio rural es una fuente inagotable de alimentos y materias primas; por otra parte, y de cierta forma justificando el primero, la necesidad de atender una población creciente y, en su mayoría, hambrienta.

Vamos a aportar algunos datos que ilustran el proceso de modernización de la agricultura en distintas escalas, en primer lugar en el ámbito mundial para enseguida adentrarnos en la región del Cono Sur de Suramérica.

II.1.1. Ámbito mundial

A partir de los años 50, las inversiones en el medio rural de los países ricos son cada vez mayores, llevando a la creciente mecanización e intensificación de los sistemas agrícolas. Tal hecho, ocurrió de manera menos intensa y años más tarde en los países en vías de desarrollo, aumentando las discrepancias económicas y sociales a nivel global.

La población mundial crece cada vez más, demandando gran cantidad de productos

y energía del campo, así como empieza a moverse del medio rural hacia las ciudades en búsqueda de mejores condiciones de vida y trabajo. De hecho, con base en los datos de la FAO (2000) presentados en la Tabla II.1, se pueden visualizar las grandes diferencias entre el mundo rico y el pobre, además de la elevada tasa de crecimiento de la población mundial en los últimos 40 años.

Sobresale Asia, porque concentra el 60% de la población total del planeta, y diferentemente de la mayoría de los continentes, su mayor parte vive en el campo. Pero, en los últimos años, ya se puede notar la tendencia del éxodo rural en Asia y Africa, con tasas de crecimiento urbano muy superiores a las observadas en el campo. En el caso de Sudamérica, se observa que la población rural aumenta hasta 1970 para enseguida, reducirse a valores inferiores a los del año 1961; mientras tanto, las ciudades aumentaron más del triple la población en el periodo. En el otro extremo están Europa y Norte-Centroamérica, que presentan un crecimiento más equilibrado de la población total, pero con la marcada característica de concentración urbana.

La importancia de la aplicación directa y de la transferencia de recursos financieros y tecnológicos se traduce en las estadísticas mundiales de producción agrícola y en la implantación de la agricultura comercial en tierras de menor calidad.

Tabla II.1. Evolución de la población mundial estimada en el periodo de 1961 y 1999.

Población (1.000.000)		1961	1970	1980	1990	1995	1999
África	Rural	234,6	280,3	345,8	429,3	471,2	482,6
	Urbana	54,7	83,8	130,0	200,0	248,2	284,0
	Total	289,3	364,1	475,7	629,4	719,5	766,6
Asia	Rural	1.332,8	1.619,2	1.906,3	2.136,3	2.245,4	2.291,3
	Urbana	370,1	482,2	679,4	981,2	1.192,3	1.343,0
	Total	1.702,9	2.101,4	2.585,7	3.117,5	3.437,8	3.634,3
Sudamérica	Rural	71,9	76,5	76,3	73,1	69,9	70,6
	Urbana	79,7	114,7	164,0	219,6	247,5	270,2
	Total	151,6	191,2	240,4	292,8	317,5	340,8
Norte y Centroamérica	Rural	100,7	104,9	115,5	121,3	123,3	128,0
	Urbana	178,5	219,0	258,5	305,8	332,4	349,7
	Total	279,2	323,8	374,0	427,1	455,8	477,8
Europa	Rural	165,0	153,0	143,5	138,4	192,2	184,9
	Urbana	263,8	306,2	339,9	361,1	536,1	544,1
	Total	428,8	459,2	483,5	499,5	728,2	728,9
Oceanía	Rural	5,3	5,6	6,5	7,8	8,4	9,0
	Urbana	10,7	13,7	16,1	18,6	19,9	21,1
	Total	16,1	19,3	22,7	26,4	28,3	30,0
Mundo	Rural	2.019,8	2.345,4	2.693,4	3.004,2	3.110,6	3.166,4
	Urbana	1.065,9	1.356,5	1.754,0	2.278,1	2.576,5	2.812,0
	Total	3.085,8	3.701,9	4.447,4	5.282,3	5.687,1	5.978,4

Fuente: FAO (2000).

Presentamos a continuación, en la Figura II.1, algunas informaciones extraídas de la base de datos de la FAO, disponible para consulta por Internet (www.fao.org). Tenemos

conciencia de la generalización de los datos ofrecidos por la FAO, principalmente en el ámbito continental e incluso nacional, pero ésta es una fuente oficial de datos estadísticos de reconocido valor, y para comparaciones como las que vamos a presentar, creemos que es adecuada. En lo que se refiere al año 2000, los datos aportados son todavía provisionales (FAO, 2000).

Según los datos de agricultura de la FAO (2000) presentados en la Figura II.1(a), la producción mundial de cereales totales (trigo, arroz, maíz, soja, cebada, entre otros) en el periodo del 1961 y 2000 casi se triplicó, incrementando de 877 a 2.060 GT (10^6 T), mientras que el área cosechada aumentó muy poco, pasando de 648.000.000 a 676.000.000 de hectáreas.

Tal hecho implica que la mejora del rendimiento medio de los cultivos es el factor preponderante, ya que para el caso de los cereales, evolucionó de cerca de 1,3 a poco más de 3,0 T/Ha/año en el periodo, lo que equivale a un incremento de 230%. Es interesante notar que, a pesar de una cierta inestabilidad en la producción mundial de cereales a partir de los años 90, las productividades siguen una tendencia creciente (Figura II.1.a).

Cuando observamos los datos de productividad media de cereales agregados por continentes en los últimos 40 años, conforme se ha ilustrado en la Figura II.1(b), se pueden comprobar las marcadas diferencias entre los países ricos, concentrados en Norteamérica y Europa, las naciones pobres, ubicadas principalmente en África y Oceanía, y los países en desarrollo, con mayor presencia en Asia y Sudamérica. En la mayoría de los casos, la evolución de los rendimientos medios entre los años de 1961 y 2000 es impresionante, el factor aumentó un 263% en Asia y cerca de 220% en Europa, Norte y Centroamérica y Sudamérica, mientras que en África y Oceanía el aumento fue algo menor al 170%.

A pesar de la generalización de los datos, se puede inferir que el factor que más influyó para que se alcanzaran niveles de productividad tan elevados como los observados en la Figura II.1(b), fue sin duda, el aporte tecnológico en el campo. Lo cual, se expresa tanto por la mejora de los sistemas de cultivo y manejo, mecanización, riego y uso de agroquímicos (fertilizantes, plaguicidas y correctivos del suelo), como por el desarrollo de variedades altamente productivas.

Estas afirmaciones, son comprobadas por el interesante análisis de los actuales desequilibrios y contrastes del panorama mundial, realizadas por Sancho Comíns (2001). Lo cual se refiere a la importancia fundamental de los "recursos demográficos y espacios rurales" para el desarrollo sostenido del "recurso Tierra y la producción de alimentos" (Sancho Comíns, 2001).

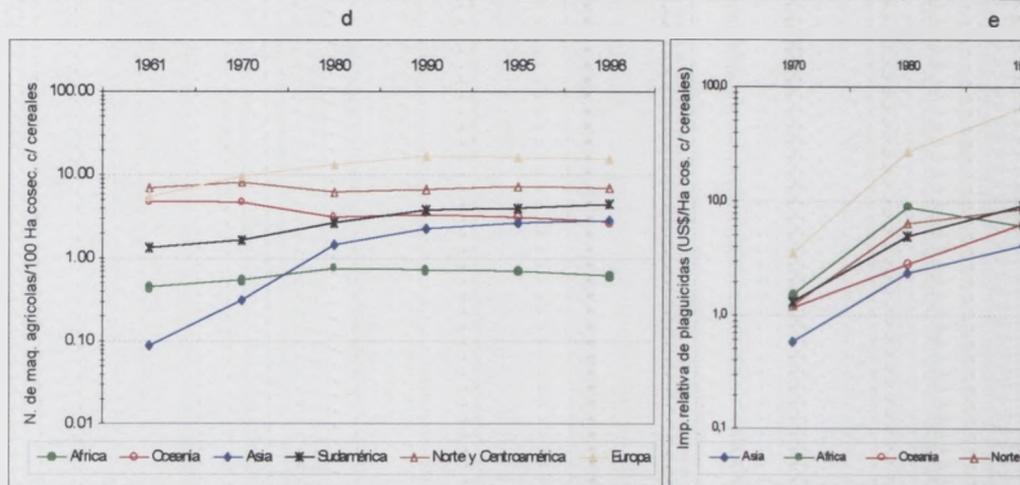
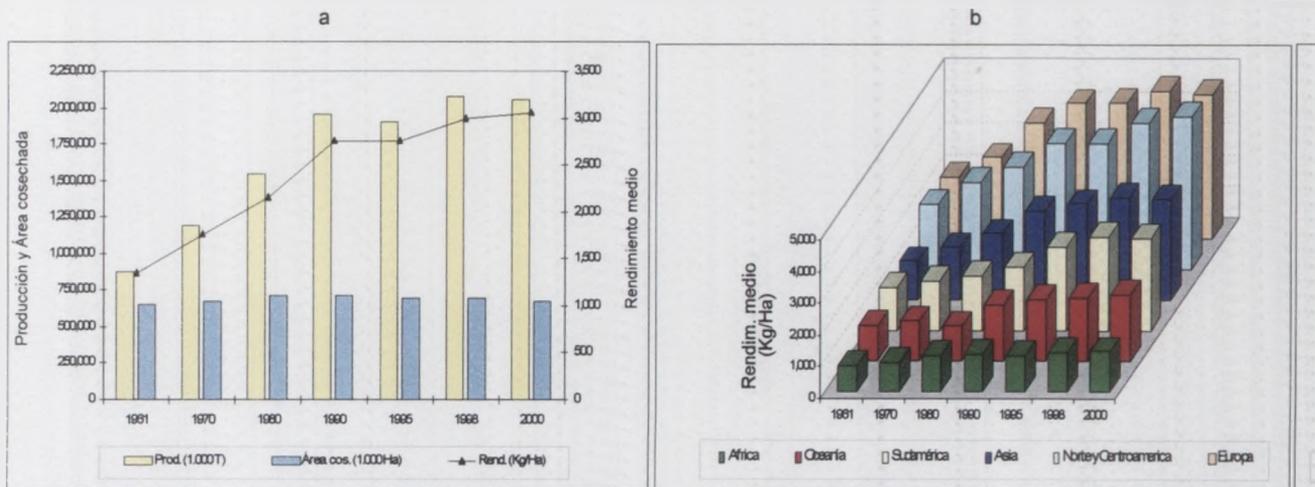


Figura II.1. Indicadores de la agricultura mundial agregados por continente, según FAO (2000): a) producción de cereales básicos en el ámbito mundial; b) rendimientos medios de cereales; c) relación entre el consumo total de plaguicidas y el área total cosechada con cereales; d) relación entre el número total de máquinas agrícolas y el área total cosechada con cereales

Vamos a presentar algunos datos recopilados de la FAO (2000) que comprueban tal hecho y que demuestran, además, las grandes discrepancias de valores entre los distintos continentes en el ámbito mundial, hecho que nos obligó a elaborar los gráficos con escala logarítmica.

Un índice interesante es la relación entre el consumo total de fertilizantes nitrogenados y el área total cosechada con cereales, presentado en la Figura II.1(c). Se observa un significativo aumento del consumo relativo, o aparente, de fertilizantes nitrogenados en los últimos 40 años. Tal hecho es particularmente importante en Asia, seguida de Oceanía y Sudamérica, con incrementos del orden de los 2.000 y 1.330%, respectivamente. Mientras tanto, las diferencias entre los continentes ricos y pobres son muy grandes, con Europa consumiendo cerca de 200 Kg/Ha/año de abonos nitrogenados en las últimas dos décadas, mientras que África consumió poco más de 20 Kg/Ha/año en el mismo periodo. Asia ha aumentado bastante el consumo de abonos, casi equiparándose al continente Centro y Norteamericano, con valores alrededor de los 150 Kg/Ha/año, reflejando la intensificación productiva del campo emprendida por los "tigres asiáticos".

Otro índice, preparado con los datos de la FAO (2000), es la relación entre el número total de máquinas agrícolas en uso para cada 100 hectáreas cosechadas con cereales en el periodo del 1961 y 1998, presentado en la Figura II.1(d). Se observa que Europa y Norte-Centroamérica siguen liderando la utilización relativa de maquinaria agrícola, pero con la tendencia a su estabilización en el periodo. El aumento relativo es particularmente importante en Asia, donde el factor incrementó en cerca de 3.000% (de 0,09 a 2,8), seguida por Sudamérica con 300% (de 1,4 a 4,4). Oceanía, por el contrario, presenta una reducción relativa de cerca de 60% de su maquinaria agrícola, pasando de 4,9 a 2,8 máquinas por 100 hectáreas cosechadas con cereales; mientras que, el continente Africano presenta un pequeño parque de máquinas con ligera tendencia de incremento.

Datos sobre el consumo real, o aparente, de plaguicidas son difíciles de obtener, así que presentamos en la Figura II.1(e), una estimación de su comercio internacional, tomándose como referencia la relación entre las importaciones totales y el área total cosechada con cereales, agregadas por continente en el periodo del 1970 y 1998 (FAO, 2000). En general, se observa un fuerte crecimiento de las tasas en todo el periodo, que sigue en un ritmo intenso, principalmente en Europa, Sudamérica, Norte y Centroamérica y Oceanía. El continente Europeo presenta las mayores tasas de importación relativa de plaguicidas, alrededor de 90 \$USD por hectárea cosechada con cereales en 1998, lo que confirma el intensivo uso de esos químicos en su agricultura. Es interesante notar que África aparece como un gran importador de plaguicidas en los años 70 y 80, para después,

perder importancia frente a los demás continentes y equipararse a Asia, que presenta los menores valores relativos, en torno a 6 \$USD/Ha en 1998. Por otro lado, Sudamérica sobresale a partir de los años 80 como el segundo mayor importador relativo de esos químicos, con valor relativo en 1998 de 35 \$USD/Ha, lo cual es 2.700% superior al observado en 1970 (1,3 \$USD/Ha).

De los datos presentados, se puede confirmar la importancia económica asumida por los países en desarrollo concentrados en Asia y Suramérica, los cuales se han aprovechado de los créditos internacionales ofertados en abundancia, principalmente en los años setenta, para modernizar sus sistemas agrícolas de manera muy rápida y con consecuencias importantes desde la perspectiva medioambiental, que discutiremos posteriormente.

A continuación, nos vamos a concentrar un poco más en Suramérica, más específicamente en los países ubicados en el extremo sur del continente y acercamos al área de estudio.

II.1.2. *Ámbito regional del Cono Sur*

En el caso de Brasil, y de la mayoría de los países del Cono Sur (Argentina, Bolivia, Chile, Paraguay y Uruguay), los datos de evolución de la agricultura son significativos y comprueban la intensa aplicación tecnológica en el campo, a pesar de la generalización de los datos recopilados de la FAO y las diferencias sociales, económicas, medioambientales, y de políticas agrícolas de los países seleccionados. Estos factores impiden inferencias más profundas. De cualquier manera, presentamos datos que ilustran las principales características de esos países, además de Francia y Estados Unidos de América, representantes de las naciones desarrolladas.

En la Figura II.2 están representadas las tendencias de evolución de la población urbana y rural, estimadas en el periodo del 1961 y 1999 para los países mencionados. Para efectos comparativos, homogeneizamos la escala gráfica en el formato logarítmico, por las grandes diferencias observadas.

Es nítida la tendencia de aumento de la población urbana y su reducción en el campo para la mayoría de los países. Las excepciones son Paraguay y Bolivia, que también siguen un patrón de incremento de la población rural. Estos países, además de Brasil, presentan las tasas de aumento poblacional más elevadas, con valores para la población total alrededor de 2,4 en el periodo (FAO, 2000).

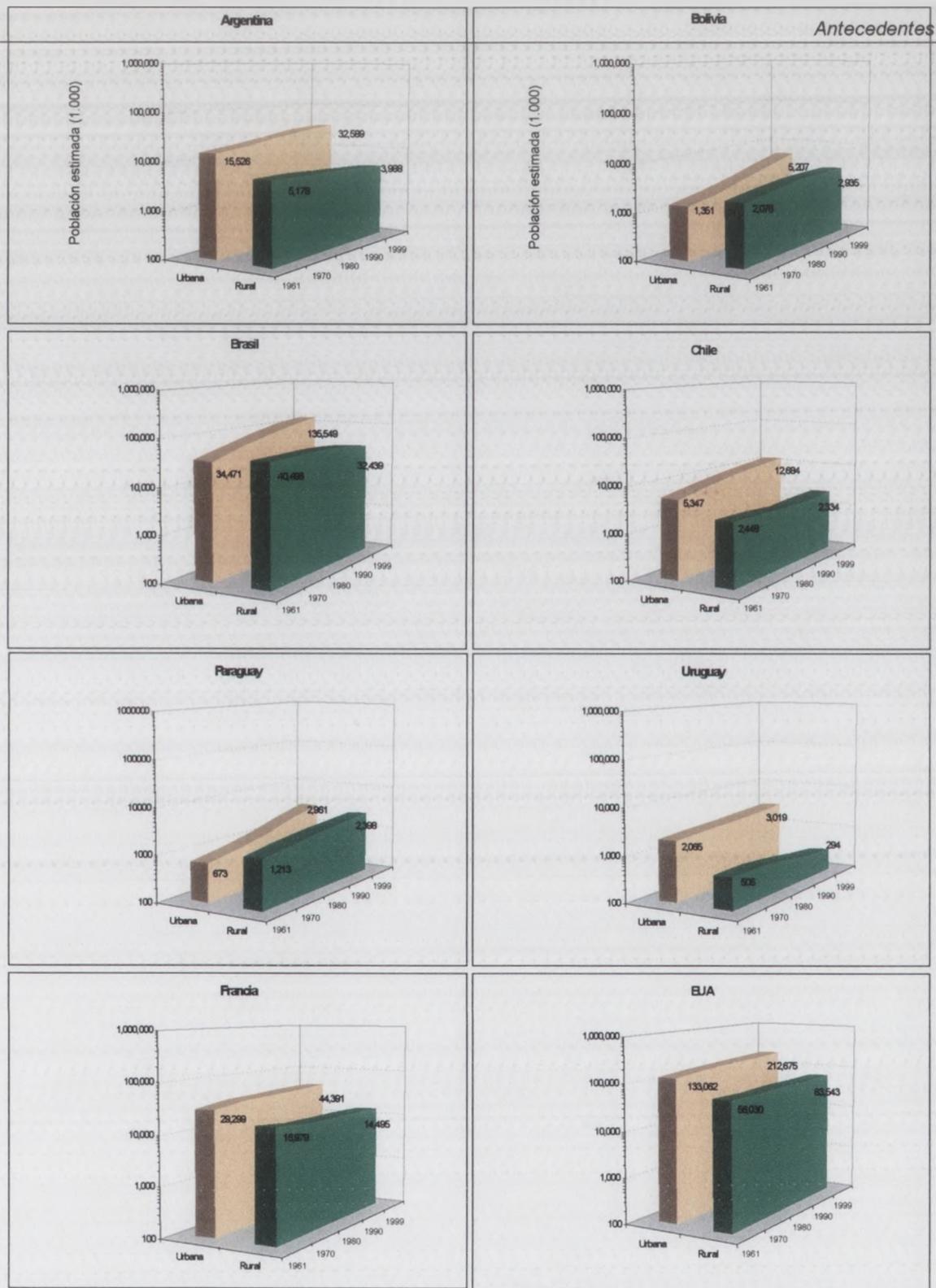


Figura II.2. Evolución de la población estimada en países seleccionados, en el periodo de 1961 y 1999, según datos de la FAO (2000).

La evolución de algunos indicadores económicos y sociales está representada en la Tabla II.2, elaborada con datos del Banco Mundial (World, 2000). Las diferencias económicas son muy grandes, e incluso regionalmente, se notan los distintos niveles de renta que influyen directamente en los indicadores generales de las condiciones de vida de la población.

Sin embargo, la evolución de los indicadores es significativa en los últimos 20 años en el ámbito del Cono Sur. Argentina y Uruguay presentan los valores de Producto Interior Bruto per cápita más elevados y, juntamente a Chile, las mejores condiciones sociales para sus habitantes. Brasil y Chile, están en una situación intermedia, con renta per cápita de cerca de 4.600 \$USD, mientras que Paraguay y Bolivia presentan los valores más bajos, con menos de 1.500 \$USD por habitante en 1999.

Interesante notar que en Paraguay hubo una disminución de la renta per cápita, a pesar del aumento de casi el doble del Producto Interior Bruto entre 1980 y 1999, lo que se puede atribuir al fuerte aumento de la población total que casi se triplicó en el periodo.

En cuanto a la participación de los tres sectores de la economía nacional en el Producto Interior Bruto, se observa que los sectores primario y secundario de las economías latinoamericanas vienen perdiendo representatividad frente al sector de servicios, que concentra la mayor parte del PIB en 1999. Tal hecho, no implica necesariamente una retracción de la agricultura en estos países y, posiblemente, indica un desarrollo mucho más acentuado del sector terciario que, como es sabido, agrega más valor de capital en sus procesos y la tendencia natural en la economía nacional es de su crecimiento.

Otro parámetro comparativo, presentado en las últimas columnas de la Tabla II.2 y quizá más representativo de las reales condiciones de vida de la población, es el Índice de Desarrollo Humano – IDH (Cordellier, 2000; Cordellier, 2001). Elaborado y divulgado anualmente a partir de 1990 por el PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), integra tres variables principales: la esperanza de vida al nacimiento, el nivel de instrucción general y la renta per cápita. El índice intenta suavizar ciertas distorsiones observadas en la interpretación aislada de esos factores, como consecuencia de las variadas e inestables condiciones de vida de los países.

El índice de Desarrollo Humano varía de 0 hasta 1, en una jerarquía creciente de calidad de vida. Como se puede comprobar por los datos de la Tabla II.2, los países desarrollados presentan valores cercanos a 1, ocupando puestos elevados en el escalonamiento internacional, seguidos a distancia por las naciones en vías de desarrollo del Cono Sur.

Tabla II.2. Evolución de algunos indicadores de desarrollo económico y social de países del Cono Sur y d

Países	PIB (\$USD mil millones)		PIB per cápita (\$USD 1.000)		Composición del PIB (%)						Esperanza al nacer
	1980	1999	1980	1999	Primario		Secundario		Terciario		
					1980	1999	1980	1999	1980	1999	1994
Argentina	76,96	282,8	2,75	7,73	6	5	42	28	52	67	72
Bolivia	3,07	8,3	0,61	1,02	18	18	35	18	47	64	60
Brasil	236,99	791,4	1,96	4,71	11	8	44	32	45	60	67
Chile	27,57	67,5	2,51	4,49	7	8	37	35	56	57	72
Paraguay	4,58	7,7	1,53	1,44	29	26	27	28	44	46	68
Uruguay	10,13	20,8	3,37	6,28	14	5	33	27	53	68	73
Francia	664,60	1.410,30	12,31	23,95	4	-	34	-	62	-	78
EUA	2.708,15	8.708,90	11,88	31,53	3	-	34	-	63	-	77

Notas y Fuentes: * Mortalidad infantil (por cada 1.000 nacidos vivos), Banco Mundial (1990); World Bank (2000); Cordellier, 2001).

Además, confirma, de cierta manera, las diferencias internas en Suramérica, ya que Argentina, Uruguay y Chile ocupan una posición intermedia en el rango de países y, en situaciones un poco peores de condición de vida, encontramos a Brasil, Paraguay y Bolivia. Si tomamos las dos fechas del índice (1995 y 1999), observamos variadas tendencias de evolución; algunos países mejoraron su posición como Argentina, Uruguay, Bolivia y Paraguay, mientras otros empeoraron (Brasil, Chile, Francia y EUA).

La importancia de la agricultura en el Cono Sur puede ser visualizada en los datos de uso y ocupación del territorio, y sus cambios relativos en los últimos 40 años, presentados en la Tabla II.3 (FAO, 2000).

Argentina, Uruguay y Paraguay presentan las mayores proporciones de tierras bajo actividad agrícola (la suma de las tierras de labranza, cultivos permanentes y pastizales permanentes), en las cuales la tradición ganadera prevalece, ya que los valores relativos de los pastizales permanentes son siempre superiores al 80% de las tierras agrícolas. Respecto a las tierras labradas, vemos que Brasil, Argentina y Chile se destacan de los demás en términos relativos, pues ocupan una proporción superior al 15% del total de tierras agrícolas. El riego es bastante significativo en términos porcentuales en Chile, con 2,4% (lo que equivale a cerca de 1.800.000 hectáreas); pero en cuanto al área total regada, los valores de Brasil y Argentina son igualmente importantes, con superficies de cerca de 2.500.000 y 1.600.000 hectáreas, respectivamente (FAO, 2000).

De acuerdo con FAO (2000), los datos de ocupación por bosques comprenden el periodo del 1961 y 1990 y se refieren a las formaciones arbóreas naturales o cultivadas que reciben algún tipo de manejo. De ahí el mayor peso de los países que presentan formaciones forestales tropicales húmedas como Brasil y Bolivia, donde éstas ocupan más de la mitad de sus tierras.

En lo que se refiere a los cambios relativos de uso y ocupación de las tierras en el periodo del 1961 y 1998, los datos presentados en el último bloque de la Tabla II.3 confirman el avance de la frontera agrícola en la mayoría de los países del Cono Sur y su retracción en Uruguay, Francia y EUA.

Tabla II.3. Principales características de ocupación de las tierras y evolución de los cambios relativos en el periodo del 1961 y 1998 en el Cono Sur.

Países	Área terrestre total (1000 Ha)	Porcentaje de la superficie total terrestre (1998)						Porcentaje del cambio de área relativa (1961-1998) a:					
		Agrícola	Tierra de labranza	Cultivo perman.	Pastizal perman.	Regada	Bosques (1990)	Agrícola	Tierra de labranza	Cultivo perman.	Pastizal perman.	Regada	Bosques (1990)
Argentina	273.669	61,8	9,1	0,8	51,9	0,6	18,6	1,0	2,5	0,4	-1,8	0,2	0,0
Bolivia	108.438	33,2	1,8	0,2	31,2	0,1	53,5	5,5	0,6	0,1	4,8	0,1	-2,3
Brasil	845.651	29,6	6,3	1,4	21,9	0,3	66,7	11,8	3,8	0,5	7,4	0,3	0,7
Chile	74.880	20,3	2,6	0,4	17,3	2,4	22,1	2,4	-2,2	0,2	4,5	1,0	0,1
Paraguay	39.730	60,4	5,5	0,2	54,6	0,2	34,7	24,1	3,8	-0,1	20,4	0,1	-19,5
Uruguay	17.481	84,8	7,2	0,3	77,3	1,0	5,3	-2,3	-0,4	0,0	-1,9	0,9	0,0
Francia	55.010	54,4	33,4	2,1	19,0	3,6	26,9	-8,4	-2,3	-1,2	-4,9	3,0	5,8
EUA	915.912	45,7	19,3	0,2	26,1	2,3	32,3	-3,2	-0,4	0,0	-2,8	0,8	-1,3

Fuente: FAO (2000)

En Paraguay y Brasil, la superficie agrícola se ha incrementado en cerca de 24 y 12%, respectivamente. Lo que equivale a decir que en torno a las 9.600.000 hectáreas en Paraguay y 99.700.000 hectáreas en Brasil fueron incorporadas a la actividad agrícola entre 1961 y 1998, estando la mayor parte de esas nuevas tierras ocupadas por pastizales permanentes. La disminución observada en Francia, sin duda, representa la influencia de la Política Agraria Común a principio de los años 90, que ha incentivado la retirada de las tierras consideradas marginales desde el punto de vista productivo, además de promover la reforestación (Sancho Comíns et al., 1994) o la recomposición de la vegetación natural en las zonas de mayor pendiente, como se observa en áreas de montaña pirenaica (García-Ruiz et al., 1996).

Con excepción de Chile y Uruguay, se puede notar un aumento de la proporción relativa de las tierras labradas en el periodo, siendo este cambio particularmente importante en Brasil, Paraguay y Argentina. Tal hecho, puede indicar la intensificación del proceso productivo, pues en esa categoría también se encuentran las tierras destinadas a los cultivos temporales de cereales, que sustentan la base de las exportaciones de esos países. Por otra parte, se observa un avance de la proporción de tierras destinadas a los cultivos permanentes, que en el caso de Chile y Argentina, la producción de frutas es bastante significativa.

Los cambios del área bajo riego indican su aumento en todos los países, siendo en términos relativos, particularmente importantes en Chile y Uruguay; pero, los valores absolutos principalmente para EUA y Brasil apuntan a una generalización del proceso productivo, ya que hablamos de cerca de 7.400.000 y 2.200.000 hectáreas de nuevas tierras regadas entre 1961 y 1998 para esos países.

La reducción de las áreas boscosas se muestra importante en Paraguay y Bolivia, lo que puede explicarse, en parte, por las nuevas tierras incorporadas a la agricultura. Curiosamente, los datos de Brasil no indican la deforestación observada en sus vecinos, quizás porque los datos de la FAO incluyen las áreas de reforestación, que se han incrementado bastante en los últimos años en el país (FAO, 2000).

De cualquier forma, otros datos indican que la pérdida del área boscosa en Brasil sigue una tasa media anual de 0,5% en el periodo de 1990 y 1995 (World, 2000).

Presentamos, en la Figura II.3, los mismos indicadores antes comentados al nivel mundial, preparados ahora para los países del Cono Sur, EUA y Francia.

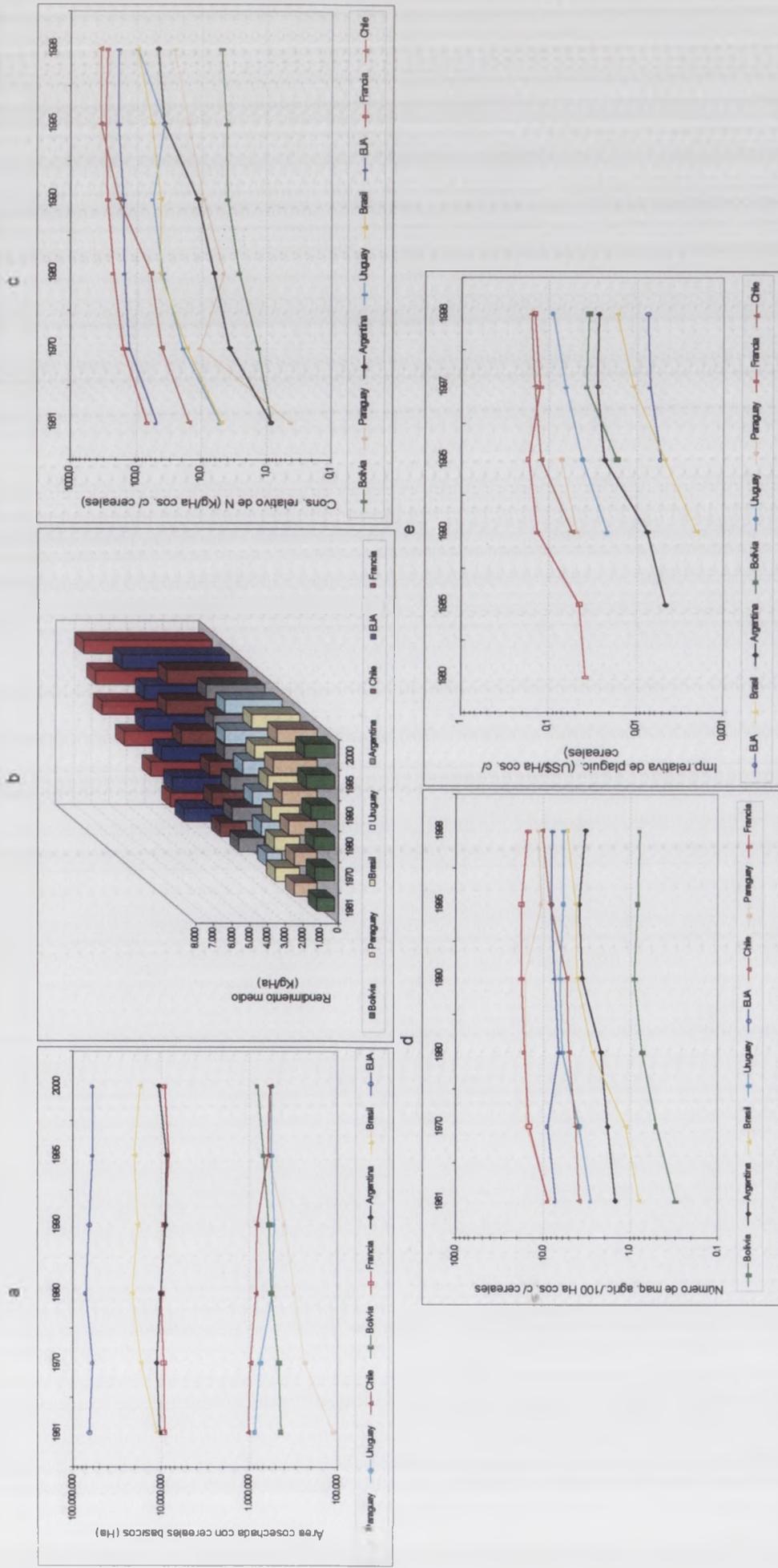


Figura II.3. Indicadores de la agricultura del Cono Sur y países desarrollados, según datos de la FAO (2000): a) área total cosechada con cereales básicos; b) rendimientos medios de cereales básicos; c) relación entre el consumo aparente de fertilizantes nitrogenados y el área total cosechada con cereales básicos; d) relación entre el número total de máquinas agrícolas y el área total cosechada con cereales; e) relación entre las importaciones totales de plaguicidas y el área total cosechada con cereales.

Los valores del área total cosechada con cereales, presentados en la Figura II.3(a), muestran, en cierta manera, las diferencias antes referidas. Países como Chile, Uruguay y EUA han disminuido sus tierras de cultivo de cereales, mientras que, en otros países, estas áreas permanecieron poco alteradas, como Argentina y Francia. Pero, en el caso de Brasil, Paraguay y Bolivia, el aumento de las tierras de cultivo de cereales es notable, principalmente en Paraguay, donde pasan de poco más de 100.000 para cerca de 560.000 hectáreas desde el 1961.

Los rendimientos medios de los cereales, presentados en la Figura II.3(b), demuestran el elevado grado de tecnificación alcanzado por Chile en los últimos 10 años, con valores de cerca de 4,4 T/Ha, más próximos a los países desarrollados como EUA y Francia. Un grupo relativamente homogéneo, formado por Argentina, Uruguay, Brasil y Paraguay, presenta tendencia similar de evolución con rendimientos medios alrededor de 2,5 hasta 3,3 T/Ha en 2000. Por otra parte, Bolivia presenta valores bien inferiores a los demás países, pero de cualquier forma, ha incrementado en el doble su productividad para los cereales desde 1961, pasando de 0,9 a 1,7 T/Ha.

En lo que se refiere al consumo de fertilizantes nitrogenados, la Figura II.3(c) ilustra la relación entre el consumo total de esos abonos y el área total cosechada con cereales. Chile nuevamente se destaca, con valores cercanos a los 350 Kg/Ha en los años 1995 y 1998, valor incluso superior al de Francia y EUA. Otros países, como Brasil y Uruguay, se muestran como importantes consumidores a partir de los años 80, llegando a valores cercanos a los 90 Kg/Ha de N en 1998. Por otra parte, Argentina y Paraguay no presentan un consumo tan elevado, pero sus valores son crecientes en el periodo; lo mismo se puede afirmar para Bolivia, todavía con un consumo relativo mucho menor de abonos.

Presentamos en la Figura II.3(d) la relación entre el número total de máquinas agrícolas por cada 100 hectáreas cosechadas con cereales (FAO, 2000). En ella se registra el aumento, hora gradual hora acentuado, de la mecanización agrícola en la mayoría de los países del Cono Sur.

Llama la atención los datos de Paraguay, muy próximos a los de Francia y con valores relativos muy superiores a los de sus vecinos y EUA hasta 1990, para después decrecer en las dos siguientes décadas. Chile repite su trayectoria anterior, ocupando lugar de destaque con su parque de maquinaria agrícola, equivalente a poco más de 10 máquinas por cada 100 Ha cosechadas con cereales en 1998. En un nivel intermedio y, de similar desarrollo, están Uruguay y Argentina, mientras que Bolivia, se coloca como el país menos favorecido por maquinaria de campo.

De entre todos los países, Brasil presenta un vertiginoso aumento de su parque de

maquinaria agrícola en el periodo, pasando de 0,8 a 5 máquinas por cada 100 hectáreas cosechadas con cereales básicos entre 1961 y 1998, lo que implica un aumento de cerca de 680%. Francia destacase como el país con mayor número de máquinas en el campo, pero se nota una disminución a partir del año 1995, que marca su ápice con cerca de 18 máquinas por 100 Ha. cosechada. Paraguay, demuestra valores relativos muy próximos a los de Francia, pero su retracción a partir de 1990 es muy significativa, lo que puede ser debido al aumento del área cosechada con cereales sin el desarrollo del parque de maquinaria en el campo.

Como afirmamos anteriormente, los datos del consumo de plaguicidas son difíciles de obtenerse y nunca las estadísticas son completas. La Figura II.3(d), ilustra la relación entre las importaciones totales de plaguicidas, en dólares norteamericanos, y el área total cosechada con cereales, en los ámbitos del Cono Sur y algunos países desarrollados para el periodo del 1980 y 1998.

A pesar de los huecos en el periodo de datos disponible (FAO, 2000), se puede tener una idea de las cifras involucradas en el comercio de esos productos, donde Francia se muestra como la principal consumidora, seguida muy cerca por Chile, que en los años 1997/98 le ha superado, con valores relativos cercanos a los \$USD 15/Ha cosechado con cereales en el periodo. Los bajos valores relativos presentados por EUA, deben ser evaluados considerando las relativamente pequeñas importaciones de plaguicidas, pero eso no implica que su uso sea pequeño, ya que este país es uno de los grandes exportadores y, por consiguiente, productor de plaguicidas (FAO, 2000), lo que sugiere un igualmente gran mercado interno.

Esos datos comprueban el desarrollo de la actividad agrícola en los países del Cono Sur, siguiendo la tendencia mundial de mayor aportación tecnológica en el campo, dictada por los países industrializados. Como es esperado, se observa un detrimento de los ecosistemas en aquellos países, que pasan a sufrir un igualmente importante y rápido cambio en sus condiciones naturales, no siempre planeado y acertadamente conducido por las agencias gubernamentales, llevando por fin, a los frecuentes relatos de uso conflictivo de los recursos naturales.

En Brasil, tal hecho es muy significativo. Particularmente en su porción sureste, que históricamente fue la más intensamente poblada y explotada, tornándose una de las zonas más desarrolladas del país, y como consecuencia, la que mayores problemas ambientales presenta en el momento, juntamente a la región amazónica, donde se encuentra la actual frontera agrícola brasileña.

II.2. Impactos ambientales asociados y mecanismos de control

El desarrollo desordenado de la agricultura ha provocado impactos ambientales de variadas magnitudes y formas, según la perspectiva desde la que se quiera abordar la cuestión (Levitan et al., 1995; Lier, 1997; Pimentel, 1996) o la escala de la misma (Canter, 1986; Dale et al., 1998; Silva, 1997).

La capacidad humana de cambiar ciertas condiciones locales del ambiente, incluso, en la genética de los organismos para atender y soportar la producción agrícola es, sabidamente, muy grande. Si un determinado lugar no reúne las condiciones climáticas mínimas para un determinado producto de interés comercial, con una cierta inversión se puede cambiar parcialmente; los invernaderos o la "plasticultura" son una prueba de tal hecho. Igualmente se pueden seleccionar variedades genéticamente modificadas, más resistentes y productivas bajo condiciones poco favorables.

Lo que queremos destacar es que la aplicación tecnológica generalizada despertó un sentimiento de falso poder sobre la naturaleza, mediante la cual la intensificación del proceso agrícola puede comprometer la capacidad de soporte del ambiente local y regional. Ahora se está comprobando a la escala global (Embrapa, 1999; IPCC, 1996; White y Howden, 1994), a pesar de las incertidumbres de los resultados y proyecciones en esta escala de análisis (Jacoby y Prinn, 1994; Webster y Sokolov, 1998).

Entre las varias formas de clasificación de los impactos ambientales, nosotros vamos a abordar, resumidamente, aquellos originados por la actividad agrícola.

La agricultura, como generadora de conflictos de ocupación, puede originar fundamentalmente dos grandes tipos de impactos: los que surgen de su implantación en un territorio hasta entonces mantenido en sus condiciones naturales o casi naturales, caso del avance de la frontera agrícola y aquellos que son consecuencia de su larga permanencia en el mismo lugar, caso de la llamada verticalización de la agricultura y todo su entorno.

En la primera situación, los impactos negativos del cambio del paisaje y de sus ecosistemas serán tanto más intensos cuanto más natural sea la condición original del ambiente y su fragilidad, donde, en principio, la pérdida de estos hábitats puede llevar a la drástica reducción de la biodiversidad local y, en ciertos casos, regional (Brasil, 1998).

Los pasos seguidos en Brasil, y en la mayoría de los países con similares condiciones ambientales e históricas de colonización, son, de forma general, el aprovechamiento de la madera de mayor valor, la quema de lo que resta del desmonte de la vegetación leñosa y, dependiendo de las características climáticas y edáficas, puede

ocurrir la formación de pastizales para la ganadería extensiva, o la siembra de cultivos temporales y permanentes de mayor interés económico en grandes monocultivos de soja, maíz, arroz, caña de azúcar, café y cítricos, entre otros.

Tal evolución en los sistemas agrícolas exige, necesariamente, la aplicación creciente de tecnología en máquinas y correcciones del suelo. Se comienza por la base topográfica con el establecimiento de obras para cultivar en curvas de nivel, hasta la sofisticación de la fertirrigación específica y personalizada en la agricultura de precisión, como lo comprueban los resultados obtenidos en esa nueva ola tecnológica en el campo.

Existe, pues, una secuencia teórica de acontecimientos que puede o no ser seguida en el tiempo y espacio, dependiendo de los factores limitantes ambientales, políticos, sociales y económicos. Tal hecho, puede formar complejos mosaicos de actividades difusas, desde una perspectiva de la contaminación ambiental, como mosaicos multiformes y fragmentados con funciones variadas, desde un punto de vista del análisis espacial en ecología del paisaje.

De cualquier manera, podemos hablar de impactos ambientales negativos y acumulativos, que pueden ser variables en magnitud, según la intensidad del proceso productivo y la fragilidad del ambiente.

En nuestro estudio, evaluamos un área de agricultura previamente establecida y que presenta un cambio bastante significativo de los sistemas de producción, pasando de sistemas agrícolas poco intensivos de granos (maíz, soja, arroz) y del algodón, en la década de los 70, a sistemas de riego por pivotes y cultivos más especializados como son el tomate, alubias. Además, se han incorporado nuevas técnicas a los cultivos de granos y de la caña de azúcar, lo que significa mayor aporte tecnológico en la actividad agrícola del área.

A continuación, presentamos y comentamos algunos de los instrumentos normativos y los principales problemas ambientales surgidos de la modernización de la agricultura y su establecimiento y manejo, la mayoría de las veces de forma desordenada, en Brasil.

II.2.1. Instrumentos normativos: de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) al estudio del Cambio Ambiental Acumulativo (CAA)

Como consecuencia de los graves problemas ambientales generados por las distintas actividades humanas y de la creciente toma de conciencia de la sociedad en cuanto a los riesgos de tal proceso y la consecuente presión sobre las naciones más ricas, surge, a mediados de los años 70, un conjunto de métodos de evaluación que tienen su

esencia en la realización de estudios dirigidos a la identificación, prevención y corrección de los efectos indeseables del desarrollo (Bolea, 1980; Canter, 1986; Gómez Orea, 1988).

Los métodos empleados en la EIA son muy variados para que puedan abordar el igualmente amplio espectro de actividades de desarrollo que provocan impactos ambientales negativos (Bolea, 1980; Canter, 1986; MOPU, 1985; SUREHMA, 1993). Algunos métodos son más sencillos e intuitivos como los procedimientos de listas de control (*checklist*), ampliamente usados desde los primeros estudios de impacto ambiental; otros son mucho más elaborados y complejos como los modelos matemáticos de simulación de eventos y la consecuente previsión de las implicaciones en el medio ambiente.

Después de más de 20 años de desarrollo metodológico y tentativas de unificación internacional de los procedimientos, la EIA es formalmente aplicada y amparada por amplio dispositivo legal en muchos países y organizaciones supragubernamentales, como la Unión Europea (Canter y Canty, 1993; Machado, 1994; Machado, 1995; Sadler, 1996). Además, ha incorporado procedimientos formales de participación de las comunidades afectadas por la actividad en evaluación, de manera que se integren en la toma de decisión final.

En Brasil, el CONAMA -Consejo Nacional del Medioambiente- en 1986 (Resolución 001/86) define los impactos ambientales como:

“... cualquier alteración de las propiedades físicas, químicas y biológicas del medio ambiente causadas por cualquier forma de materia o energía, bien como las alteraciones socioeconómicas, resultantes de las actividades humanas que directa o indirectamente afecten:

- *la salud, la seguridad y el bienestar de la población humana;*
- *las actividades sociales y económicas;*
- *las condiciones estéticas y sanitarias del medio ambiente;*
- *la calidad de los recursos naturales;*
- *las costumbres, la cultura y a las formas de supervivencia de las poblaciones.”*

La misma norma, ha instituido formalmente la necesidad de ejecución de EIA para las actividades de desarrollo que causen impactos ambientales, como las plantas generadoras de energía eléctrica, aeropuertos, puertos, carreteras, actividad de minería y proyectos agropecuarios de extensión superior a 1000 Ha (CONAMA, 1986).

Por su carácter general e interdisciplinario, el ámbito de aplicación de la EIA es muy grande, desde las obras de gran magnitud, a las políticas, programas, planes, proyectos, tecnologías de desarrollo con implicaciones medioambientales (Canter y Canty, 1993;

Porter, 1995; Spaling y Smit, 1993).

El carácter normativo y preventivo es fundamental para que la EIA tenga la eficacia deseable, y así, debe ser aplicada en fases de planificación o de proyectos aún no existentes. Por sus características, se aplica muy bien a las nuevas actividades que se desean implantar en una determinada área. Pero, para aquellas ya instaladas o con un tiempo de existencia largo, como la agricultura o urbanización, los evaluadores no disponen de las condiciones ambientales previas para el seguimiento analítico y pronóstico de los cambios, hecho que no invalida el proceso como un todo, pero añade complicaciones importantes (Canter, 1986).

Los éxitos de la EIA en los distintos países son muy variados como consecuencia de la complejidad de los factores y procesos involucrados, pero, sin duda, es el instrumento más importante de planificación y de toma de decisión con relación a las cuestiones medioambientales (Sadler, 1996).

A pesar del generalizado reconocimiento internacional de la importancia de la EIA como herramienta de planificación y gestión ambiental, lógicamente no está inmune de críticas. Éstas, se concentran principalmente en el proceso de evaluación y toma de decisión final y en las deficiencias de los procedimientos metodológicos y analíticos referentes a estrategias de seguimiento de las variables ambientales bajo impacto (Campanhola et al., 1994, 1994; Duinker, 1989; Escobar Gómez, 1994; NRC, 1977; Rose y Smith, 1992; Spaling y Smit, 1993).

Algunas críticas son bastantes severas en cuanto a la efectividad de la EIA como herramienta de gestión ambiental. Escobar Gómez (1994) destaca que la arbitrariedad implicada en la concepción de la EIA en España, invalida su capacidad de mejorar los aspectos ambientales de proyectos y acciones con implicaciones negativas en el medio ambiente. Apunta como principales problemas, la falta de integración "de los aspectos ambientales como un elemento más de los proyectos, al mismo nivel que los económicos, técnicos, sociales y administrativos", la ausencia de una normativa técnica que fije los aspectos ambientales a ser considerados en los proyectos, además de la poca efectividad del proceso participativo de las comunidades involucradas en la toma de decisión.

En cuanto a los aspectos metodológicos relacionados con el adecuado monitoreo (seguimiento) de las variables ambientales, las consideraciones están centradas principalmente en las deficiencias técnicas y económicas para el correcto seguimiento de contaminantes químicos de difícil detección, a la deficiencia o ausencia de hipótesis científica en cuanto a la dinámica en el tiempo y espacio de esos contaminantes y, por último, al deficiente planteamiento estadístico para el monitoreo ambiental, antes y después de la instalación de la actividad en estudio (Campanhola et al., 1994; Duinker,

1989; NRC, 1977; Rose y Smith, 1992).

En ese sentido, un aspecto particularmente importante es la naturaleza no puntual o dispersa de la actividad agrícola, lo que le confiere características totalmente distintas de otras fuentes de contaminación ambiental, como por ejemplo la industrialización, centrales nucleares, minería, vertederos de residuos urbanos, entre otros (Sharpley y Meyer, 1994). Además, por su carácter transitorio y dinámico en cuanto a los cultivos y las prácticas empleadas en el tiempo y espacio, son de difícil gestión y control (Campanhola et al., 1994).

Pero, una deficiencia fundamental de la EIA es la apuntada explícitamente por Spaling y Smit (1993) y, en menor grado por otros autores (Campanhola et al., 1994; Canter y Canty, 1993; Escobar Gómez, 1994), en cuanto a los problemas metodológicos relacionados con la falta de identificación de los cambios ambientales acumulados como consecuencia de las distintas formas e intensidades de la actividad humana.

Tal hecho, ha inducido al desarrollo de un nuevo concepto de la evaluación de impacto ambiental, el Cambio Ambiental Acumulativo - CAA.

El principal problema apuntado por Spaling y Smit (1993), consiste en que muchas de esas actividades han provocado cambios ambientales que sobrepasan largamente las dimensiones de tiempo y espacio utilizadas, en general, en los pronósticos de las EIA. Las fronteras geográficas suelen ser definidas por cuestiones administrativas o políticas locales, mientras que los cambios espaciales pueden incorporar, muchas veces, escalas regional y global.

Además de esas dos dimensiones, la experiencia ha demostrado otro factor de similar importancia que debe ser considerado: la dimensión de la actividad estudiada (Spaling y Smit, 1993).

La importancia de esa dimensión es clara, toda vez que los cambios ambientales no son los mismos cuando se considera una gran central nuclear y una docena de pequeñas centrales dispersas en un área. O aún, cuando se observan los cambios generados por actividades omnipresentes como la agricultura, caracterizada por pequeñas, pero numerosas y muchas veces intensas acciones sobre el territorio y el ambiente en definitiva, como las decisiones diarias, estacionales y anuales en cuanto a las prácticas de labor y cultivo de las tierras.

Aisladamente, los efectos parecen insignificantes, pero el conjunto de las acciones de los agricultores repetidas en el tiempo y espacio pueden causar cambios ambientales que se acumulan y se interrelacionan, muchas veces de forma sinérgica, incrementando significativamente el resultado final (Spaling y Smit, 1993).

Tal proceso es referido como la grandeza del pequeño, o por la "tiranía de la

pequeña decisión", frase acuñada por W. E. Odum en 1982 (citada por Spaling y Smit, 1993).

A pesar de las distintas interpretaciones conceptuales y una nomenclatura aún no totalmente unificada, algunos autores (Cocklin et al., 1992; Spaling y Smit, 1993) presentan una definición que nos parece adecuada, donde los términos *efectos acumulativos* y *cambio ambiental acumulativo (CAA)* son utilizados alternativamente.

Así, según esos autores, el CAA se refiere a los fenómenos de acumulación temporal y espacial de los cambios en los sistemas ambientales de manera aditiva o interactiva. Esos cambios pueden ser generados tanto por actividades individuales que se repiten en el tiempo y son espacialmente dispersas como por las múltiples actividades que pueden ser independientes o relacionadas, pero con suficiente conexión en el tiempo y espacio para acumular los resultados (Cocklin et al., 1992; Spaling y Smit, 1993).

El proceso de análisis o evaluación sistemática de los cambios ambientales acumulados es referido como Evaluación de Efectos Acumulados (EEA) y sigue, en general, los principales mecanismos legales y administrativos además de la base científica e institucional de la Evaluación de Impacto Ambiental (Spaling y Smit, 1993).

La evolución conceptual para el estudio del Cambio Ambiental Acumulativo ha pasado por dos momentos distintos; inicialmente se buscaba identificar los atributos claves del proceso de cambio acumulativo y, más recientemente, ha incorporado la lógica del modelo de causalidad como fundamento analítico. Pero los dos están íntimamente relacionados y contribuyen para la fundamentación conceptual de la estructura de los estudios de CAA (Spaling y Smit, 1993).

La Figura II.4 representa los atributos fundamentales del CAA, la acumulación temporal y espacial de los cambios y la naturaleza de las actividades que causan esos cambios. Esos componentes están íntimamente interrelacionados y de esta característica resulta la complejidad inherente del CAA.

La Figura II.5 representa la propuesta de Estructura (*Framework*) del Cambio Ambiental Acumulativo - CAA, presentada por Spaling y Smit (1993), que sigue el modelo general de causalidad y efectos, de forma integrada.

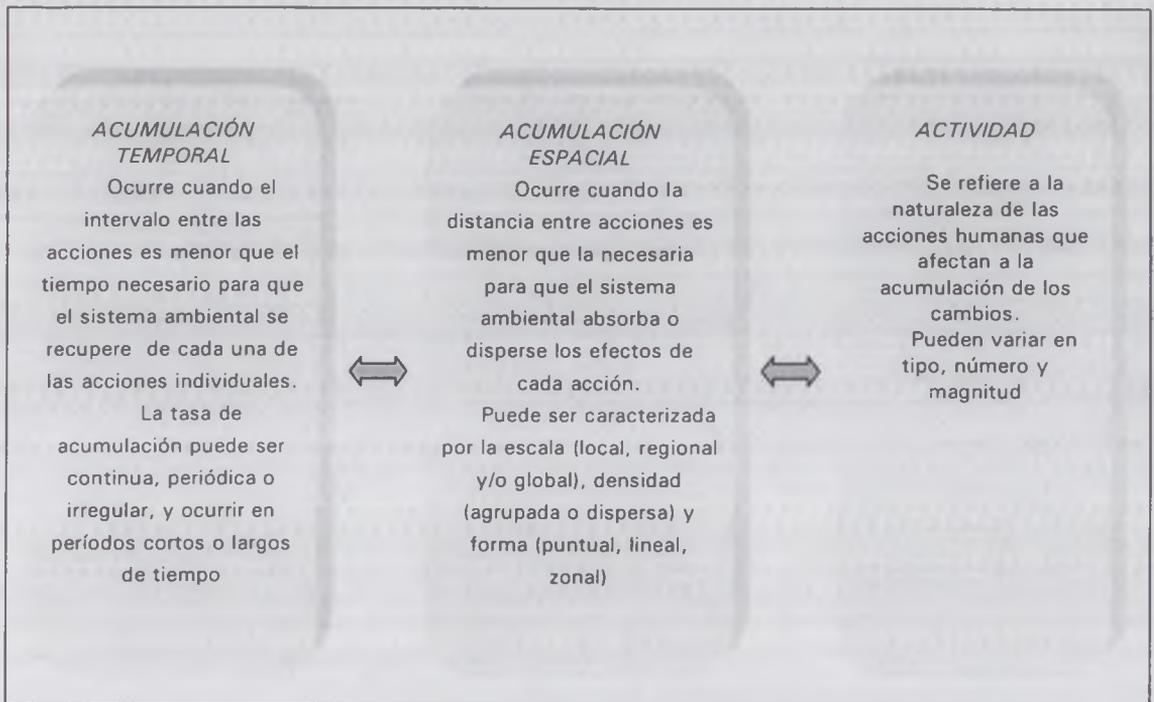


Figura II.4. Atributos fundamentales del CAA, adaptado de Spaling y Smit (1993).

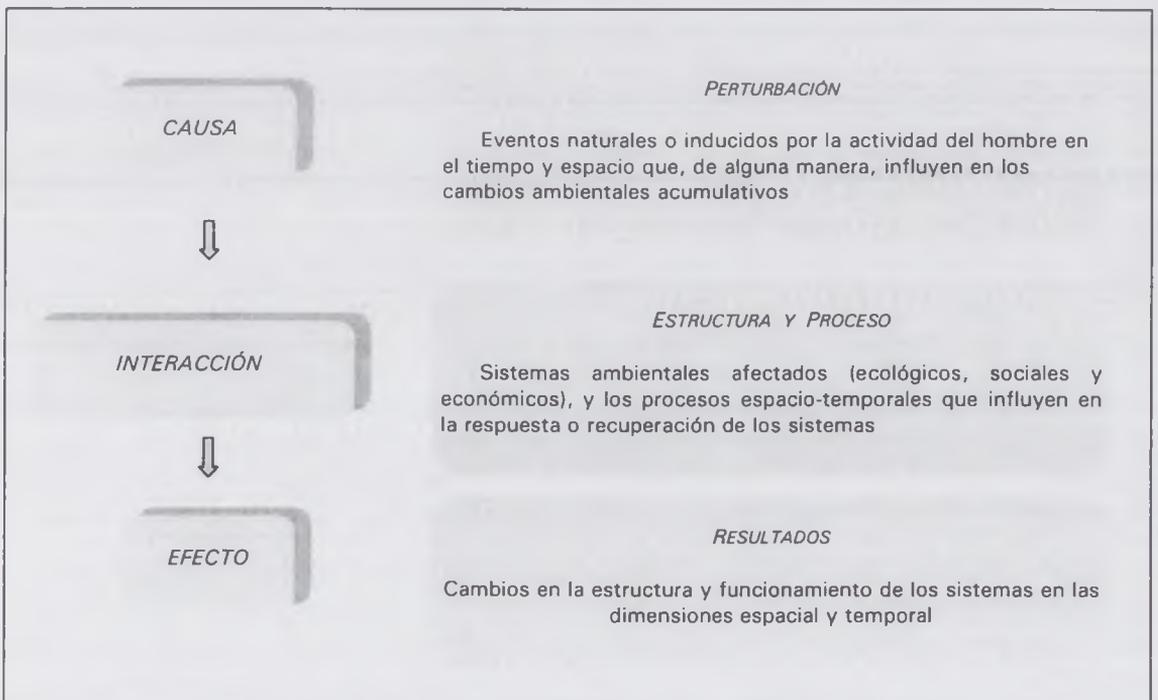


Figura II.5. Esquema conceptual del modelo de causa - efecto del CAA, adaptado de Spaling y Smit (1993).

En definitiva, lo que interesa es conocer tanto las fuentes como la dinámica o rutas de interacción y las consecuencias de los cambios ambientales acumulativos en los sistemas medioambientales (acercamiento científico y analítico), de tal manera que sean

incorporados al proceso de toma de decisión (acercamiento de planificación) sobre la viabilidad o no de implantación de proyectos de desarrollo (Spaling y Smit, 1993).

El objetivo que buscamos con esta discusión es situar la actividad agrícola como una de las principales acciones, dispersas y omnipresentes, con interrelaciones complejas que pueden causar cambios ambientales que son acumulados en el tiempo y espacio, dificultando la evaluación sistemática de la actividad.

Además, esos cambios han ocurrido de manera muy rápida con el incremento de aporte tecnológico e intensificación del proceso productivo agrícola. Se acumulan los cambios iniciales en el paisaje rural (retirada de la vegetación natural, fragmentación de hábitats, implantación de infraestructuras para acceso, drenaje, riego, almacenaje, establo, vivienda, etc.), con los cambios en las condiciones intrínsecas del ambiente, como consecuencia del desarrollo del proceso de producción (pérdida del conocimiento tradicional de la comunidad local, nuevos modos de vida, contaminación del suelo, agua y biota por agentes químicos y biológicos).

Centrémonos ahora un poco más en ese ambiente agrícola. Éste contiene en sí mismo la esencia de continuidad de la vida, tanto por su carácter de proveedor de alimentos y energía como de placer y contemplación. También ha sido reconocido como un recurso más que ha demostrado ser finito y no renovable, si se mantienen las tendencias de explotación observadas en las últimas décadas.

II.2.2. Principales impactos ambientales

Presentamos a continuación los impactos ambientales más importantes y, de alguna manera básicos, relacionados con la actividad agrícola.

II.2.2.1. Reducción de los biomas naturales

La rápida degradación de los biomas tropicales y la consecuente reducción de sus hábitats y de la biodiversidad a ellos asociada, con extinción de muchas especies todavía no totalmente conocidas, ha sido apuntado como el principal problema ambiental de la expansión de la frontera agrícola en el territorio brasileño (Bacha, 1995; Brasil, 1991; Brasil, 1998), al igual que en otros países de América Latina (Cairns et al., 2000), Asia (Saikh et al., 1998) y Africa (Spaeth, 1996).

El problema es bastante conocido en la Región Amazónica por el interés internacional en los bosques ecuatoriales, hecho ampliamente divulgado en los últimos años por los medios de comunicación y que ha desencadenado las discusiones sobre su

futuro y las consecuencias ambientales a mediano y largo plazo en escala global (Fearnside, 1996; Laurance et al., 2001; Peres, 2001).

Quizá por la presión internacional y movidos por la necesidad del seguimiento del avance de la deforestación y de los incendios (*queimadas*) en Brasil, están en ejecución conjunta, por las agencias espacial y ambiental brasileña (respectivamente el INPE - *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*- y el IBAMA -*Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis*-), dos grandes proyectos institucionales: el PRODES (Proyecto de Estimativa de la Deforestación Bruta en la Amazonía) y el PROARCO (Monitoreo del Riesgo de Incendios Forestales en Areas Críticas). En realidad, son grandes programas de seguimiento remoto de los procesos de degradación ambiental, utilizando imágenes de los satélites Landsat y NOAA para el monitoreo, y divulgando periódicamente los resultados por Internet (INPE, 2001a).

En lo que se refiere al avance de la roturación, presentamos en la Tabla II.4 los datos de la deforestación bruta para la región amazónica brasileña entre 1978 y 1999 (INPE, 2001c). La deforestación bruta, se refiere a los cambios de ocupación de bosques primarios por explotaciones agropecuarias, en parcelas mayores que 6,25 hectáreas. Estos cambios han sido identificados visualmente en las 229 escenas que cubren la totalidad de la Amazonía brasileña, cerca de 5 millones de km² (INPE, 2001a). De este territorio, según Brasil (1998) el área de fisionomía boscosa se extiende por cerca de 3,9 millones de km².

Hasta 1978, el área total deforestada era relativamente pequeña, si la comparamos con el valor observado en 1999, equivalente a algo más del territorio de Francia. Además, se notan las variaciones del ritmo de roturación, presentadas en la Tabla II.4 en valores absolutos y porcentuales, con relación al área boscosa remanente. La máxima tasa entre 1994/95, cuando un área equivalente al territorio de Bélgica o de Galicia fue deforestada.

Tabla II.4. Evolución de la deforestación en la Amazonía brasileña.

Extensión de la deforestación bruta (km ²)	Años							
	1978	1988	1990	1992	1994	1996	1998	1999
	152.200	377.500	415.200	440.186	469.978	517.069	551.782	569.269
Tasa media de deforestación bruta	Período							
	1989-90	1990-91	1991-92	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99
En km ² /año	13.810	11.130	13.786	29.059	18.161	13.227	17.383	17.487
En porcentaje/año*	0,37	0,30	0,37	0,81	0,51	0,37	0,48	0,48

Nota: * Referente al área boscosa remanente. Fuente: INPE (2001c).

De hecho, los datos históricos demuestran que, hasta la década de los 70, el proceso de deforestación no era intenso (Bacha, 1995). A partir de ahí, el ritmo de degradación se acentuó con los incentivos gubernamentales para la ocupación y

explotación de la Amazonía. Más tarde, se ha reducido y vuelto a incrementar en la década de los 90, reflejando directamente los momentos de recesión y crecimiento económico de Brasil.

Es importante destacar que esos datos son subestimados, una vez que las parcelas menores que 6,25 hectáreas no son evaluadas y tampoco las áreas de roturación selectiva o de manejo sostenible, que pueden representar valores significativos (Laurance et al., 2001; Peres, 2001). Tal hecho es reconocido por las agencias oficiales, justificando que esta es la limitación de la metodología utilizada, donde la resolución espacial de las imágenes impide mayor detalle. Actualmente se buscan maneras de ampliar el espectro de las evaluaciones.

El problema es bastante serio, ya que las evaluaciones indican que los pequeños productores (menores que 50 hectáreas) son responsables del 41% de la deforestación total en la región (INPE, 2001c). Existe una gran discusión sobre quién es el mayor responsable de la deforestación en Amazonía, los grandes o los pequeños propietarios (Fearnside, 1995; Walker et al., 2000). Tal conocimiento es fundamental para el delineamiento de las políticas de control ambiental y de incentivos fiscales para la producción sostenible del área; ya que la ganadería extensiva es el sistema predominante de explotación agraria en la Región Amazónica, y necesita de mayor aporte tecnológico para suplir la baja capacidad de carga ganadera los suelos (Walker et al., 2000).

Tratándose del territorio amazónico y de otras regiones tropicales, donde los suelos no presentan buenas condiciones de fertilidad natural para la producción agrícola, las parcelas abiertas son abandonadas en pocos años para barbecho o para su regeneración natural, y nuevas áreas son deforestadas. Tal práctica caracteriza el proceso conocido como "agricultura itinerante" (*slash-and-burn agriculture*) (Sanchez, 1996), desde mucho tiempo utilizada por pequeños productores, campesinos y pueblos indígenas, principalmente en las áreas tropicales (Fujisaka et al., 1996; Tinker et al., 1996).

De cualquier manera, las evaluaciones de INPE demuestran que las zonas críticas de deforestación están ubicadas tanto en algunos puntos a lo largo de los principales ríos y carreteras que cortan la región como en la faja de contacto de la Amazonía con otros biomas lindantes; principalmente con los *Cerrados*, que dominan la región central de Brasil. Tal configuración espacial, forma un inmenso arco al sur de la Región Amazónica, demarcando la frontera agrícola.

De ahí el nombre del otro gran proyecto mencionado, el PROARCO, que evalúa los grandes incendios en todo el territorio nacional, con mayor énfasis en la Región Amazónica. No obstante, en el proyecto está involucrada la casi totalidad de Sudamérica, conforme se aprecia en la Figura II.6.

Trátase de un reto asumido por INPE hace varios años, que culminó con el desarrollo de un sistema automático que procesa las imágenes AVHRR de los satélites NOAA 12 y 14 obtenidas diariamente (INPE, 2001b). Los resultados, integrados con datos de otros satélites meteorológicos, son divulgados por Internet, para los usuarios en una aplicación SIG, como mapas de alerta de riesgo y detalles de los focos de calor para los Estados y respectivos municipios brasileños.

En la parte superior de la Figura II.6, se puede visualizar la pantalla de salida gráfica ofrecida por INPE con los focos de calor del día anterior a la consulta. Presentamos, también, cuatro muestras de los valores acumulados mensuales para Brasil, que demuestran la mayor concentración de incendios en la faja limítrofe sur del Bosque Amazónico en el invierno (más seco). En agosto y septiembre del 2000, se registraron cerca de 49.000 focos de calor en todo el país.

Como vimos, los incendios asociados al avance de la frontera agrícola o al manejo y renovación de los pastizales y cultivos temporales (como la caña de azúcar) son muy frecuentes y se constituyen en gran preocupación, porque contribuyen con emisiones de gases de efecto invernadero (Guild et al., 1994; Lima et al., 1999), además de los problemas de contaminación atmosférica por gases y partículas (Kirchhoff et al., 1988; Laurance, 1998). Hay que destacar también, los frecuentes incendios de áreas naturales limítrofes con zonas agrícolas manejadas incorrectamente.

En una interesante estimación de la contribución de la quema de biomasa en el cultivo de la caña de azúcar y algodón sobre la emisión de gases de efecto invernadero, en el periodo del 1986 hasta 1996 en Brasil, Lima et al. (1999) afirman que las emisiones estimadas aumentaron una media de 14,5% de monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y óxidos de nitrógeno (NO_x) en el periodo. Los autores destacan que existe una tendencia de reducción progresiva a largo plazo de las emisiones relativas a la caña de azúcar, motivada por leyes ambientales más restrictivas para el sector.

Es importante destacar que los cultivos temporales y permanentes, además de los pastizales, son importantes "secuestradores" o fijadores del carbono en sus ciclos productivos y así, por lo menos en parte, existe el retorno de alguno de los gases mencionados (IPCC, 1996; Tinker et al., 1996). Sin embargo, en el caso de la deforestación, las emisiones son mucho mayores y tal retorno ocurre a medio y largo plazo con la regeneración de la vegetación boscosa, pero con estimaciones de importantes cantidades de fijación del CO₂ atmosférico (Fearnside, 1996; Fujisaka et al., 1998; Laurance, 1998; Victoria et al., 1991).

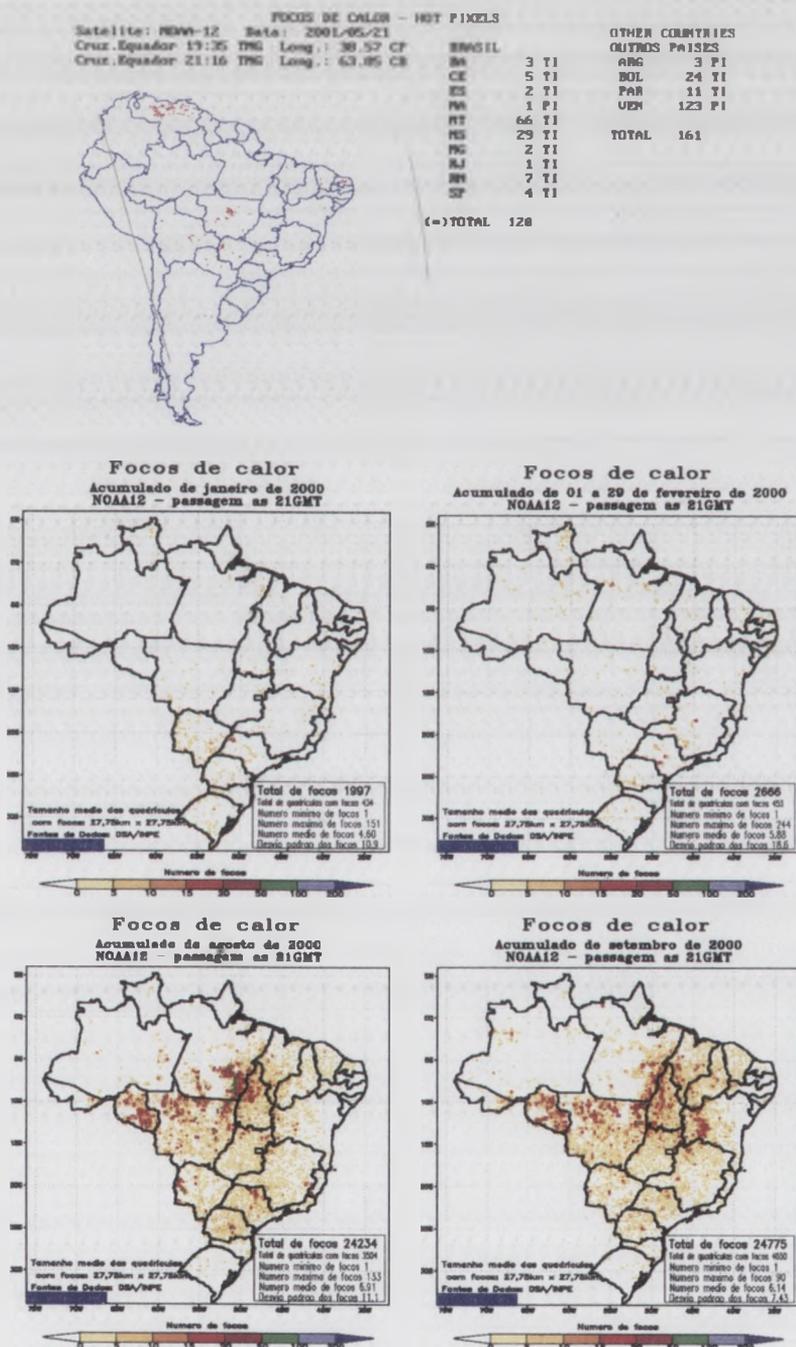


Figura II.6. Ejemplos de los mapas generados por el Proyecto PROARCO (INPE, 2001).

La complejidad de la cuestión se expresa en las discordancias internacionales actualmente observadas en las cumbres multilaterales de los gobiernos (Kyoto y Haya), que pretenden afrontar los problemas del cambio climático. Los intereses económicos de algunas naciones apuntan hacia el incumplimiento de las metas de emisiones de gases de efecto invernadero en los próximos años o hacia las tentativas de internacionalización de los bosques tropicales, con serias implicaciones en lo que se refiere a la soberanía de las naciones que los albergan (Fearnside, 2001; Viola, 2001).

Otros problemas asociados a los incendios, de carácter más local, son la reducción de la materia orgánica de los suelos y la rápida pérdida de los nutrientes, restantes en las cenizas, con las primeras lluvias. Hecho bastante común, pues la gran mayoría de los suelos son de carácter ácido, con pequeña capacidad de cambio catiónico o retención de nutrientes.

En el caso del Estado de *São Paulo*, por el elevado desarrollo de la ocupación del territorio, restan muy pocas áreas de vegetación natural, como se observa en la Figura II.7. Trátase de una estimación potencial de la cobertura original por bosques tropicales y subtropicales antes de la colonización, y su involución hasta el año 2000, cuando restan menos del 5% de las áreas remanentes. Éstas, están ubicadas principalmente en las serranías costeras (*Serra do Mar*) del Estado y presentan, hoy día, una fuerte presión antrópica por su explotación por una población pobre y carente de recursos; frente a ello, se constata un fuerte aparato institucional y comunitario para su preservación.

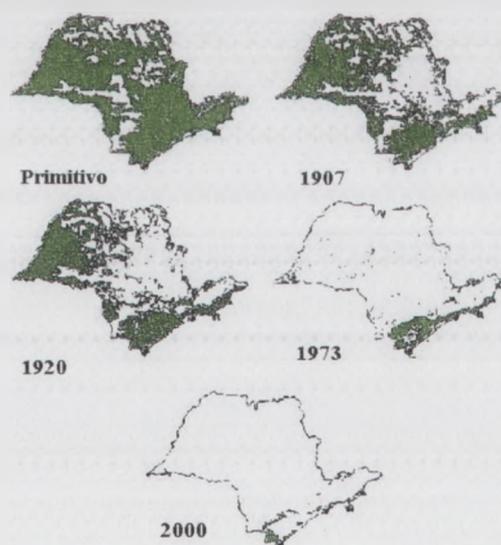


Figura II.7. Estimación de la evolución de la cobertura boscosa en el Estado de *São Paulo*. Fuente: Victor (1975).

II.2.2.2. Erosión hídrica de los suelos

En las áreas de mayor pendiente, la erosión hídrica de los suelos es un grave problema, causado principalmente por la deforestación e implantación de sistemas de cultivo poco adecuados a las condiciones topográficas y edafoclimáticas locales y regionales.

Desde hace por lo menos cuatro décadas, el problema es apuntado como de gran

magnitud en Brasil (Barros, 1961; Hardy, 1962). Sin embargo, solamente en los últimos 20 años pasó a ser la principal atención de los centros de investigación y desarrollo rural en Brasil; las pérdidas, tanto del suelo como de la productividad de los cultivos, además de la consecuente colmatación de los cauces y embalses, indicaban la necesidad de mayor control del proceso.

Estudios realizados en la zona de cultivos de trigo-soja con intensa mecanización, en la porción media de la Cuenca del Río Paraná confirman el problema, ya que las pérdidas de suelo por erosión hídrica fueron de 60 kg/Ha/año (Sorenson y Montoya, 1989), y las evaluaciones generales estiman que más del 40% de la Región Sur de Brasil presentaba niveles de erosión hídrica de moderados a graves a mediados de los años ochenta (Brasil, 1987).

A pesar de las dificultades metodológicas en las estimaciones de la magnitud real del problema en todo Brasil, y las discusiones de cuál es la pérdida de suelos considerada aceptable para nuestras condiciones (Silva et al., 2000), la investigación e implantación masiva de técnicas conservacionistas de labranza y manejo del suelo han representado una verdadera batalla para reducir el problema en las áreas más críticas. Éstas se ubican principalmente en la porción centro-sur de Brasil, donde la agricultura es mucho más intensiva que en otras regiones y las condiciones topográficas y climáticas favorecen los procesos erosivos con mayor intensidad.

Quizá, el estado brasileño que más ha invertido en el problema es *Paraná*, donde la conjugación de factores topográficos, edafoclimáticos y socioeconómicos, ha producido eventos erosivos de gran magnitud y consecuencias catastróficas (Paraná, 2000; Vieira, 1994). En *Paraná*, las agencias oficiales de investigación y desarrollo rural actúan de manera intensiva en el control de la erosión de los suelos desde la década de los 80, en el ámbito de cuencas hidrográficas. Pero, la complejidad de la cuestión apuntaba a la necesidad de planes integrados de gestión, involucrando necesariamente a otras instituciones y agencias de desarrollo.

Actualmente se está llevando a cabo un programa estatal de gestión de los recursos hídricos, elaborado en conjunto con la *Japan International Cooperation Agency* - JICA, donde las cuestiones relativas al control de la erosión de los suelos, en sus variadas formas y fuentes, ocupan lugar destacado, ya que uno de los principales problemas es el uso conflictivo de los recursos hídricos (Paraná, 2000). Las evaluaciones comprueban la gravedad del problema, de acuerdo a los datos del año 1994 y las metas a ser alcanzadas en el 2015, conforme se indica en la Tabla II.5.

Los resultados, estimados por la clásica Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (*USLE*) para las distintas cuencas hidrográficas, demuestran en cierta manera la variedad

de las condiciones de uso y ocupación de las tierras, que acaban por contribuir directamente en los eventos erosivos, hecho que es independiente del tamaño de la cuenca.

Las estimaciones para el futuro apuntan hacia una drástica reducción del problema (Paraná, 2000), tras la aplicación de medidas conservacionistas que incluyen tanto mejoras en los sistemas agrícolas (siembra directa y rotación de cultivos, por ejemplo), como obras en el sistema viario rural y la recomposición forestal.

Es importante destacar que, en otras regiones brasileñas, se están realizando importantes iniciativas para disminuir los problemas causados por la erosión de las tierras, especialmente en los Estados de *São Paulo*, *Rio Grande do Sul*, *Santa Catarina*, *Mato Grosso do Sul*, *Minas Gerais*, *Rio de Janeiro* y *Espirito Santo*.

Tabla II.5. Estimaciones de la pérdida de suelos en el Estado de *Paraná* (Brasil).

Cuencas Hidrográficas	Área drenada (1.000 Ha)	Escorrentía (T/Ha/año)	
		1994	2015
<i>Cinzas</i>	929,1	36	7
<i>Iguaçu</i>	5.531,8	28	8
<i>Itararé</i>	519,8	5	1
<i>Ivai</i>	3.587,9	32	8
<i>Piquiri</i>	2.470,8	27	7
<i>Pirapó</i>	500,6	19	6
<i>Ribeira</i>	912,9	30	8
<i>Tibagi</i>	2.463,5	24	7
Media	-	28	8

Fuente: Paraná (2000).

En *São Paulo*, debido a la extensión de la ocupación de las tierras por actividades agrarias, los problemas relacionados con el tema son generalizados y bastante graves, demandando igualmente grandes esfuerzos para afrontarlos (Bertoni et al., 1986). Los programas institucionales en el ámbito de cuencas hidrográficas y con incentivos fiscales para la implantación de sistemas de cultivo, conservacionistas están en marcha, buscando mejorar el actual cuadro de degradación observado en el medio rural de *São Paulo*. Las agencias estatales de investigación agraria y de desarrollo rural mantienen programas integrados de educación ambiental y programas frecuentes de demostración tecnológica son realizados, tanto en los campos experimentales como en las propiedades y fincas privadas (CATI, 2001; IAC, 2001).

Los programas institucionales de incentivo a la adopción de los sistemas de cultivos conservacionistas como la siembra directa y el laboreo mínimo, se han demostrado bastante eficientes en la reducción de la escorrentía y erosión, en muchos casos con excelentes resultados de productividad de los cultivos de granos (soja y maíz) en las zonas

más críticas de los Estados de *São Paulo*, *Paraná* y *Rio Grande do Sul* (Embrapa, 2001).

Tales iniciativas son fundamentales para disminuir el ritmo de erosión observados en los primeros años de la tecnificación rural de Brasil, pues los costes ambientales seguramente son significativos y, en muchos casos, sin recuperación.

Una estimación del coste ambiental, representado por la reducción del potencial de generación de energía en centrales hidroeléctricas de *São Paulo* como consecuencia de la colmatación, indica que las cifras alcanzan el orden de US\$ 253.000.000 (Marques, 1995). De las cinco plantas generadoras, cuatro presentaron el grado severo y una el grado medio de colmatación, lo que implica gastos significativos en obras de dragado del embalse y desgastes en las turbinas, sin contar con la reducción del volumen del agua embalsada.

II.2.2.3. Contaminación ambiental por agroquímicos tóxicos

En el calificativo de agroquímicos, están incluidas las más variadas formas de fertilizantes industrializados, los plaguicidas y sus variantes (insecticidas, herbicidas, honguicidas, entre otros), ampliamente utilizados en la agricultura moderna.

Los problemas relativos a esos productos son desde hace tiempo conocidos y están bien documentados en los países industrializados (Levitan et al., 1995; Pimentel, 1996), diferentemente de lo que ocurre en la mayoría de los países en vías de desarrollo (Rodrigues, 1998b). A pesar de ello, Rodrigues (1998) presenta una interesante recopilación de la literatura especializada referente al Cono Sur, afirmando que existe una considerable cantidad de datos sobre la región, a pesar de las dificultades metodológicas y económicas del seguimiento sistemático de esos químicos.

Indirectamente, de acuerdo con los datos del comercio internacional de los plaguicidas, presentados anteriormente en las Figuras II.1 y II.3, se puede inferir sobre la magnitud del problema, y los estudios lo confirman, por lo menos parcialmente.

La gran mayoría de los químicos encontrados en las aguas y sedimentos son los pesticidas organoclorados que, por presentar, elevada persistencia en el ambiente, siguen siendo medidos, a pesar de su prohibición en la década de los 70 por su elevada toxicidad para los seres vivos. Concentraciones, cercanas y, en ciertos casos, superiores a los umbrales permitidos por la Organización Mundial de la Salud, de los compuestos o derivados de BHC, DDT, Lindano y Aldrin, fueron detectadas tanto en el sedimento como en el agua superficial y subterránea, en el área de influencia de la Cuenca del Río Paraná/Plata. No obstante, el nivel de contaminación de las aguas por esos productos es menor que los documentados en otras regiones más desarrolladas en el hemisferio norte, además de ser ubicua (Rodrigues, 1998b).

El cuadro cambia cuando se analizan los datos de contaminación de los alimentos, pues, por la característica de bioacumulación de los pesticidas clorados, fueron encontrados elevados niveles en la leche y carne bovina o en pollos y huevos en Argentina, Brasil, Chile y Uruguay, según confirman varios estudios citados por Rodrigues (1998). Lo peor es que esos químicos siguen siendo registrados, en elevados grados, en productos hortofrutícolas, aunque están prohibidos, lo que sugiere su utilización de manera clandestina.

Otros pesticidas, de la llamada nueva generación, son en general menos tóxicos y cada vez más la potente industria de agroquímicos busca desarrollar productos sistémicos y de bajo espectro biológico de acción, que sean degradados en el ambiente sin comprometer a los demás organismos. No obstante, el uso inadecuado de los agroquímicos es posible detectarlo, a través de sus residuos o a través del propio producto mediante programas de monitoreo, aunque, en la mayoría de los casos, en grados por debajo de los límites fijados por la legislación (Rodrigues, 1998b).

El incremento de las importaciones desde los países desarrollados de rubros agrícolas, procesados o no, producidos por las naciones en vías de desarrollo y el paralelo avance de los sistemas de vigilancia sanitaria, han contribuido a la reducción de los casos de contaminación alimentaria por agroquímicos, por lo menos en los sistemas agrícolas intensivos destinados al mercado exterior.

Paralela a esta vigilancia, las agencias de control de la contaminación, en la mayoría de los países, han establecido programas rutinarios de seguimiento de algunos agroquímicos en los recursos hídricos superficiales y subterráneos, destino de la mayor parte de los residuos químicos más estables.

Además de los pesticidas, otro importante contaminante de las aguas es el nitrato (NH_4), subproducto de reacciones químicas de compuestos nitrogenados adicionados como abonos en el suelo. Éste es considerado como uno de los más extensamente distribuido de los contaminantes de la agricultura, llegando fácilmente a los acuíferos por su elevada solubilidad (Canter, 1986).

Sin embargo, problemas de contaminación ambiental por los agroquímicos siguen ocurriendo en muchos sistemas agrícolas en todo el planeta, hecho casi siempre consecuencia del inadecuado uso de los productos por personal poco preparado en el manejo y aplicación de esos químicos. Se observa que esta preocupación es generalizada, ya que la mayoría de los Programas Institucionales o de ONG (Organizaciones no Gubernamentales) de desarrollo rural, han establecido planes específicos para entrenamiento y concienciación de los productores rurales.

En un estudio de los costes indirectos del uso de los plaguicidas, Pimentel et al.

(1992) presentan resultados sorprendentes (Tabla II.6). Las inversiones calculadas en EE.UU. -a principios de los años 90- para el proceso de control de las plagas llegan a 4.000 millones \$USD, los cuales salvan unos 16.000 millones \$USD, desde el punto de vista de la protección de los cultivos.

No obstante, el cálculo de los costes ambientales y sociales indirectos del uso de los químicos sobrepasa a los 8.000 millones \$USD/año, de los cuales la mayor parte es consecuencia de la pérdida de aves, de la inducción de resistencia de las plagas a los químicos y a la contaminación de los acuíferos (Pimentel et al., 1992).

Tabla II.6. Estimación del coste ambiental indirecto anual del uso de agroquímicos en EE.UU.

Impactos principales	US\$ (millones/año)
Efectos en la salud humana	787
Envenenamiento de animales domésticos	30
Eliminación de enemigos naturales	520
Resistencia de las plagas a los químicos	1.400
Pérdida de abejas y en la polinización	320
Pérdida de cosechas	942
Pérdida en organismos acuáticos	24
Pérdida de aves	2.100
Contaminación de aguas subterráneas	1.800
Control gubernamental	200
Microorganismos e invertebrados del suelo	-
TOTAL	8.123

Fuente: Pimentel et al.(1992).

II.2.2.4. Principales cambios económicos y socioculturales

En este importante componente medioambiental se observa una muy variada forma de respuestas a la implantación y consecuente modernización de la agricultura.

En términos económicos e incluso sociales, los impactos son positivos, como lo demuestran de manera general los principales índices de desarrollo presentados en el ítem anterior, donde la población del Estado de *São Paulo* se coloca en una situación ventajosa frente a Brasil. Los datos son generalizados y no permiten análisis más profundos del tema, así que presentaremos algunos ejemplos y tendencias más importantes observados sobre los componentes económico y sociocultural.

En el pasado de Brasil y en la actual frontera agrícola, las nuevas colonizaciones del territorio significaron, de principio, una confrontación cultural con los indígenas, primeros dueños de las tierras y hoy día protegidos en gran parte en sus reservas (Ribeiro, 1996), muchas de ellas frecuentemente invadidas por extraños en busca de madera o caza, o instigando a los pueblos nativos en enfrentamientos absurdos.

Hay que destacar, el hecho de que la mayor de estas reservas es la de los

indígenas Yanomani, que ocupa una superficie de cerca de 90.000 Km² en plena Amazonía, en zona fronteriza con Venezuela, que también les ha garantizado casi la misma superficie como área de Patrimonio de la Humanidad. En Brasil se observa, hoy día, un gran debate sobre el tema, pues hay quien afirma que todo es una gran farsa, ya que intereses internacionales estarían por detrás de los “pobres” indígenas para después tomarles las tierras. El problema es que hablamos de un territorio equivalente a 3 veces el área de Bélgica, y eso solamente en territorio brasileño, y en una región bastante rica en recursos naturales.

En el caso de que la actividad agrícola esté plenamente establecida, los ejemplos clásicos son la drástica reducción de la oferta de empleo en el campo, la ruptura de la estructura familiar y cultural, la migración hacia centros urbanos y la consiguiente marginalización o difícil integración social en un medio carente de recursos y en la periferia de las ciudades.

Entre ambos extremos, existen relatos de los más variados tipos de problemas, asociados con la descapitalización de los pequeños productores y consecuente concentración de las tierras por las empresas agrícolas o grandes propietarios rurales, la pérdida de conocimientos autóctonos de la cultura popular y, muchas veces, su sustitución por un ideal de desarrollo con valores muy distintos a la realidad local.

En la Figura II.8, se pueden visualizar los elementos más importantes relacionados con los impactos económicos y sociales de proyectos de desarrollo en el ámbito regional (McDonald, 1990).

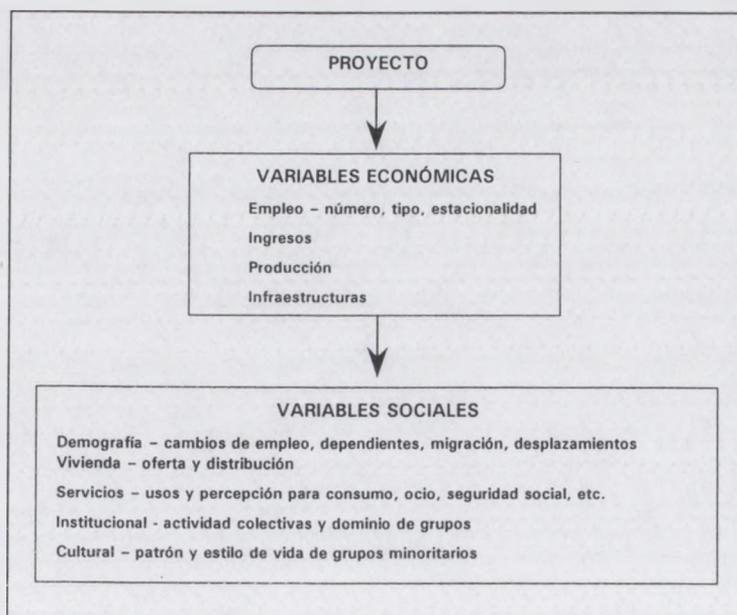


Figura II.8. Principales impactos económicos y sociales de actividades de desarrollo.
Fuente: Modificado a partir de McDonald (1990).

Por otra parte, también se observan los impactos positivos de la modernización de la agricultura y de su entorno, desde una perspectiva de desarrollo económico en los moldes de la más completa y posible oferta de infraestructuras y servicios a las comunidades. Existen muchos ejemplos en las medianas y pequeñas ciudades de la región rica del interior brasileño -el centro sur del país a grandes rasgos-, que presentan un patrón de vida similar a la de los países desarrollados. Las estadísticas de mejora de las condiciones generales de vida en *São Paulo*, comprueban que la riqueza está siendo invertida en el campo, con la consecuente acumulación de valor por parte de los que la detentan.

II.3. Uso sostenible de los agroecosistemas y herramientas de apoyo

En este tercer y último ítem del capítulo Antecedentes, presentamos básicamente, tres temas de extrema importancia. La sostenibilidad agrícola, la evaluación del territorio y las herramientas más importantes -Teledetección y SIG-, que aportan, versatilidad y calidad a la difícil labor de integrar datos e informaciones de distintas fuentes, formatos y escala; tan necesarios, como característicos, de los estudios como al que nos proponemos.

II.3.1. Sostenibilidad agrícola y sus indicadores

Inicialmente, presentamos algunas definiciones con el fin de centrar nuestro trabajo dentro del contexto general de la temática que estudiamos, la sostenibilidad agrícola y su evaluación.

II.3.1.1. Concepto de sostenibilidad agrícola

La intensificación del proceso productivo en el campo, mediante el desarrollo tecnológico y el inadecuado uso y gestión de las tierras, provocó y sigue provocando cambios significativos, tanto en la calidad del ambiente rural como en otros sistemas correlacionados, donde los hábitats naturales y los recursos hídricos superficiales y subterráneos son los más afectados. Este hecho puede comprometer el propio sistema productivo agrícola a lo largo del tiempo, conforme afirman varios autores (Altieri, 1995; Canter, 1986).

De ahí que surja con tanta fuerza el concepto de desarrollo sustentable o de sostenibilidad de las actividades humanas ante la creciente escasez de los recursos naturales no renovables o, incluso, de aquellos considerados renovables pero que, por la

intensidad de uso, el tiempo para su regeneración es insuficiente.

Mucho se ha escrito sobre desarrollo sostenible (Hill, 1987; Liverman et al., 1988; Lubchenco et al., 1991; Redclift, 1987; WCED, 1987), pero nos parece adecuado destacar algunos puntos fundamentales.

La definición general de desarrollo sostenible más ampliamente difundida, aunque un poco vaga, es la propuesta por la Comisión Bruntland (WCED, 1987), que resume en pocas palabras un concepto de fundamental importancia para la manutención de la Tierra como un espacio común, que hemos heredado y que debemos mantener en adecuadas condiciones para la continuidad y evolución de la vida. La definen como:

"... tipo de desarrollo que permite satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones en satisfacer las suyas".

De acuerdo con Niu et al. (1993), la dimensión temporal está claramente expuesta en esa definición, pero las implicaciones espaciales de la sostenibilidad no lo están. Así, proponen una ampliación para incorporarla a la real necesidad conceptual:

"... las necesidades de una región específica sin reducir la capacidad de otras regiones en reunir sus propias necesidades".

El concepto de sostenibilidad incluye todas las actividades humanas de manera integrada y de cierta forma indivisible. Nosotros la abordamos desde la perspectiva de la actividad agrícola, sin olvidar de sus interrelaciones con las demás actividades de desarrollo. Así que, desde este punto de vista, Altieri (1987) propone que:

"... sostenibilidad se refiere a la capacidad del agroecosistema en mantener la producción a través del tiempo, en función de las influencias ecológicas de largo periodo y de las presiones socioeconómicas".

Gliessman (1997), expande un poco más el concepto cuando define agricultura sostenible como:

"Un enfoque sistémico-holístico para la producción de alimentos y fibras, que mantenga en equilibrio la buena condición medioambiental, la equidad social y la viabilidad económica entre todos los sectores de las actividades humanas, incluyendo las relaciones internacionales e intergeneraciones. Inherente a esa definición, está la idea de que la sostenibilidad debe ser extendida tanto globalmente como también indefinidamente en el tiempo y para todos los seres vivos, incluyendo al hombre".

Esas definiciones dejan clara la necesidad de integración de las fuerzas económicas,

sociales y ecológicas, que son imperativas en cualquier sistema de explotación de los recursos naturales, configurándose en las tres dimensiones del concepto de sostenibilidad. Y es justamente este punto el que denota el reto que se presenta, pues ellas son aparentemente antagónicas en el modelo de desarrollo mundial adoptado, siendo necesaria la integración de distintas disciplinas para su adecuada aplicación y perfección (Flora, 1992).

Las tres dimensiones de la sostenibilidad pueden ser detalladas como sigue:

- ecológica - donde es imperativa la manutención en el tiempo y espacio de las características fundamentales del ecosistema bajo uso, en cuanto a los componentes e interacciones, de forma indefinida;
- económica - donde la rentabilidad debe ser razonable y estable en el tiempo, de tal forma que sea atractivo mantener la gestión adoptada; y
- social - la gestión y organización general del sistema son compatibles con los valores culturales y éticos del grupo involucrado y de la sociedad, hecho que implica su aceptación por esas comunidades y la continuidad del sistema a lo largo del tiempo.

En la Figura II.9 presentamos, de forma sencilla, el gran reto que se impone en la aplicación de la sostenibilidad como una filosofía o guión general, que debe ser alcanzado a través de la acción de múltiples ramas científicas (Nijkamp, 1990).

El modelo ha sido modificado a partir de una ilustración presentada por Nijkamp (1990), a la cual incluimos el tiempo, otra variable de fundamental importancia, conforme apunta Niu et al. (1993). El triángulo menor, representa exactamente la necesaria equidad entre los componentes conflictivos de la sostenibilidad: el social, económico y ecológico. En el centro del triángulo, el equilibrio aumenta y se tornan más claros los resultados de la integración de los componentes a lo largo del tiempo.

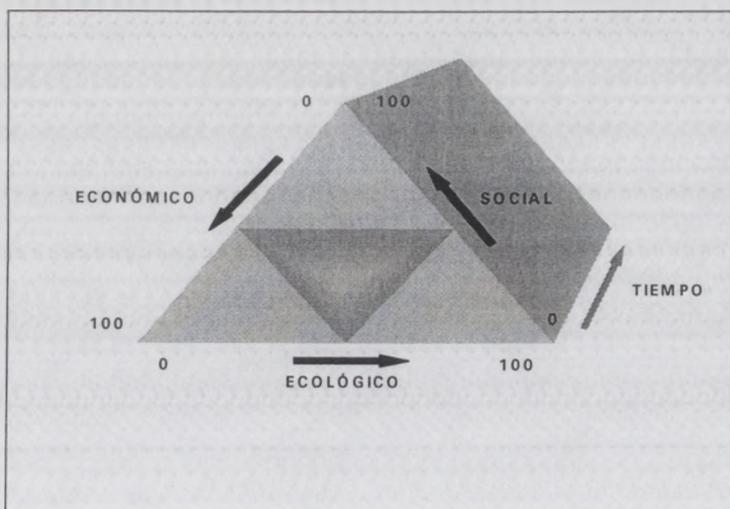


Figura II.9. Modelo ideal de desarrollo sostenible, donde se contraponen las tres dimensiones fundamentales a lo largo del tiempo. Fuente: Modificado a partir de Nijkamp (1990).

En términos prácticos, se puede decir que la agricultura sostenible abarca una multitud de variaciones, que se contraponen a la actividad productiva introducida con la llamada "revolución verde", o el modelo de producción intensivo de monocultivos, lo cual es considerado convencional por la extensión territorial que actualmente ocupa (Altieri, 1987; Gliessman, 1997).

Bajo el gran paraguas de la agricultura sostenible encontramos, por ejemplo, la agricultura ecológica, orgánica, regenerativa, biodinámica y la agricultura de conservación, entre otras, que enfatizan determinadas prácticas o la gestión natural del proceso productivo, buscando la integración de los conceptos ecológicos, económicos y sociales.

Muchas de esas prácticas son totalmente contrarias al uso de productos químicos sintéticos como insumos del proceso productivo, y solamente admiten la utilización de abonos y plaguicidas naturales. Además, parten del principio de que la diversidad productiva es la principal aliada de la sostenibilidad, variable esa aplicada tanto en el tiempo como en el espacio (Hill, 1987). Por tanto, echan mano de un sin número de técnicas como la rotación de cultivos, la mezcla de plantas en el mismo sitio para aprovechar mejor la disponibilidad de nutrientes, o de los mecanismos de mutualismo y alelopatía ampliamente presente en las asociaciones de cultivos (Altieri, 1987; Hill, 1990).

En realidad, la mayoría de estas prácticas de gestión son más aplicables en áreas agrícolas de dimensiones reducidas, aunque cada vez más, ciertas técnicas como el cultivo mínimo, control biológico de plagas y enfermedades, se están implantando con éxito en grandes propiedades empresariales (Campanhola et al., 1995; EAP, 1989; Fernandes, 1997). Pero, sería poco realista imaginar que la actividad agrícola mundial dejase de utilizar abonos y plaguicidas sintéticos, pasando a depender únicamente de los residuos animales y

vegetales para reponer la fertilidad de los suelos, o de los mecanismos de control biológico y de los productos naturales para el control de plagas y enfermedades (Buol, 1995).

No obstante, por influencia directa del "mercado verde" en nítida ascensión, se observa una ligera tendencia de conversión de muchas fincas tradicionales hacia una agricultura más sustentable (Ikerd, 1993; MacRae et al., 1990), o también la completa conversión de la propiedad para fines turísticos o de ocio.

Así, el concepto actual de agricultura sostenible no es radicalmente contrario al uso de productos sintéticos como insumos productivos, mas sí, en contra del uso excesivo, inadecuado e indiscriminado de éstos, ya que la rentabilidad económica tiene un papel fundamental en la existencia humana.

En definitiva, la agricultura sostenible es una filosofía a ser seguida, donde la buena y consciente práctica agrícola son imperativas. Los recursos naturales deben ser considerados como un patrimonio más o como insumos fundamentales al proceso productivo, donde el conocimiento interactivo debe reemplazar al uso abusivo de insumos químicos.

Como apuntan varios autores (Altieri, 1987; Hill, 1991; Lal, 1994; Neher, 1992; Zinck y Farshad, 1995), no existe una metodología o guión práctico a ser seguido universalmente para alcanzar la sostenibilidad. Cada sitio tiene características físicas, sociales, políticas, económicas y ecológicas propias, que dictarán los parámetros básicos a ser establecidos de cara al desarrollo sostenible de la agricultura o, en definitiva, de cualquiera actividad de explotación.

Sin embargo, existe la necesidad creciente de identificar elementos del proceso que puedan ser cuantificados y, así, transformados en indicadores de sostenibilidad de los sistemas evaluados. Ítem que a continuación presentamos.

II.3.1.2. Indicadores de sostenibilidad agrícola

La búsqueda de indicadores para la agricultura sostenible es intensa, como apuntan la cantidad y variedad de publicaciones de las cuales destacamos los trabajos de Neher (1992), Smyth y Dumanski (1993), Lal (1994), Zinck y Farshad (1995), Miller y Wali (1995).

Iniciativas han sido propuestas en los últimos años para apoyar a los agricultores con incentivos y ayudas oficiales, como por ejemplo los programas dirigidos a regiones de agricultura ecológica con primas financiadas por el programa FEOGA (Fondo Europeo de Orientación y de Garantía Agrícola).

Organizaciones supragubernamentales, como la OCDE, están buscando establecer

“indicadores agroambientales”, que sean comprensibles, mensurables y relevantes para el diseño de políticas más adecuadas con las nuevas tendencias de desarrollo sostenible, incluso con la normalización de metodología para la especificación y monitoreo de esos indicadores (OECD, 1997; Steenblik et al., 1997).

En la misma línea, podemos citar el PROCISUR (Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario del Cono Sur), vinculado al IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura), que destaca la prioridad de implantación de proyectos de cooperación internacional de investigación que seleccionen indicadores de sostenibilidad de agroecosistemas, para auxiliar las políticas de desarrollo del Cono Sur (Puignau y Buschinelli, 1994; Viglizzo et al., 1995).

Un programa de gran magnitud, EMAP (*Environmental Monitoring and Assessment Program*), fue iniciado en los Estados Unidos de América en 1989, por iniciativa conjunta de la EPA (Agencia de Protección Ambiental), USDA (Departamento de Agricultura) y la Universidad de Carolina del Norte (Neher, 1992). Como objetivo general, el programa presenta la necesidad de:

“... Seguir las condiciones de los recursos naturales del país, para evaluar los éxitos acumulados de las políticas y programas de desarrollo e identificar problemas emergentes antes que se tornen generalizados o irreversibles” (EPA, 2001).

La estrategia del programa, según EPA (2001), está fuertemente involucrada en tres áreas prioritarias de investigación: uso de indicadores ecológicos, diseño de procedimientos de seguimiento, integración y síntesis de los datos medioambientales por procedimientos estadísticos. En los sistemas agrícolas, el objetivo es monitorear la sostenibilidad de agroecosistemas por largo periodo de tiempo en distintas escalas: local, regional y nacional (Neher, 1992).

Actualmente, se está poniendo en marcha en Brasil un programa de investigación de gran escala, coordinado por Embrapa, con el objetivo de evaluar los impactos ambientales de los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico de la actividad agraria brasileña (Rodrigues, 1998a). Además de las técnicas tradicionales de EIA se añaden componentes importantes del Planeamiento Estratégico, como la evaluación e inserción de los objetivos de desarrollo macroeconómicos en el contexto regional y local de las propuestas de elaboración de proyectos de investigación y generación tecnológica para la actividad agraria.

En paralelo a estas iniciativas, se observa un gran número de trabajos que intentan definir concretamente los indicadores de sostenibilidad.

Smyth y Dumanski (1993) afirman que:

“... ciertos atributos son especialmente valiosos para la mensuración de la sostenibilidad, pues el estado o condición de ellos es altamente relevante para el desempeño del sistema, y la inestabilidad de esos atributos frente a conocidas presiones medioambientales es en gran medida previsible. Tales atributos son llamados indicadores de sostenibilidad”.

En principio, cualquier variable de las tres dimensiones de la sostenibilidad puede ser utilizada como indicador pero, en realidad, debe cumplir ciertos requisitos que la capaciten para tal objetivo (Liverman et al., 1988; Zinck y Farshad, 1995). Esos autores afirman que un indicador ideal debe presentar cinco características principales, conforme se presenta a continuación:

- libre de tendencias geográfica y cultural - carácter difícil de obtenerse, ya que valores o criterios de juicio de la calidad de los suelos o de las prácticas de manejo adoptadas por los agricultores siempre están definidas por valores etnocéntricos y ambientales;
- sensible a cambios - el carácter de susceptibilidad a cambios temporales, variabilidad espacial y distribución social es un criterio de diagnóstico fundamental. Los indicadores deben ayudar a detectar tasas de cambio en el tiempo e identificar las tendencias de gestión que conduzcan a una situación de mayor sostenibilidad. El problema es que muchos indicadores tienen limitada aplicación por la falta de series temporales adecuadas o por la dificultad de obtenerlos en intervalos de tiempo factibles; igualmente tienen limitada aplicación a escala local por la falta de datos en el ámbito inframunicipal y, consiguientemente, por la falta de variabilidad espacial;
- atender a valores de patrones y umbrales conocidos - a pesar de que el límite entre sistemas sostenibles e insostenibles es confuso, un buen indicador debe demostrar que un determinado sistema de gestión puede estar próximo al límite de irreversibilidad. Los valores de umbrales son necesarios para determinar grados de sostenibilidad de los sistemas frente a distintas formas de gestión;
- facilidad de recogida de datos - factor de gran importancia, ya que la disponibilidad y calidad de los datos influyen directamente en la selección de indicadores. La escala y naturaleza de los datos disponibles no siempre están en sintonía con los propósitos de la evaluación; además, el concepto dinámico de sostenibilidad implica procedimientos de monitoreo continuo de la evolución del sistema; y
- versatilidad de transformación y comunicación de los datos - valores brutos deben ser

transformados en parámetros más elaborados como tasas de cambio, índices de riesgo o vulnerabilidad para la comparación con los valores iniciales del sistema, establecer su fragilidad bajo determinado manejo y conocer la variabilidad espacial de la calidad de las tierras. Aunque sean más eficientes para evaluar la sostenibilidad que los indicadores sencillos son de difícil establecimiento, porque en la ponderación y escalonamiento de los varios componentes es necesaria la combinación del juicio de expertos y técnicas de estadística multivariada. Además, los indicadores deben ser de fácil comprensión y comunicación entre los distintos actores involucrados tanto en la evaluación como en la comunicación de los resultados.

A pesar de la complejidad intrínseca de esos estudios, motivada por la multiplicidad de factores en juego, la selección de indicadores debe, además, estar apoyada en un enfoque sistémico y dirigida a los dos componentes fundamentales del agroecosistema anteriormente mencionados, su estructura y funcionamiento (Ikerd, 1993; Neher, 1992).

En cualquier escala, las tres dimensiones de la sostenibilidad agrícola (calidad ambiental, productividad económica y viabilidad social), deben ser confrontadas con al menos cuatro importantes procesos ecológicos: ciclos de nutrientes, hidrología, dinámica de las poblaciones y flujo energético (Neher, 1992).

Otros autores (Gameda y Dumanski, 1995; Smyth y Dumanski, 1993; Smyth y Dumanski, 1995), afirman que el procedimiento de evaluación de la sostenibilidad debe necesariamente jugar con el grado de incertidumbre y falta de precisión intrínsecas del concepto de sustentabilidad, lo que, sin duda, agrega considerables problemas a la hora de evaluar y comparar sistemas de producción en distintas regiones, por las especificidades locales.

En resumen, los estudios de evaluación de la sostenibilidad agrícola pueden ser realizados de varias maneras, pero siempre referidos a una escala definida de tiempo y espacio, sea a través de los indicadores y sus umbrales críticos (Gameda y Dumanski, 1995), por medio de índices o coeficientes para suelo y agua (Lal, 1994), por la utilización de modelos de simulación de la productividad (Hennebert et al., 1996), o por medio de sistemas de aproximación más generales de desarrollo sostenible (Niu et al., 1993). Otros trabajos, parten de la comparación de los usos potenciales y reales en zonas definidas, identificando diferentes niveles de idoneidad para componer una escala de sostenibilidad (Huisling et al., 1994).

Neher (1992) presenta varios ejemplos de indicadores relacionados con la calidad medioambiental, productividad y aspectos socioeconómicos, resumidos a continuación.

a) Indicadores ecológicos y de calidad medioambiental:

- ciclo de nutrientes - tasa de entrada/salida de nitrógeno y fósforo;
- ciclo del agua, disponibilidad del agua con adecuada calidad y cantidad sin comprometer el recurso;
- calidad del suelo - balance del proceso de degradación (tasa de erosión, pérdida de nutrientes, porcentaje de materia orgánica), diversidad de la comunidad micro y mesobiológica del suelo, dinámica de poblaciones de insectos, patógenos y malezas, tasas de aplicación de plaguicidas;
- complejidad y biodiversidad del sistema - diversidad y calidad de hábitats, índices de diversidad y fragmentación del paisaje, índices de biodiversidad y dinámica de la población de huéspedes, plagas, depredadores.

b) Indicadores de productividad:

- índices de mecanización e intensidad de laboreo;
- flujo energético - índice de eficiencia energética global, balance energético, productividad primaria neta, balances calórico y proteico netos, balance monetario neto.

c) Indicadores socioeconómicos:

- calidad de vida del propietario, trabajadores y comunidad rural - índices de satisfacción personal y colectiva, tenencia de la tierra, edad y tiempo de dedicación a las actividades de labor y ocio, accesibilidad a equipos y áreas de ocio;
- rentabilidad - balance económico global de la propiedad, accesibilidad a incentivos fiscales, tasa de endeudamiento.

Se puede observar que muchos de los indicadores se superponen y son de difícil aplicación, además de que la clasificación no es muy clara. Hecho que ya comentamos anteriormente y que se refiere al grado de incertidumbre inherente a la sostenibilidad.

Gameda y Dumanski (1995), presentan varios indicadores físicos, biológicos, sociales y económicos para el análisis de sostenibilidad global del sistema de manejo de tierras, utilizando la metodología FESLM (*An International Framework for Evaluating Sustainable Land Management*). El método fue desarrollado teniendo como base la metodología de la FAO y presenta, como principal característica, la consideración de las preferencias de los productores y de las condiciones agroecológicas locales; exigiendo, por tanto, datos de los manejos al nivel de las explotaciones. Tal característica, garantiza detalle de estudio a escalas mayores de 1:10.000 y luego, mayor precisión en las evaluaciones (Gameda y Dumanski, 1995). Por otra parte, esos datos son de difícil obtención y posterior manipulación y armonización de los objetivos de los grupos sociales,

cuando se afrontan problemas de conflictos de uso de los recursos, como del agua, por ejemplo

Presentamos, en la Tabla II.7, algunos de los indicadores utilizados por Gameda y Dumanski (1995). De acuerdo con los autores, la evaluación es procesada con una cantidad mínima de datos de campo, complementados con otros datos locales y regionales. Además, concluyen que el método es muy útil para la selección e identificación de factores e indicadores claves que ponen en riesgo la sostenibilidad del sistema como un todo. Todavía, afirman que son necesarios refinamientos en el proceso de identificación de indicadores estratégicos y en el establecimiento de sus umbrales, para que sean más confiables a la hora de reconocer dónde falla la sostenibilidad en la gestión de las tierras.

Pero no siempre los resultados son favorables cuando muchos factores influyen en el diseño, implantación y monitoreo de los indicadores de sostenibilidad agrícola. Variables como la heterogeneidad espacial, el tiempo de monitoreo, ausencia de datos fiables y problemas de orden económico, político y social, impiden la continuidad de esas iniciativas, principalmente en los países en desarrollo, donde la falta de continuidad en las políticas de uso y ocupación de las tierras es una característica común (Zinck y Farshad, 1995).

Tabla II.7. Algunos indicadores para la gestión sostenible de las tierras.

Indicadores		Características Indicadas
Físicos	Porcentaje de tierra en barbecho	Potencial para erosión
	Método de barbecho	Susceptibilidad a la erosión
	Humedad del suelo en la siembra	Potencial de producción
	Porcentaje y tendencia de degradación	Potencial para conservación del suelo
Biológicos	Cambios de uso de fertilizantes y plaguicidas	Nivel de nutrientes y plagas, riesgo de contaminación
	Duración y diversidad de rotación	Potencial de fertilidad natural y control de plagas
	Tendencias en la productividad de los cultivos	Estabilidad de producción
Económicos	Tendencias del coste de producción	Cambios en los costes relativos y en los retornos
	Número y tipos de programas gubernamentales	Cantidad de soporte requerido para producción
Sociales	Distancia de los servicios	Accesibilidad de la comunidad
	Percepción para aceptación de prácticas conservacionistas	Facilidad de adopción de las prácticas conservacionistas

Fuente: Modificado a partir de Gameda y Dumanski (1995).

II.3.1.3. Gestión sostenible de las tierras

Nos referimos al término gestión más que manejo, por comprender que el primero es mucho más amplio y flexible, no abordando solamente los aspectos físicos de los

suelos, cultivos o animales del sistema productivo, como normalmente se asocia al concepto de manejo agrícola.

Smyth y Dumanski (1993), con los auspicios de la FAO e IBSRAN (*International Board for Soil Research and Management*) entre otras organizaciones, proponen un esquema general para la evaluación de la gestión sostenible de las tierras, denominado FESLM.

Es considerado como una extensión del Esquema de la FAO, excepto que las evaluaciones tienen como base indicadores de desempeño o rendimientos en el tiempo, y no la adecuación de las tierras. Incorpora, además, los avances obtenidos en la última década en cuanto a los criterios para una evaluación sostenible de la actividad agrícola, a través del uso de indicadores y sus umbrales críticos, medidos directamente en el campo y en los sistemas de producción, además de informaciones más generales de las políticas gubernamentales (Smyth y Dumanski, 1993; Smyth y Dumanski, 1995).

Gestión sostenible de las tierras es definida, en el contexto del FESLM según Dumanski y Smyth (1993) citados por Smyth y Dumanski (1995), como sigue:

“Gestión sostenible de las tierras combina tecnología, políticas y actividades dirigidas a integración de principios socioeconómicos con preocupación medioambiental, de tal manera que simultáneamente:

- *mantenga o mejore la producción/servicios (**Productividad**);*
- *reduzca el margen de riesgos (**Seguridad**);*
- *proteja la cualidad/potencial de los recursos naturales y prevenga la degradación del suelo y del agua (**Protección**);*
- *sea económicamente viable (**Viabilidad**); y*
- *sea socialmente aceptable (**Aceptabilidad**)”.*

Esos son los cinco pilares de la metodología de FESLM, y todos deben ser cumplidos simultáneamente para que el sistema sea considerado sostenible.

Dos aspectos de fundamental importancia en la evaluación de la sostenibilidad son tiempo y espacio, ya que imaginar un sistema sostenible indefinidamente y/o que determinada gestión sostenible de tierras sea aplicable universalmente, son totalmente irreales (Gameda y Dumanski, 1995; Lal, 1994; Smyth y Dumanski, 1993; Smyth y Dumanski, 1995; Zinck y Farshad, 1995).

Lal (1994) propone escalas temporales variables para evaluar la sostenibilidad de diferentes aspectos, conforme se presenta en la Tabla II.8. Las distintas dimensiones de la sostenibilidad -económica, ecológica y social- poseen necesariamente diferentes escalas

temporales para evaluación y están sujetas a períodos crecientes de magnitud del tiempo. Hecho que, sin duda, agrega dificultades en la conducción e interpretación de los resultados (Lal, 1994).

Tabla II.8. Distintas dimensiones de sostenibilidad con respectivas escalas de tiempo necesarias para evaluación de la sostenibilidad.

Aspectos	Escala de tiempo
Evaluación económica y rentabilidad	Una o varias estaciones
Tendencias de rendimiento	5 a 20 años
Propiedades del suelo	Una a varias décadas
Características hidrológicas	Una a varias décadas
Parámetros ecológicos	Varias décadas a siglos
Parámetros sociales y culturales	Pocas a varias generaciones

Fuente: Modificado a partir de Lal (1994).

Smyth y Dumanski (1993) proponen una visión un poco distinta, al presentar una clasificación con base en los límites de confianza del tiempo que un sistema debe reunir simultáneamente, los cinco pilares de la sostenibilidad. En la Tabla II.9 sintetizamos las clases de sostenibilidad presentadas por los autores.

Tabla II.9. Clasificación de los sistemas de acuerdo con el tiempo que reúnen simultáneamente las condiciones de sostenibilidad.

Clases de sistemas		Límites de confianza
Sostenible	Largo plazo	25 años o más
	Medio Término	15 a 25 años
	Corto plazo	7 a 15 años
No sostenible	Ligeramente	5 - 7 años
	Medianamente	Menos de 5 años
	Altamente	Menos de 2 años

Fuente: Modificado a partir de Smyth y Dumanski (1993).

Los límites de confianza de tiempo, intentan ilustrar los periodos de estabilidad del sistema para que sea sostenible. El límite de 7 años que separa sistemas sostenibles de no sostenibles es arbitrario (Smyth y Dumanski, 1993), y puede ser ajustado según las condiciones locales. Pero los autores insisten que si uno de los cinco pilares no se cumple, el sistema es considerado insostenible.

El otro aspecto de gran importancia en la evaluación de sostenibilidad se refiere al componente espacial, tanto en la escala del análisis (local o global) como en la ubicación

geográfica del sistema.

El esquema de evaluación de la gestión sostenible de las tierras de Smyth y Dumanski (1993), por su carácter general, es considerado neutro en escala y puede ser utilizado tanto en una finca como en grandes extensiones del territorio, cambiando por supuesto, el nivel de detalle de los atributos a ser evaluados (Smyth y Dumanski, 1995).

Lal (1994), propone una jerarquía de componentes y respectivas escalas de los sistemas para evaluación, conforme se presenta a continuación:

- biodiversidad → gene;
- fotosíntesis → planta;
- rendimiento → cultivos;
- producción → sistema de cultivo;
- rentabilidad → sistema agrícola;
- cualidad de las aguas superficiales y del acuífero → cuenca hidrográfica o unidad del paisaje;
- balance hidrológico y microclimático → ecoregional o bioma;
- producto nacional bruto, productividad per cápita → nacional o unidad política;
- cambio climático en meso o macro-escala → regional; y
- concentración de gases en la atmósfera, temperatura de los océanos, etc. → global.

En cuanto a la escala espacial, Lal (1994) presenta la siguiente jerarquía para evaluación:

- experimentación en pequeños lotes → < 10 m²;
- experimentación en campo → 10 a 100 m²;
- unidades de paisaje → 0.1 a 100 ha.;
- microcuencas → 1 a 100 ha.; y
- cuencas hidrográficas → centenares de km².

Para gestionar los distintos y complejos sistemas de producción agrícola, donde variables económicas, sociales y ecológicas comparten protagonismo en la sostenibilidad, cada vez más son necesarios parámetros cuantitativos que demuestren claramente el actual y futuro estado de los agroecosistemas.

Se puede decir que los trabajos de evaluación de la sostenibilidad de agroecosistemas, tienen en su esencia, mucho que ver con la evaluación de tierras, así que nos parece justificable abordar algunos puntos del tema.

II.3.2. Evaluación de tierras

II.3.2.1. Introducción

La idea de que cada territorio dispone de ciertas condiciones generales que le capacita a determinados tipos de uso y ocupación humana siempre estuvo presente en nuestra historia. La ubicación de las ciudades cercanas a los ríos y sus ricas tierras es quizá, el ejemplo más importante.

Así que, desde el punto de vista de ordenación del uso agrícola del territorio, desde hace mucho tiempo se procura destinar, de manera racional, la actividad acorde con la naturaleza del ambiente. Los métodos de evaluación han evolucionado bastante y tienen distintas perspectivas y enfoques, dependiendo de la disponibilidad de datos e informaciones del territorio y de los objetivos de la evaluación. Pero siempre con el mismo objetivo, promover el menor daño ambiental y garantizar la justa productividad de los agroecosistemas.

En términos generales, ésta es la teoría; la práctica materialízase en un gran número de metodologías de evaluación de tierras, descritas en varios trabajos que discuten sus ventajas y problemas en cuanto a la aplicación práctica en áreas geográficas específicas (Davidson, 1992; Van Diepen et al., 1991), así que no vamos a detenernos mucho en el tema. No obstante, nos parecen oportunas algunas consideraciones en cuanto a la efectividad con que esas metodologías pueden contribuir, en el contexto espacial y temporal, a la sostenibilidad de los agroecosistemas.

II.3.2.2. Principales tipos de metodologías de evaluación

Como vimos anteriormente, es fundamental el desarrollo y aplicación de métodos de apoyo al planeamiento que permitan evaluar las mejores opciones de uso de los recursos naturales, con la menor degradación medioambiental posible y satisfacción de las comunidades involucradas.

Beek (1981a) afirma que de las primeras iniciativas de evaluación de tierras propuestas en distintos países, la más conocida es el Sistema de Clasificación de Capacidad de Uso de las Tierras del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura (*USDA-SCS*) (Klingebiel y Montgomery, 1961), que evolucionó a partir de procedimientos pioneros en conservación del suelo en los años 30.

El sistema de capacidad de uso, fuertemente centrado en factores negativos permanentes o semipermanentes que limitan el uso agrícola del suelo (donde la erosión es el principal factor), presenta ciertos problemas metodológicos que limitan su aplicación

generalizada en otras áreas geográficas que no presentan los niveles de desarrollo tecnológico de los EE.UU.

Las críticas están centradas principalmente en su carácter cualitativo, generalista y en la desconsideración de otros parámetros como la productividad potencial o factores socioeconómicos en el análisis (Beek, 1981a; Davidson, 1992; Mireles, 1993; Ramalho Filho y Beek, 1995; Rossiter, 2001).

Pero, eso no quita su importancia histórica y su papel innovador como instrumento de planeamiento territorial, según afirma Beek(1981a). Otro aspecto, es la relativa simplicidad del procedimiento de clasificación, lo que por otra parte ha favorecido su éxito y adaptación en muchos países (Beek, 1981a; Davidson, 1992; Ramalho Filho y Pereira, 1996).

Según Ramalho Filho y Pereira (1996), una de esas adaptaciones fue conducida en Brasil en los años 50 (Lepsch, 1983), y tuvo gran éxito por la escasez de levantamientos detallados y por su carácter de planeamiento de la conservación de los suelos. El método presentado por Lepsch (1983), nos interesa directamente pues utilizamos un trabajo desarrollado en Guaíra que sigue esa metodología (IPT, 1995).

Pero, debido a los problemas operacionales en la aplicación del método de capacidad de uso en regiones tropicales específicas, donde coexisten diferentes sistemas de producción con variados niveles tecnológicos, otras modificaciones del método fueron desarrolladas. De entre esas, Beek (1981a) afirma que las conducidas en Irán (Mahler, 1970; citado por FAO, 1976) y Brasil (Bennema et al., 1964), fueron las principales referencias para que la FAO formulara el sistema más ampliamente conocido y utilizado, el Esquema para la Evaluación de Tierras (FAO, 1976).

La importancia del esquema de la FAO, se explica por la tentativa de integración de variables socioeconómicas (por lo menos en los postulados), por la incorporación de distintos niveles tecnológicos, además de la posibilidad de una evaluación cuali-cuantitativa de la aptitud actual y potencial de las tierras (Beek, 1981a; Beek, 1981b; Davidson, 1992).

El esquema de la FAO no es propiamente una metodología, mas sí un armazón o guión general, con la tentativa de estandarización de la terminología internacional y claro manifiesto de principios y conceptos científicos. Sirve fundamentalmente como un modelo flexible, para que investigadores nacionales puedan elaborar métodos detallados, en distintas escalas de evaluación y dirigidos a las condiciones ambientales específicas de sus países (Beek, 1981a; Davidson, 1992).

Pero, obviamente, el Esquema de la FAO no está inmune a las críticas. Los principales problemas están relacionados con la gran necesidad de datos y la complejidad

de las evaluaciones, cuando se desciende al análisis de los tipos de usos de las unidades de tierras (Beek, 1981b), ausencia de parámetros claramente definidos de las variables socioeconómicas incorporadas en el análisis, concepto estático de los recursos naturales y de la aptitud de tierras, aptitudes expresadas por restricciones físicas y de una sola área a la vez (Rossiter, 1990; Van Diepen et al., 1991).

Presentamos a continuación, otros métodos que tienen una característica semicuantitativa o cuantitativa para la evaluación de tierras.

II.3.2.2.1. Sistemas de evaluación del potencial productivo de las tierras

Citamos el método desarrollado por Riquier y colaboradores, que incorporan índices de productividad actual y potencial o de la calidad productiva del suelo (Riquier et al., 1970). Por su carácter cuantitativo, permite evaluar la adecuación del suelo con relación a cultivos específicos a través de un índice general de productividad potencial, resultante de una ecuación lineal muy sencilla, a continuación presentada:

$$P = H * D * P * T * N * S * O * A * M * p * C$$

Donde:

H = contenido de humedad del suelo;

D = condiciones de drenaje;

P = profundidad efectiva del perfil;

T = textura/estructura

N = porcentaje de saturación por base;

S = concentración total de sales solubles;

O = grado de materia orgánica en el horizonte superficial;

A = capacidad de intercambio catiónico y naturaleza de la arcilla;

M = reservas de minerales alterables en el horizonte B;

p = pendiente del terreno; y

C = caliza total y activa

Es considerado uno de los mejores y más completos métodos de evaluación de tierras para el ámbito de la Península Ibérica (Garrido Valero, 1994), siendo adaptado para su aplicación en un estudio de potencialidad total de establecimiento de agricultura ecológica por Garrido Valero (1994).

Pero, otros investigadores justifican su escasa difusión por no contemplar aspectos socioeconómicos y de los usos o manejos del suelo (Sanchez Díaz y Aro Vidal, 1993), lo que creemos que es la principal razón.

II.3.2.2.2. Sistemas de evaluación de la aptitud agrícola de las tierras

Presentan el mismo carácter del método anterior por enfocar la potencialidad productiva de los suelos, pero al incorporar distintos niveles de uso y manejo, además de criterios socioeconómicos, han obtenido más éxito y aplicabilidad.

Citamos el *Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras* (Ramalho Filho y Beek, 1995), que es la metodología oficialmente recomendada por Embrapa en Brasil. El sistema evolucionó a partir del método propuesto por Bennema et al. (1964) y adoptado por el Ministerio de Agricultura de Brasil en varias zonas del territorio nacional.

De acuerdo con Ramalho Filho y Pereira (1996), posteriormente con apoyo de la FAO, el método fue ampliado para servir como instrumento de planeamiento de largo plazo de la agricultura brasileña (SUPLAN, 1975).

En su tercera edición, el sistema incorpora importantes ajustes y perfeccionamientos tras casi 20 años de aplicación en varias zonas del territorio brasileño (Ramalho Filho y Beek, 1995; Ramalho Filho y Pereira, 1996).

Las cuatro clases de aptitud agrícola de las tierras (buena, regular, restrictiva e inepta) son definidas para diferentes alternativas de uso (cultivos, pastizales cultivados, silvicultura y/o pastizal nativo y preservación natural), bajo tres niveles de aporte tecnológico de manejo (primitivo, poco desarrollado y desarrollado), y para factores que limitan la actividad agrícola de las tierras (fertilidad, agua, erosión e impedimentos a la mecanización).

Otra interesante propuesta fue presentada por Mireles (1993), para el planeamiento de los requerimientos tecnológicos de la agricultura en Venezuela.

Utilizando como base el Esquema de la FAO y la aptitud de las tierras, además de procedimientos estadísticos y SIG para la tipificación y espacialización de los distintos usos agrícolas, el autor afirma que se puede orientar de forma eficiente y coherente el ingreso-captura de información básica para cada uno de los módulos del sistema de evaluación de tierras, auxiliando en la transferencia de tecnología en manejo de suelos e identificación de las demandas específicas de investigación (Mireles, 1993).

II.3.2.2.3. Sistemas automatizados de evaluación de tierras

La necesidad de automatización del procedimiento de evaluación llevó al desarrollo de varios programas informáticos, que combinan la facilidad y rapidez de los ordenadores personales con bases de datos disponibles para el análisis de las características del territorio, incluso con carácter de previsión de importantes efectos en el medio ambiente

En su gran mayoría, parten del Esquema de la FAO para desarrollar sistemas

iterativos y funcionales con importantes resultados (De la Rosa, 2001; Rossiter, 2001).

De la Rosa y Moreira (1987), desarrollaron un programa informático destinado principalmente a evaluar las tierras en el ámbito mediterráneo y de manera interactiva, llamado MicroLEIS™ (*Microcomputer-based Mediterranean Land Evaluation and Information System*). El sistema informático proporcionaba en su primera versión, herramientas ideales para la ordenación correcta y la interpretación práctica de datos sobre el uso y manejo de los suelos agrícolas. Además, es de uso gratuito (De la Rosa y Moreno, 1987).

El programa ha evolucionado bastante, estando capacitado para estudiar distintos ámbitos geográficos, desde el lugar (clima) hasta el campo (clima + sitio + suelo + manejo), y dispone de bases de datos de distintas fuentes (FAO, CSIC) para las variables suelos, clima y sistemas de manejo (De la Rosa, 2001).

Su flexibilidad le garantiza distintas aplicaciones, desde estudios de adecuación de cultivos (De la Rosa et al., 1990), hasta la planificación de áreas de caza en los montes de Toledo en España (Labrandero Sanz y Martínez Vega, 1998).

Actualmente en la versión 2000 (De la Rosa, 2001), puede ser instalado en ordenadores personales con distintos sistemas operativos (DOS, Windows). También se encuentra disponible para descarga por Internet (<http://leu.irnase.csic.es/>). Ha evolucionado bastante desde su elaboración, a principios de los años 90, recibiendo importantes aportaciones de científicos e instituciones internacionales de investigación para su desarrollo. En la actual versión 2000, está compuesto por cuatro módulos principales y respectivos modelos específicos de evaluación; entre éstos, destacamos algunas innovaciones en lo que se refiere a las evaluaciones de la productividad agrícola (Albero), fertilidad natural (Marisma), contaminación (Pantanal), además de modelos predictivos de erosión y de la productividad bajo distintos manejos, conforme presentamos en el siguiente esquema:

➤ **Inf&Kno** - Bases de datos de Información y Conocimiento

- ⇒ CDBm - base de datos climáticos;
- ⇒ SDBm - base de datos de suelos;
- ⇒ MDBm - base de datos de manejos

➤ **Pro&Eco** - Modelos de Producción y Ecosistemas;

- ⇒ Terraza - deficiencia bioclimática;
- ⇒ Cervatana - capacidad general de uso;
- ⇒ Almagra - aptitud relativa agrícola
- ⇒ Sierra - aptitud relativa forestal;
- ⇒ Albero - productividad agrícola;
- ⇒ Marisma - fertilidad natural agrícola;

- **Ero&Con** - Modelos de Erosión y Contaminación;
 - ⇒ Raizal - erosión hídrica y eólica;
 - ⇒ Pantanal - contaminación específica;
 - ⇒ Arenal - contaminación general;
- **Imp&Res** - Simulación de Impacto y Respuesta.
 - ⇒ ImpelERO 1 – pérdida de suelo;
 - ⇒ ImpelERO 2 – impacto sobre productividad;
 - ⇒ ImpelERO 3 – selección del manejo.

Pero, quizás, el programa cuantitativo más ampliamente empleado sea el ALES (*Automated Land Evaluation System*), desarrollado por un grupo de profesores de la Universidad de Cornell (EE.UU) coordinados por David Rossiter. (Rossiter, 1990; Rossiter, 2001).

Perfeccionado a partir del método de la FAO, es destinado a evaluaciones en la escala de proyecto o nivel regional, donde el evaluador o analista debe construir su propio sistema de evaluación para satisfacer las necesidades locales, pues no contiene listas fijas de características o requisitos de las tierras para inferir su calidad.

Para cada proyecto o región, es necesario definir las características según la disponibilidad de datos y objetivos propuestos. Está formado por siete componentes básicos:

- un armazón para la descripción del conocimiento básico de los usos de las tierras propuestos, tanto en términos físicos como económicos;
- un armazón para la base de datos, con la descripción de las áreas de tierras a ser evaluadas;
- un mecanismo de inferencia para relacionar esos dos componentes, donde se puede computar la adecuación física y económica de los distintos usos propuestos a las unidades de tierras mapeadas;
- una facilidad de explicación o aclaración, que permite construir los modelos para la comprensión y ajustes de esos;
- un módulo de consulta, que permite a cualquier usuario buscar información de un uso específico a un determinado tiempo;
- un generador de informes, tanto en pantalla como impreso o en discos flexibles; y
- un módulo de importación/exportación, que permite el intercambio con bases de datos externos, planillas y sistemas de información geográfica. Permite la interfaz con Idrisi, xBase y PC-Arc/Info.

Actualmente, en la versión 4.65 (Rossiter, 2001), disponible en los idiomas inglés, castellano, indonesio, presenta una larga lista de usuarios registrados en todo el mundo, tanto en países en vías de desarrollo como desarrollados. Usuarios del peso de CIRAD (*Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique Pour le Développement*) en Francia, CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*) en Australia, EROS Data Center, USDA Forest Service, USDA/ERS, FAO (*Land & Water Development Division*), ISRIC (*International Soil Centre and Information Centre*) e ITC (*International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences*) en Holanda, además de muchas universidades y centros de enseñanza en Asia e Iberoamérica (Jimenez, 2001).

Otros sistemas automatizados de evaluación de las tierras son ofrecidos como módulos de los SIG, como por ejemplo ILWIS (*Integrated Land and Water Information System*) del ITC de Holanda. Que en la actual versión (3.0), presenta un completo sistema de tratamiento de la información vectorial y digital de imágenes, además de otros módulos de variadas aplicaciones como previsión de erosión, vulnerabilidad de recursos hídricos entre otras (ITC, 2001).

En definitiva, esas metodologías auxilian, de una manera u otra, el planeamiento del uso agrícola de las tierras. Algunas, aportan informaciones para la orientación y adecuación de los distintos usos con variado aporte tecnológico, pero para un determinado momento (método de aptitud de tierras o del esquema FAO); otras tienen un carácter más duradero en el tiempo, pero no consideran los factores socioeconómicos que actúan en el nivel tecnológico a ser adoptado (método de capacidad de uso).

Factores socioeconómicos, representados principalmente por un pensamiento inmediatista y por políticas de crédito y de incentivo a la exportación, además de los precios de mercado de los productos agrícolas, influyen más decisivamente en las decisiones de los agricultores que los planes de desarrollo y ordenación del territorio, tanto en la selección de los cultivos más rentables como de las prácticas agrícolas que intuyen como las mejores del momento.

Como afirman Smyth y Dumanski (1995), aunque ocurra una buena concordancia entre la aptitud o capacidad potencial de uso/ocupación actual para una determinada unidad de tierra, o sea, aunque exista una buena idoneidad de uso/capacidad, la sostenibilidad del agroecosistema no está garantizada. El agricultor puede estar utilizando prácticas de cultivo y manejo inadecuadas, que pueden comprometer la capacidad productiva del sistema como un todo a lo largo del tiempo.

El concepto de sostenibilidad debe reemplazar al de idoneidad como medida de la aptitud de un sistema particular de gestión de tierras, aunque ese concepto esté envuelto

en un contexto de naturaleza poco preciso y dinámico (Smyth y Dumanski, 1995; Zinck y Farshad, 1995).

A continuación, presentamos las principales herramientas de apoyo y de cierta manera fundamentales para la evaluación de los recursos naturales.

II.3.3. Teledetección, SIG y cartografía temática como instrumentos de evaluación y monitoreo ambiental

El instrumental informático y científico ofrecido hoy día para la evaluación medioambiental es muy variado y cada vez más potente. Hablamos de una verdadera revolución en la forma de recolectar, almacenar, procesar, gestionar y presentar la información espacial en sus más variadas escalas, formatos, atributos y condicionantes.

Creemos no ser necesaria una presentación detallada del tema, ya que muchos trabajos lo hicieron anteriormente (Chuvieco, 2000; Curran, 1985; Jensen, 1996; NCGIA, 1990), pero creemos oportuna la aportación que enmarca los instrumentos y métodos de evaluación y gestión de la información utilizados en nuestro trabajo.

La teledetección, según Chuvieco (2000), se refiere, en su sentido más amplio, tanto a las distintas formas de obtención de imágenes de la superficie terrestre, desde una perspectiva remota a través de satélites o aeronaves, como también al posterior tratamiento que se puede aplicar a esas imágenes. El mismo autor presenta, en su obra, los distintos elementos del sistema de teledetección espacial, los cuales pueden ser sintetizados en la siguiente cadena de componentes:

- fuente de energía, que tanto puede ser pasiva (energía solar reflejada o emitida por las cubiertas terrestres), como activa (energía electromagnética emitida y recibida por el sensor);
- cubierta terrestre, representada por las distintas formaciones naturales (suelos, rocas, vegetación, agua) y artificiales (construcciones humanas), que se comportan de variada manera ante las fuentes de energía electromagnética siendo posible su identificación;
- sistema sensor, se refiere al mecanismo destinado a la recepción de la energía emitida o reflejada de la cubierta terrestre y el soporte que lo contiene. Es capaz de codificar, grabar o enviar a los sistemas receptores la energía captada;
- sistema de recepción-comercialización, se trata tanto de las antenas de captura de los datos enviados por el sensor como de la agencia encargada de grabarlos para la posterior corrección y distribución a los intérpretes o usuarios;
- intérprete, responsable del análisis de los datos brutos y generación de la información

digital o analógica que facilitará la evaluación temática de las cubiertas o problemas que se presentan al usuario final; y

- usuario final, en cierto modo, es el responsable de la evaluación final del trabajo de interpretación y que podrá tomar las decisiones acertadas para los problemas que se presentan.

Las aplicaciones de la teledetección son bastante amplias, entre las que se destacamos el seguimiento de procesos meteorológicos, oceánicos, geológicos, ecológicos, forestales, agrícolas y urbanos (Chuvienco, 2000).

Nosotros vamos a abordar solamente los instrumentos destinados a las aplicaciones de observación pasiva de las distintas cubiertas terrestres, y en una faja especialmente importante del espectro electromagnético, conforme presentamos a continuación. Así que, no nos ocuparemos de otros sensores activos, como los radares, con gran aplicación en estudios geológicos, entre otros.

A pesar del desarrollo y popularización de las imágenes de satélites en los últimos años, las clásicas fotografías aéreas siguen teniendo gran protagonismo en variados campos de estudio, tanto por su versatilidad, coste relativamente bajo de obtención, como por la facilidad de tratamiento visual para la interpretación. La cantidad de información visual disponible en una fotografía aérea es muy grande y de ahí su importancia en aplicaciones tanto científicas, educacionales como militares (Strandberg, 1975).

Además, las fotografías aéreas tienen relevante importancia en estudios multitemporales, por ser la única fuente remota de datos con fechas anteriores a los principios de los años 70, cuando las primeras imágenes de satélite empezaron a ser comercializadas para uso civil.

Pero las imágenes de satélite son, hoy en día, la mayor fuente de información para estudios ambientales pues, cada vez más, el desarrollo tecnológico aporta mejoras tanto en los sensores como en los procedimientos de tratamiento digital para extracción de la información temática.

Los principales satélites de observación de la Tierra son norteamericanos y franceses; en la Tabla II.10, resumimos la información básica de los sensores más importantes y ampliamente utilizados. Se puede observar la variedad, tanto del espectro electromagnético analizado como de las resoluciones temporal y espacial de los distintos sensores. Todos aprovechan las longitudes de onda en que la transmisividad atmosférica es suficientemente elevada para proporcionar el registro de la energía por el sensor, las llamadas ventanas atmosféricas para la teledetección.

Estas ventanas están concentradas en torno al espectro visible y al infrarrojo,

conforme se presenta en la Figura II.10, que resume la información más importante de la interacción superficie terrestre y sensores remotos de observación.

Pero, tratándose de sensores ópticos, la influencia de las nubes es un gran inconveniente a la hora de seleccionar imágenes para estudios multiestacionales en zonas de clima húmedo, que exigen tomas de imágenes mensuales, muchas veces no disponibles por influencia de la nubosidad. Teóricamente, se estima una imagen al mes para los satélites Landsat y Spot para el mismo lugar del terreno, pero, en concreto, es bastante difícil obtener imágenes libres de nubes, como hemos comprobado a la hora de seleccionar nuestras imágenes.

La importancia más destacada de las imágenes de satélite es su característica de ser una fuente orbital de información confiable, con repetitividad y geoposicionamiento, hechos que garantizan su utilización en las más variadas ramas científicas.

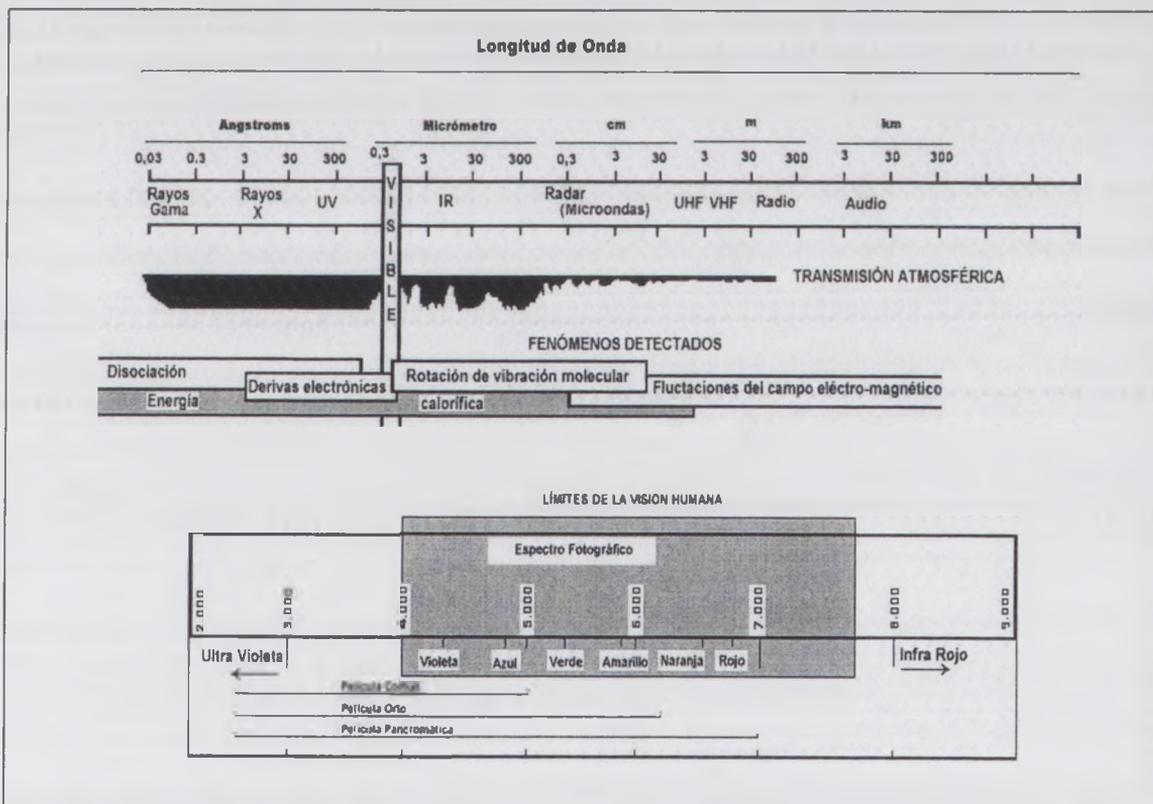


Figura II.10. Principales características del espectro electromagnético con aplicación en la teledetección. Fuente: Modificado a partir de Strandberg (1975).

Tabla II.10. Principales características de algunos satélites y respectivos sensores remotos.

Bandas	Umbrales (μm)	Resolución Espacial (m)	Resolución Temporal (días)	Altitud (km)
LANDSAT MSS (<i>MultiSpectral Scanner</i>) en los satélites ERTS 1 y 2 y LANDSAT 3, 4 y 5. Norteamericano, con imágenes de 1972 a 1978.				
4 ^{a)}	0,50 - 0,60	79 x 79	18	917
5	0,60 - 0,70			
6	0,70 - 0,80			
7	0,80 - 1,10			
8 ^{b)}	10,4 - 12,6	240 x 240		
LANDSAT TM (<i>Thematic Mapper</i>) en los satélites LANDSAT 4 y 5. Norteamericano, con imágenes a partir de 1972.				
1	0,45 - 0,52	30 x 30	16	705
2	0,52 - 0,60			
3	0,63 - 0,69			
4	0,76 - 0,90			
5	1,55 - 1,75			
6	10,4 - 12,5	120 x 120		
7	2,08 - 2,35	30 x 30		
NOAA-AVHRR (<i>Advanced Very High Resolution Radiometer</i>) LAC (<i>Local Area Coverage</i>) 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12.				
1	0,58 - 0,68	1100 x 1100	Diaria	845 a 861
2	0,72 - 1,10			
3	3,55 - 3,93			
4	10,3 - 11,3			
5 ^{c)}	11,5 - 12,5			
SPOT (<i>Système Probatoire d'Observation de la Terre</i>) HRV (<i>Haut Resolution Visible</i>) 1, 2 y 3. Frances, con imágenes desde 1985.				
Sensor Multiespectral				
1	0,50 - 0,59	20 x 20	26	832
2	0,61 - 0,68			
3	0,79 - 0,89			
Sensor Pancromático				
1	0,51 - 0,73	10 x 10	26	832

Nota: a) Bandas MSS 4, 5 y 6 pasaron a ser bandas 1, 2, 3 y 4 en el Landsat 4 y 5; b) Banda MSS 8 estaba presente solamente en los satélites NOAA con numeración impar. Fuente: Modificado a partir de

Varios países se han lanzado en proyectos de desarrollo de sus propios satélites con aplicaciones más específicas a sus necesidades y también para detener el dominio de una sofisticada y fundamental tecnología de información aeroespacial. Japón, China, India ya poseen satélites de observación desde hace varios años y las aplicaciones van desde el seguimiento meteorológico hasta satélites con sensores similares a los TM, MSS, SPOT, pero con órbita geoposicionada y así menor periodicidad de toma de imágenes (XXXX).

Brasil, está desarrollando un amplio programa espacial con China para obtener cierta autonomía en datos de sensores remotos. Iniciado en 1988, el programa prevé el lanzamiento de varios satélites de pequeño tamaño y distintos sensores para el seguimiento meteorológico y captura de datos de los recursos naturales.

Citamos, por ejemplo, los satélites de recogida de datos (SCD). El primer de los cuales fue lanzado en 1993 con satisfactorios resultados estando prevista la continuidad del programa con otros cuatro hermanos de esta serie. Otro grupo de satélites más sofisticados, se refiere a los SSR (satélites de sensoriamente remoto), de los cuales el SSR1 fue lanzado en 1999 y se dirige a aplicaciones de seguimiento de la vegetación, recursos hídricos y aplicaciones en agricultura, geología y climatología. Con órbita ecuatorial está capacitado para cubrir superficies de 100 – 1000 metros de lado con periodicidad semanal, estando dirigido al seguimiento principalmente de la región amazónica (INPE, 2001a).

Chuvieco (2000), presenta informaciones de otros programas espaciales de países que se han dirigido al desarrollo de satélites de observación terrestre, con informaciones detalladas de sus características (sensores, órbitas, aplicaciones, etc.).

Los Sistemas de Información Geográfica -SIG-, presentan varias definiciones en la literatura especializada, de la cual, destacamos la del NCGIA (*National Center for Geographic Information and Analysis*) en Estados Unidos de América, que los define como:

“Un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión” (NCGIA, 1990).

Particularmente, en los últimos años, tuvieron un desarrollo sorprendente, apoyados tanto por el avance en la tecnología informática que, cada vez más, populariza los ordenadores personales y los capacita con mayor espacio de memoria como por las mejoras en los procesadores, fundamentales para las aplicaciones matemáticas de esos sistemas.

En la Tabla II.11, seleccionamos algunos de los sistemas informáticos de mayor utilización por los usuarios de SIG en aplicaciones ambientales. Se puede observar la variada oferta de productos y de capacidad operacional en los distintos procedimientos de entrada, tratamiento y generación de resultados finales. Éstos son algunos ejemplos de un vasto mercado de productos informáticos que, a cada nueva versión, presentan recursos de mayor aplicabilidad, motivando su constante actualización por parte de los usuarios. Los mejores programas son diseñados por marcas registradas de empresas especializadas del sector, que mueven anualmente millones de dólares en las licencias de actualización de los productos.

En nuestro trabajo, utilizamos básicamente el programa de Intergraph/MicroStation para los procedimientos de tratamiento de la información espacial, conforme presentamos en el Capítulo 4 (Materiales y Métodos).

No obstante, existen buenos productos de dominio publico (Tabla II.11), que garantizan, en cierta manera, la socialización de la tecnología, para que se disponga de una infraestructura mínima de trabajo.

Tabla II.11. Principales programas informáticos de tratamiento digital de imágenes usados en a relevantes.

Sistema	Sistema Operativo	Procesamiento Previo	Visualización y Realce	Extracción de Información	Lineage
Productos Comerciales					
Adobe Photoshop	DOS/Mac/UNIX				
ESRI Arc-Info GRID	UNIX/Windows				
Dragon	DOS/Windows				
ERDAS Imagine	DOS/UNIX/Windows				
GRASS	UNIX/Windows				
IDRISI	DOS/Windows/Mac				
Intergraph	UNIX/Windows				
PCI	DOS/UNIX/Windows				
Microlmages	DOS/UNIX/Windows				
Dominio Público					
Cosmic VICAR-IBIS	UNIX/Windows				
NOAA	UNIX/Windows				
NASA ELAS	UNIX/Windows				

Simbología:  = Capacidad significativa;  = Capacidad moderada;  = Poca o sin capacidad.

Fuente: Modificado a partir de Jensen (1996).

Se debe destacar un SIG no incluido en la Tabla II.11, pero bastante difundido en Brasil e igualmente, de dominio público. Trátase del SPRING (*Sistema de Procesamento de Imagens e Geoprocessamento*), desarrollado por el INPE (*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*) y otras instituciones nacionales e internacionales (Embrapa, IBM). Éste es un sistema bastante eficiente para el tratamiento de la información e intercambio de ficheros con otros programas de similar características (INPE, 2001a).

La calidad, tanto visual como temática, así como la flexibilidad de las salidas gráficas de los SIG, son características frecuentemente destacadas y pueden ser comprobadas por varios ejemplos en la moderna cartografía científica; producidos tanto por las agencias geográficas/cartográficas oficiales, como por instituciones de investigación y enseñanza, que pasaron a utilizar los SIG mucho antes de su popularización a finales de los años 80.

La generación de mapas temáticos y mapas sintéticos es otra capacidad relevante de los SIG, ya que por integrar informaciones de distintos formatos y naturaleza, puede ofrecer procesos de superposición y distintas combinaciones temáticas, siempre con la relación espacial incorporada y la vinculación con bases de datos, garantizando en general versatilidad, precisión y rapidez en la salida de resultados.

Pero, también observamos algunas críticas a la excesiva apología de los SIG como única solución tecnológica al problema de gestión de la información ambiental o al inadecuado uso de esas herramientas de apoyo a la planificación, toda vez que son capaces de generar mapas visualmente bellos que pueden ocultar la ausencia de rigor científico (Burrough, 1993).

Sin embargo, deben ser considerados como herramientas extremadamente útiles, pues el adecuado empleo de datos de sensores remotos, de otras informaciones cartográficas y catastrales y de informaciones de campo, cuando son integrados en un SIG, proporcionan mayor rapidez y potencial de análisis, síntesis y documentación.

Ejemplificando los comentarios que hemos hecho, presentamos algunos trabajos realizados en distintas instituciones y con variados objetivos, pero siempre utilizando la teledetección, los SIG y la cartografía temática como herramientas de apoyo.

II.3.3.1. Principales aplicaciones en la evaluación del territorio

Encontramos en la literatura especializada un gran número de publicaciones que abordan las más variadas aplicaciones de la teledetección y de los SIG, sea de sus principios y fundamentos (Bosque Sendra, 1992; Burrough, 1986; Chuvieco, 2000; Curran, 1985; Jensen, 1996; Lillesand y Kiefer, 1994; NCGIA, 1990; Pinilla, 1995) o de

aplicaciones más específicas sobre la actividad agrícola (Assad y Sano, 1998).

Es grande y variada la cantidad de revistas especializadas, seminarios y congresos sobre la temática, ya integrada en el medio científico, de la evaluación medioambiental y los SIG; multiplicando así el número de trabajos científicos y avances teóricos casi diariamente publicados. Tal hecho, dificulta el seguimiento de la rápida evolución de los métodos de evaluación, motivados a su vez, las nuevas aportaciones de instrumental de captura y tratamiento de datos remotos. Se observa una cadena de conocimientos interrelacionados que avanzan conjuntamente, siempre asistidos por las nuevas tecnologías de información.

No obstante, seleccionamos algunos trabajos que juzgamos relevantes entre tantos otros que se han producido en los últimos años.

II.3.3.1.1. Estudios de evaluación y gestión del territorio

Quizá ésta sea la rama de la investigación científica que más ampliamente utiliza el instrumental de los SIG y de la teledetección.

Diversos estudios y proyectos en variados temas lo comprueban, como por ejemplo: a) reconocimiento de suelos y evaluación de tierras (Formaggio et al., 1992; Labradero Sanz, 1978; Uboldi y Chuvieco, 1997); b) planificación ambiental (De la Rosa y Crompvoets, 1998; Labradero Sanz y Martínez Vega, 1998); Romero Calcerrada, 2000 #336>; c) cartografía temática y ecología de paisaje (Chuvieco, 1998; Martínez Vega, 1989; Sancho Comíns et al., 1993).

La aplicación de la teledetección en estudios de reconocimiento de suelos fue iniciada por Labradero Sanz (1978). En un trabajo, pionero en España, utilizó imágenes Landsat MSS para mapear, con mayor rapidez y calidad, los distintos tipos de suelos en un área de la cuenca del Tajo.

En Argentina, Uboldi y Chuvieco (1997) utilizaron las herramientas de teledetección y SIG para un estudio de la adecuación de los usos actuales al mapa de aptitud de las tierras, partiendo de imágenes SPOT, fotografías aéreas, mapa de suelos y otras informaciones biofísicas y de campo,

Huising y colaboradores (1994), evaluaron la ocupación del territorio en una zona de la costa Atlántica en Costa Rica. Además, estudiaron su adecuación a la capacidad de uso de las tierras, mediante su comparación con las condiciones biofísicas potenciales y encuadrando el resultado en una sencilla escala cualitativa de adecuación de uso, sobrexplotación e infrautilización. Utilizaron el SIG Arc/Info para la integración de la variada información. Los resultados demuestran que el 18% del área es sobrexplotada y, por tanto,

con usos no sostenibles, principalmente por la baja fertilidad de los suelos, mientras que el 51% de las tierras se presentan infrautilizadas, pudiendo soportar usos más intensivos en términos agrícolas. Los autores, encuadran el trabajo dentro del marco del "juicio experto" en agricultura a la hora de tomar decisiones de los tipos de ocupación del territorio, y concluyen que las herramientas de SIG y teledetección han colaborado sobremanera para la rapidez y calidad final del trabajo.

En lo que se refiere a estudios de planificación ambiental, muchos son los ejemplos de trabajos en todo el mundo, así que, vamos a presentar algunas experiencias en el tema.

En un interesante estudio en los montes de Toledo (España), Labradero Sanz y Martínez Vega (1998), planificaron el potencial de uso y ocupación con el objetivo de aportar mapas temáticos de fácil utilización y aplicación a la realidad del territorio, con especial interés para la delimitación de zonas de caza mayor, preservación forestal y usos agrícolas. Utilizaron el programa MicroLEIS y un SIG vectorial mixto -relacional y objetual- (Intergraph/Microstation) para la integración de la variada información del territorio. Concluyen que las aplicaciones del SIG, auxilian sobremanera a la toma de decisiones en ambientes que presentan distintos potenciales de uso y ocupación. Además, tales herramientas aportan mayor agilidad y calidad en los resultados, principalmente cuando éstos, se materializan en mapas temáticos y sintéticos -importantes componentes de la cartografía digital-.

En otra importante contribución al estudio de planificación ambiental, Romero Calcerrada (2000), presenta los resultados de la valoración socioeconómica como soporte de la planificación de ambientales protegidos, las ZEPAS (zonas de especial protección de aves) en España. Utilizando variadas fuentes y formatos de datos e informaciones, tras la integración en distintos SIG (Intergraph e Idrisi) fue capaz de desarrollar importantes procedimientos para la elaboración de una completa cartografía temática, contemplando variables complejas para la valoración socioeconómica del territorio. Hecho que, en ocasiones, se tiene como objetivo en muchos trabajos de investigación pero que, por las dificultades de obtención y armonización de informaciones socioeconómicas, no se logra cumplir.

Lindando temáticamente con esos últimos trabajos, otros ejemplos de aplicaciones en cartografía temática y ecología de paisaje son los realizados por Martínez Vega (1989) y por Sancho Comíns (1993b), los cuales han utilizado SIG para la integración de la información espacial y biofísica con el objetivo de comprender las transformaciones ocurridas en el paisaje agrario en distintas zonas de España.

Otra importante aplicación se refiere a la evaluación de riesgos de incendios forestales (Chuvieco, 1999), donde la teledetección se manifiesta como una útil

herramienta que facilita tanto la incorporación de informaciones biofísicas de soporte que pueden auxiliar en la prevención de incendios, como el estudio de las alteraciones provocadas por los incendios sobre el patrón espacial del paisaje, influyendo en la diversidad y valor paisajístico.

II.3.3.1.2. Estudios multitemporales

Las aplicaciones en análisis multitemporales son otra característica destacable de la teledetección y SIG, por la sencilla razón de poder compararse el mismo territorio en distintas fechas y su integración con otras informaciones auxiliares. Se ha demostrado la gran utilidad de estas herramientas en estudios de evaluación y pronóstico de las tendencias de las transformaciones del territorio.

Como señala Chuvieco (2000), la detección de cambios puede abordarse mediante diversos procedimientos. Cuando se emplean imágenes continuas suelen aplicarse técnicas cuantitativas para su comparación tales como las diferencias, la regresión o análisis de componentes principales. Cuando se emplean imágenes categorizadas, se comparan mapas clasificados previamente por separado –con leyendas similares– mediante técnicas de superposición y tabulación cruzada con el auxilio de un SIG. Según la revisión bibliográfica, este segundo procedimiento –imágenes categorizadas– ha sido mucho más empleado en trabajos precedentes. La mayor parte de las veces, la razón estriba en que suelen analizarse periodos largos por lo que, frecuentemente, se recurre a la interpretación visual de fotografías aéreas –documentos analógicos– para la fecha de partida e imágenes de satélite –digitales o cuantitativas– para la fecha o fechas finales. Bien es verdad que las primeras pueden convertirse –mediante su escaneo– en documentos digitales y, por tanto, ser susceptibles de análisis cuantitativo, aunque no es frecuente.

Entre las investigaciones que emplean el primer método vamos a repasar algunos ejemplos, aunque sin ánimo de ser exhaustivos.

La mayor parte de los trabajos de detección de cambios se han orientado hacia la investigación de las transformaciones del paisaje agrario y sus valoraciones correspondientes –intensificación y extensificación–. En esta línea se encuentran los trabajos desarrollados por profesores del Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá, coordinados por Sancho Comíns (1993a, 1993b) ya demostraron la capacidad de los SIG, Teledetección y Cartografía para el análisis e interpretación de las tendencias de intensificación o extensificación de las actividades humanas en diversas zonas piloto de la España Central, incluso su potencialidad para la valoración visual del paisaje.

Con esta misma orientación, se han realizado otros trabajos en zonas de influencia

socioeconómica de Espacios Naturales Protegidos en España. Comás et al (1992) analizan los cambios producidos entre 1957 y 1989 en la Alta Garrotxa catalana, empleando un CAD y manejando la información digitalizada mediante ARC/INFO (Comás et al., 1992). Romero (1996) compara la situación de 1956, a partir de la interpretación de fotografías aéreas, y de 1991, mediante tratamiento digital de una imagen Landsat-TM, empleando para ello la herramienta de SIG de Integraph (MGE) en el área de influencia del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel (Romero, 1996). Camacho et al., (2000) realizan un estudio comparativo de los cambios de usos del suelo en dos ámbitos montañosos mediterráneos, uno de ellos en el Parque Nacional de Sierra Nevada y otro en los Pirineos orientales franceses. Aunque en trabajos previos han empleado SIG vectorial, en esta investigación han usado el SIG raster IDRISI con objeto de agilizar la comparación espacio-temporal (Camacho et al., 2000).

En otras ocasiones, más allá del análisis comparativo de los usos del suelo a lo largo del tiempo, se ha realizado una valoración ambiental cualitativa del significado de las transformaciones de los usos. Otero (1993) estudia toda la Comunidad de Madrid entre 1972 y 1982, empleando ARC/INFO y el método DELPHI para la valoración de los cambios (Otero Pastor, 1993). Similar metodología, fue empleada para evaluar las transformaciones ocurridas entre 1956 y 1995 en una Zona de Especial Protección para las Aves en la Comunidad de Madrid (Martínez Vega y Romero, 1999).

Otras aplicaciones investigan los efectos de las transformaciones de los usos del suelo sobre procesos geomorfológicos tales como la erosión de las laderas en áreas de montaña donde se ha generalizado el abandono de tierras (Lasanta, 1989) o sus efectos sobre procesos de desertificación en ambientes mediterráneos (Barberá et al., 1997; Romero et al., 1997). En otro sentido, Moreno (1989) demuestra la incidencia de los cambios de uso del suelo en la propagación de los incendios forestales y, por consiguiente, en su magnitud. En los paisajes donde se ha producido un abandono de las tierras cultivadas, el mosaico es más homogéneo y, por tanto, el avance del fuego no es interrumpido como ocurriría en un mosaico paisajístico más heterogéneo. Es lo que se conoce por interfase agrícola-forestal (Moreno, 1989).

En Iberoamérica, también existen numerosos trabajos de investigación sobre los variados efectos de los cambios de usos de suelo en distintos ambientes. En Venezuela, Vargas (2000) demuestra los impactos ambientales de la deforestación sobre los bosques tropicales que ocurren, incluso, en zonas declaradas como Reserva Nacional. Para su evaluación espacial y temporal, emplea distintas imágenes de satélite.

En la cuenca del Amazonas, un consorcio de países desarrolla el proyecto AMAZONIA (Martínez Vega, 1996), con objeto de conocer y controlar el proceso de

deforestación de la selva tropical. La cartografía de ocupación del suelo en la cuenca, producida a escala 1/250.000, se basa en el análisis visual de imágenes multianuales LANDSAT-MSS, de acuerdo a una leyenda jerárquica de dos niveles. El periodo observado es de 15 años, desde comienzos de los años 80 hasta mediados de los 90.

En Brasil, los estudios multitemporales son importantes complementos de evaluación ambiental en diferentes escalas geográficas y, por la creciente intensificación de las actividades productivas, han demostrado ser un aliado más en la toma de decisiones de planificación local y regional. McCracken y colaboradores (1999), evaluaron el ritmo de deforestación en la Amazonía entre 1970 y 1991, utilizando fotos aéreas e imágenes Landsat-TM, además de informaciones de campo. En zonas de contacto del bosque ecuatorial con los ecosistemas limítrofes, concluyen que ciertos cambios no son observados por los sensores remotos, como por ejemplo la mayor degradación de las formaciones forestales primitivas en los últimos 3 años del periodo estudiado, y que de hecho ocurre por la roturación selectiva o por influencia del fuego, usado frecuentemente para la renovación de pastizales. Tales efectos no son detectados por la resolución espacial del sensor (McCracken et al., 1999), pero son observados en los trabajos de campo llevados a cabo para la comprobación de la estimación de densidad forestal.

En el norte del continente americano, en la provincia canadiense de British Columbia, el B.C. *Ministry of Forest* ordena actualizar periódicamente el inventario forestal de la provincia a escala 1/20.000. Los datos del primer inventario fueron levantados mediante fotointerpretación de estereogramas pancromáticos, trabajos de campo y restitución manual. Su actualización, a principios de los 90, se ha realizado mediante análisis visual de ortoimágenes LANDSAT-TM, en falso color. La comparación con el primer inventario ha permitido cartografiar los cambios producidos y su almacenamiento en un SIG (Pilon y Wiart, 1990).

Otra experiencia de interés, por su similitud con nuestro trabajo de investigación, fue la actualización de la cartografía de ocupación del suelo de la provincia canadiense de Alberta a partir del análisis visual de imágenes LANDSAT-TM de 1986 (Rivard et al., 1990). En este trabajo, la *Land Branch of Environment Canada* cartografió y tipificó los cambios de usos agroforestales, comparando esta cobertura con el mapa de usos del suelo del *Canada Land Inventory* (CLI), a escala 1/50.000, de 1966. La comparación de los cambios de uso con otras capas del CLI, tales como la capacidad de uso de las tierras, ha permitido conocer las disfunciones entre uso y vocación del suelo, proponiendo una reordenación de los aprovechamientos de las tierras afectadas.

Otros ejemplos de estudios multitemporales son los realizados en China (Zheng et al., 1997), que identificaron el grado de deforestación y fragmentación de los bosques de

las montañas limítrofes con Corea del Norte. Las diferencias y tendencias de ocupación del territorio y deforestación son bastante distintas y reflejan el modelo de desarrollo de cada nación.

A nivel global, algunos programas internacionales de investigación como el Programa Internacional de la Geosfera y Biosfera (IGBP) han demostrado que los actuales datos cartográficos disponibles en el mundo sobre ocupación del suelo no se adecuan, normalmente, a los variados requerimientos de los modelos globales, ya sean éstos ecológicos, hidrológicos, meteorológicos o de circulación general de la atmósfera. Según los expertos, los datos de ocupación óptimos para los estudios globales deben reunir, entre otras, las siguientes condiciones: datos de intermedia resolución espacial y buena resolución temporal –multiestacionales y multianuales–, esquemas de clasificación flexibles para adecuarse a aplicaciones específicas, datos que permitan procedimientos analíticos sistemáticos, que posibiliten interpretación biofísica y que aseguren seguimiento y extrapolabilidad (Loveland et al., 1995).

En este contexto surge el proyecto internacional llamado *Land-Use and Land-Cover Change* (LUCC), auspiciado por el Programa IGBP y por el Programa de la Dimensión Humana en el Cambio Ambiental Global (IHDP). El objetivo es estudiar, a nivel mundial, las causas humanas y biofísicas que explican los cambios de uso del suelo y los impactos que tales transformaciones provocan sobre el medio ambiente, conscientes de la implicación de este fenómeno sobre buena parte de las catástrofes y procesos de degradación ambiental: disminución de la diversidad biológica, contribución al cambio climático, degradación del suelo y otros. El proyecto centra la investigación en tres aspectos: el problema de la dinámica de usos del suelo (i) mediante análisis comparativo de diversos casos de estudio; los cambios de ocupación del suelo (ii) mediante observaciones empíricas y modelos de diagnóstico –patrones y procesos– e integra los resultados (iii) con otras variables humanas y biofísicas en modelos regionales y globales (Nunes y Augé, 1999).

A nivel continental, es conveniente mencionar el programa CORINE *Land Cover* desarrollado con el objetivo de cartografiar la ocupación del suelo, a escala 1/100.000, de los países miembros de la UE, empleando imágenes de satélite LANDSAT-TM y SPOT (CE, 1993; López Vizoso, 1989; Sancho Comíns, 1989). En el momento actual, el programa aborda dos nuevos objetivos: por una parte, se trabaja en extender el proyecto, siguiendo la misma metodología, a los países europeos del Este de Europa y del Norte de África (proyecto MEDSPA-MEDGEOBASE) y, por otra, se pretende la actualización periódica –cada 5 años– de las coberturas de ocupación del suelo.

El enfoque dinámico de este proyecto europeo ha originado otros programas enfocados al estudio de otros problemas ambientales derivados de los cambios de

ocupación del territorio. Es el caso del proyecto *Land Cover Changes in Coastal Zones* (LACOAST) cuyo objetivo es detectar las transformaciones ocurridas en una franja de 10 km desde la costa hacia el interior a partir de la cobertura de CORINE Land Cover (CLC) de 1987 y, retrospectivamente, de imágenes LANDSAT MSS de 1975 (Sebastián y López de Silanes, 1999).

En resumen, pretendemos demostrar en este capítulo, la importancia de los avances tecnológicos en la producción agrícola en los últimos años, sus principales implicaciones ambientales como consecuencia de la rapidez con que se ha impuesto en un área de carácter eminentemente agrícola como el Cono Sur de Sudamérica, y algunas de las técnicas que suponemos son eficientes, tanto en la evaluación de los daños a escala regional, como en la orientación de las mejores estrategias de ocupación y uso de los recursos naturales para la continuidad de la agricultura, la cual, consideramos el principal soporte de las actividades productivas de la humanidad.

CAPÍTULO III. ÁREA DE ESTUDIO

El área geográfica de estudio es el Municipio de *Guaira*, situado en el noreste del Estado de *São Paulo*, Brasil. Se trata de un área de agricultura intensiva de evolución relativamente reciente, favorecida por condiciones topográficas, hídricas, edafológicas, económicas y sociales que auxiliaron el establecimiento de sistemas de riego, predominantemente del tipo pivote central, en la década de los 80.

Presentamos este capítulo con el objetivo de caracterizar el área de estudio en dos niveles distintos, inicialmente con una breve visión de Brasil y del Estado de *São Paulo* para, enseguida, descender en detalle con la presentación del área de estudio propiamente dicha, el Municipio de *Guaira*.

Sin embargo, las informaciones detalladas y recopiladas de distintas fuentes que demuestran la evolución de los sistemas agrarios y de la economía del municipio, serán presentadas posteriormente, en el Capítulo V (Resultados y Discusión) con el fin de discutir y comprender los cambios ocurridos en los últimos años.

Optamos por redactar los nombres de las localidades o eventos geográficos con la ortografía portuguesa por tratarse de nombres propios, siendo representados en caracteres itálicos.

III.1. Ámbito Nacional

La Figura III.1 representa el croquis de localización del municipio de *Guaira* con relación al Estado de *São Paulo* y Brasil. Como se trata de un área poco conocida en España, aportamos las informaciones más relevantes, como la situación geográfica general de Brasil en el noreste de Sudamérica, las distintas Regiones Geográficas y respectivos Estados Federativos.

Destacamos el Estado de *São Paulo* en la región sudeste brasileña, que tiene como límites los Estados de *Rio de Janeiro*, *Minas Gerais*, *Mato Grosso do Sul* y *Paraná*.

Descendiendo progresivamente en detalle, se puede visualizar el Estado de *São Paulo* y su capital, la ubicación de la ciudad de *Ribeirão Preto*, capital de la Mesoregión Geográfica del mismo nombre, donde se inserta el municipio de *Guaira*, con disposición central de la ciudad.

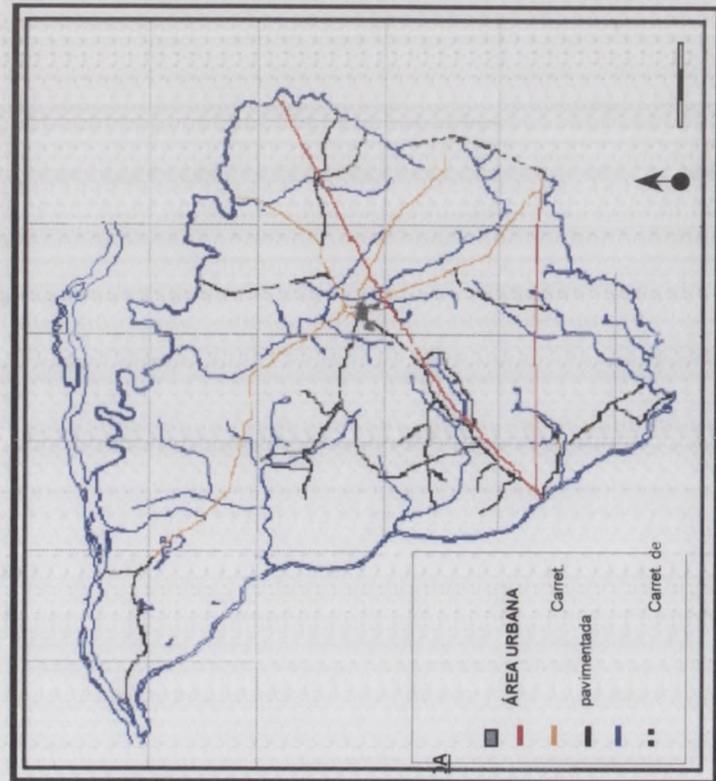
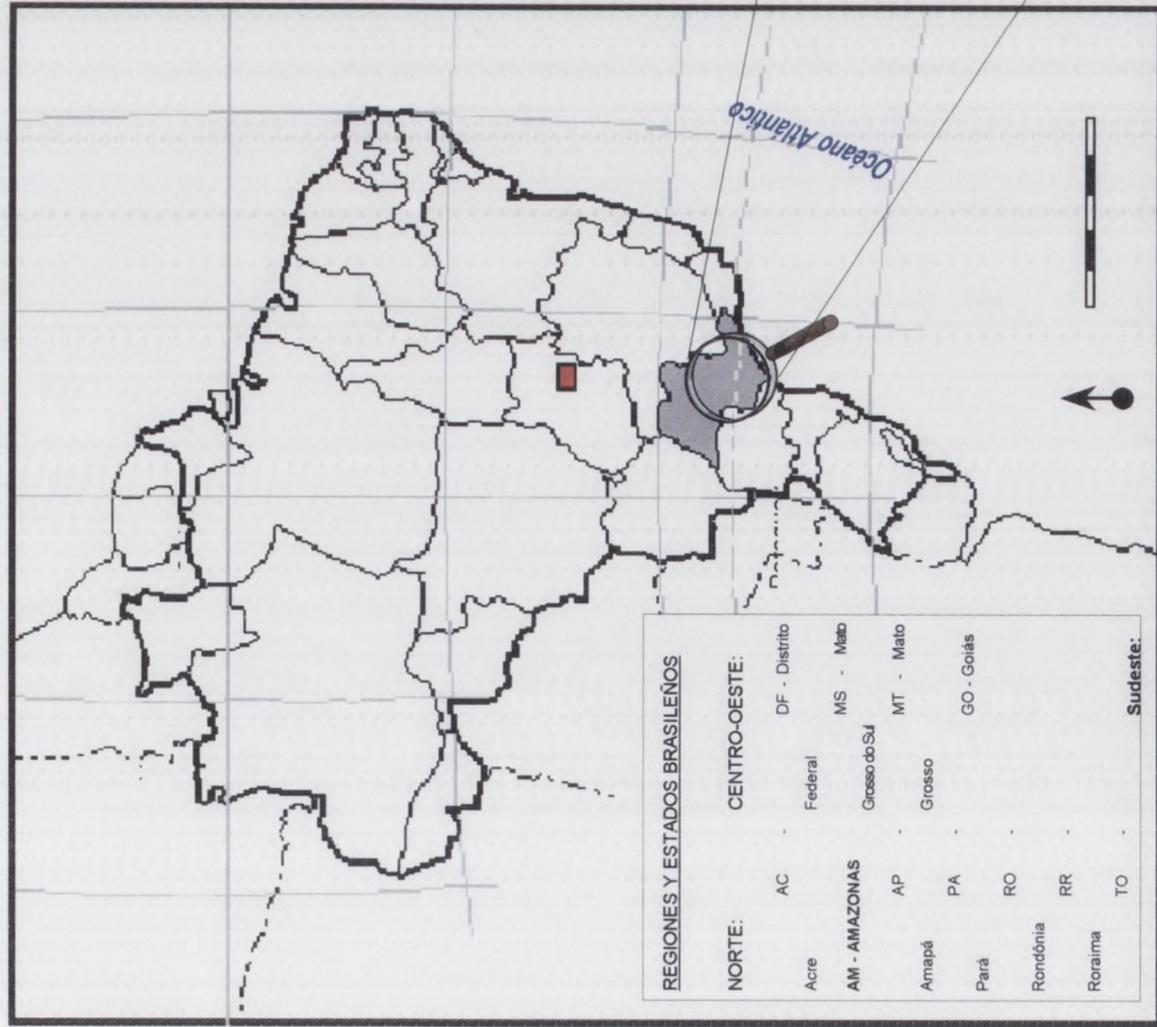


Figura III.1. Croquis de localización del Municipio de Guaíra en relación al Estado de São Paulo y Brasil. Elaboración propia.

Presentamos en la Tabla III.1 y en varios gráficos (Figuras III.2, 3, 4 y 5) informaciones recopiladas de agencias estadísticas oficiales del Estado de *São Paulo* (SEAD, 2001) y Brasil (IBGE, 2001a; IBGE, 2001b), con el fin de ilustrar algunas de sus características dentro del contexto brasileño, aunque nos centraremos en él más adelante aportando datos regionales.

Históricamente, la región de *São Paulo* fue un importante punto de entrada en la colonia por el puerto de *Santos*, tornándose rápidamente en un centro estratégico por reunir condiciones climáticas y de recursos naturales importantes, además de indígenas menos agresivos y que por fin fueron subjugados por los portugueses, nuevos dueños de las tierras a ser conquistadas y pobladas (Ribeiro, 1996).

Actualmente, la importancia de *São Paulo* en el escenario brasileño es muy clara, una vez que sus indicadores demográficos, económicos y sociales son superiores a la media nacional.

En la Tabla III.1 presentamos los datos, todavía preliminares, del Censo 2000 de la población residente en Brasil (IBGE, 2001b), sus distintas regiones y los Estados Federativos de la Región Sudeste. Además, incluimos los valores porcentuales de las regiones con relación al total nacional, y los porcentajes de los estados frente al total de la población residente en la Región Sudeste.

Tabla III.1. Población residente en el año 2000 en Brasil, sus Regiones y los Estados Federativos del Sudeste Brasileño.

Ámbito	Población Residente			Porcentaje	
	Rural	Urbana	Total	Brasil	Sudeste
Brasil	31.847.004	137.697.439	169.544.443	100	-
Regiones					
Norte	3.914.152	9.005.797	12.919.949	7,6	-
Nordeste	14.759.714	32.919.667	47.679.381	28,2	-
Centro - Oeste	1.540.568	10.070.923	11.611.491	6,8	-
Sur	4.780.924	20.290.287	25.071.211	14,8	-
SUDESTE	6.851.646	65.410.765	72.262.411	42,6	100
Estados					
<i>Espírito Santo</i>	633.707	2.459.464	3.093.171	-	4,3
<i>Minas Gerais</i>	3.211.498	14.623.990	17.835.488	-	24,7
<i>Rio de Janeiro</i>	569.056	13.798.169	14.367.225	-	19,8
<i>São Paulo</i>	2.437.385	34.529.142	36.966.527	-	51,2

Nota: Los datos referentes al año 2000 son preliminares. Fuente: IBGE (2001b).

Queda clara la importancia de la zona Sureste brasileña, toda vez que en sus cuatro estados residen cerca del 43% de la población nacional. En el ámbito regional, apreciamos la importancia del Estado de *São Paulo*, con una población residente de cerca de 36.970.000 de habitantes, es decir, el 51,2 % del total regional o 22% de la población brasileña.

Por otra parte, se observa la gran concentración de la población en las ciudades (representando el 81% del total) y el consecuente abandono del campo. La desproporción es más acusada en las regiones desarrolladas del Sur y, principalmente, Sudeste, donde los Estados de *São Paulo* y *Rio de Janeiro* presentan los valores extremos de la búsqueda de las ciudades por sus mejores condiciones de trabajo, con 93% y 96%, respectivamente. Es importante destacar que las capitales homónimas de esos dos estados - *São Paulo* y *Rio de Janeiro*, son las más pobladas de Brasil, siendo consideradas grandes metrópolis, con población estimada en cerca de 18.000.000 y 12.000.000 de habitantes, respectivamente, y con todos los problemas sociales como consecuencia del rápido crecimiento urbano.

La densidad demográfica en el Estado de *São Paulo* es de 135 habitantes/km², pero en un radio de cerca de 150 Km de la capital, ese valor puede llegar a 500 habitantes/km², lo que sugiere la fuerte presión antrópica sobre el territorio.

En la Figura III.2 observamos que del Producto Interior Bruto nacional, más de un tercio fue generado en el Estado de *São Paulo* y la renta per cápita era muy superior a la media nacional en 1998 (SEAD, 2001), datos que sitúan *São Paulo* como el estado más desarrollado de Brasil.

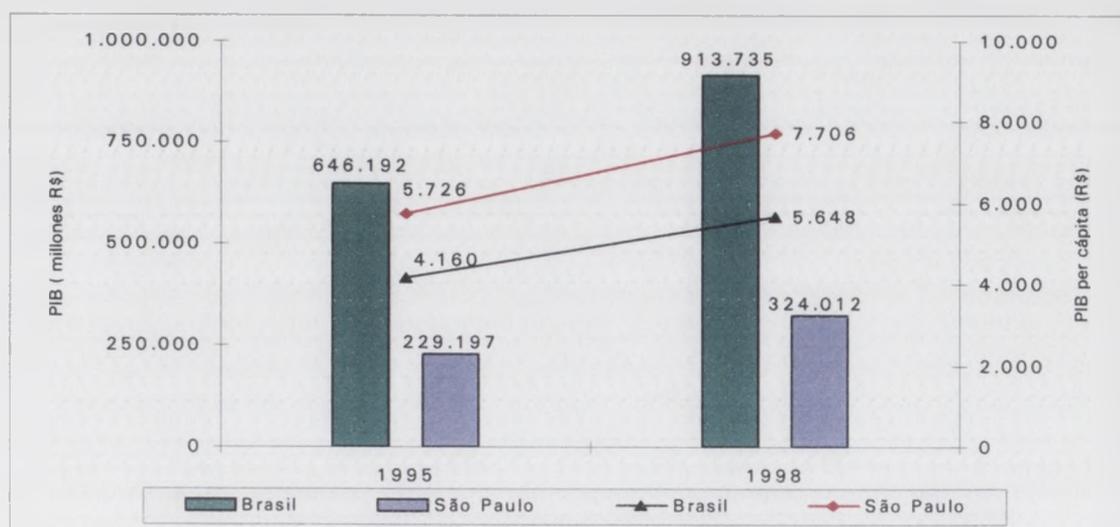


Figura III.2. Producto Interior Bruto y per cápita en dos muestras del Estado de *São Paulo* y Brasil. Nota: En el periodo \$ Real = \$ US Dólar. Fuente: SEAD (2001).

Ese mejor nivel económico se refleja directamente en algunos indicadores sociales, como por ejemplo analfabetismo de adultos, esperanza de vida y mortalidad infantil, siempre mejores que la media brasileña (Figura III.5).

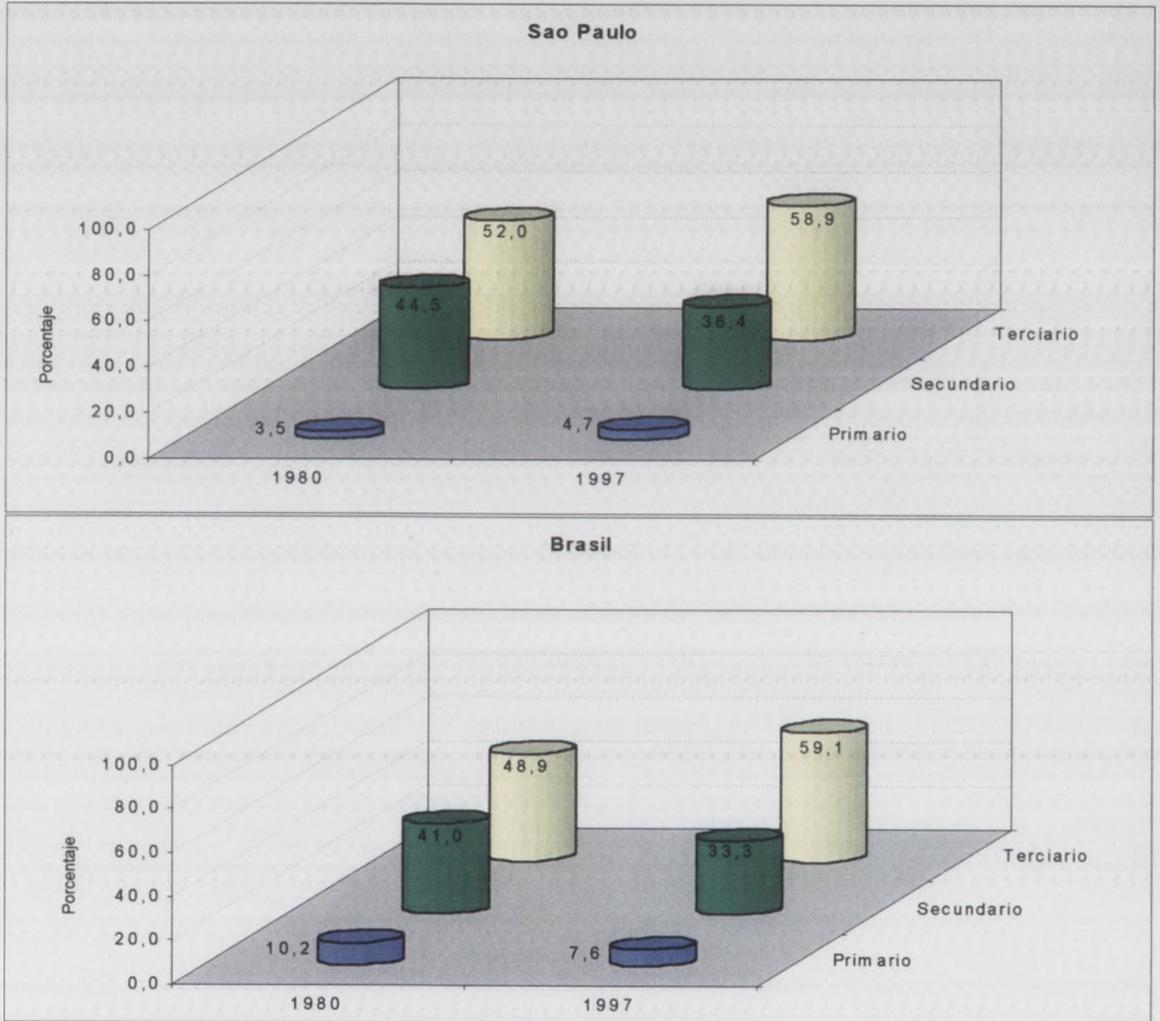


Figura III.3. Distribución interna del PIB en sectores económicos.
Fuente: SEAD (2001).ño

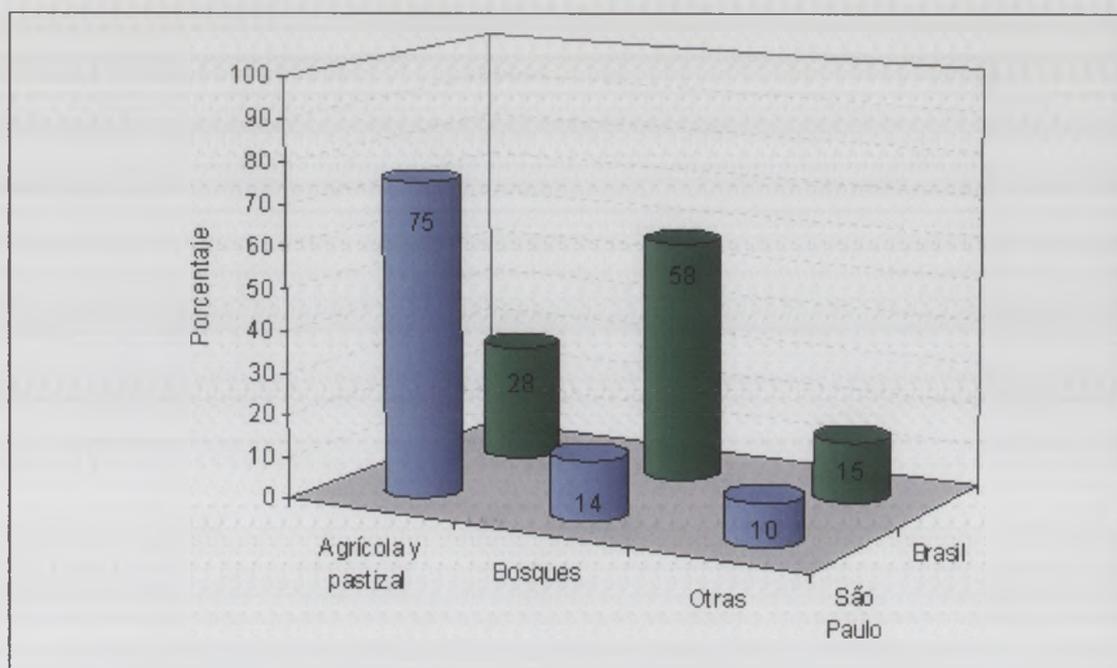
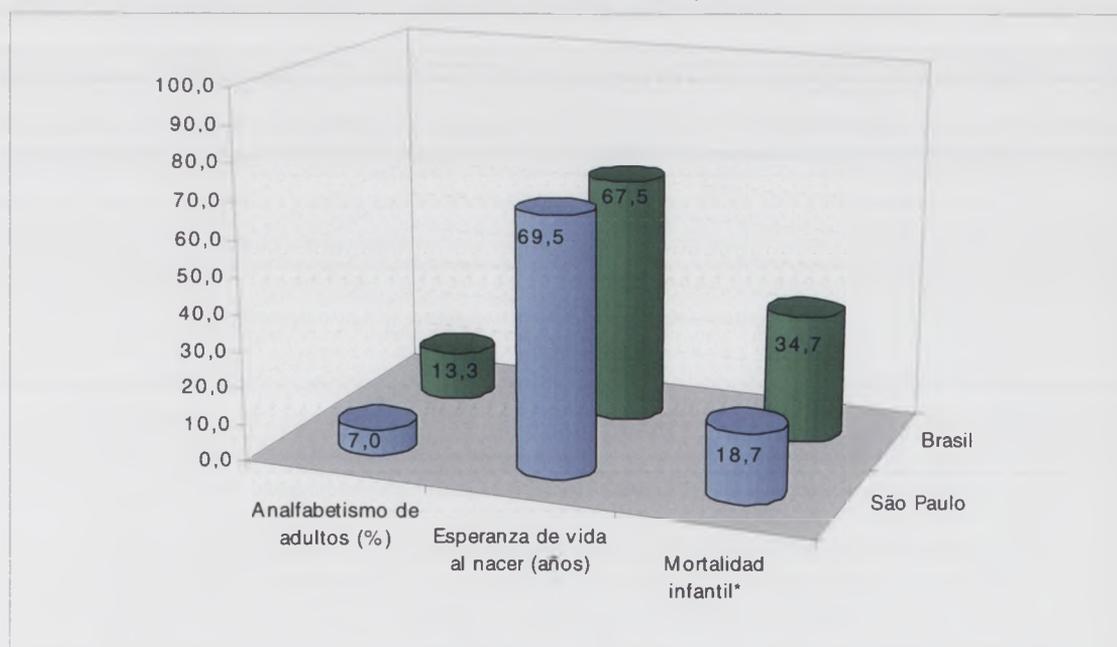


Figura III.4. Tipos de ocupación de las tierras en el Estado de *São Paulo* y Brasil. Fuente: IBGE (2001a).

Figura III.5. Indicadores sociales del Estado de *São Paulo* y Brasil.



Nota: Los datos de analfabetismo son del año 1999, mientras que los de esperanza de vida y mortalidad infantil del año 1996.* Tasa de mortalidad infantil (por cada 1.000 nacidos vivos). Fuente: SEAD (2001).

Aportamos a continuación, algunos datos de la actividad agrícola para demostrar la elevada especialización de *São Paulo* frente al resto de estados de Brasil (Tabla III.2)

Con una superficie de 248.808 km², *São Paulo* es considerado el estado más

Aportamos a continuación, algunos datos de la actividad agrícola para demostrar la elevada especialización de *São Paulo* frente al resto de estados de Brasil (Tabla III.2)

Con una superficie de 248.808 km², *São Paulo* es considerado el estado más desarrollado de Brasil, con una agricultura altamente especializada y productiva, dirigida hacia productos alimenticios (maíz, arroz, naranja, tomate, carne, leche) y energéticos (alcohol de caña de azúcar, carbón vegetal), que atrae a un gran número de inmigrantes de otras regiones en búsqueda de trabajo en el campo y en las ciudades. En casi todos los cultivos de la Tabla III.2, los rendimientos medios son superiores a la media nacional, demostrando el elevado aporte tecnológico y de capital en mecanización y uso de insumos como fertilizantes y plaguicidas.

Más de la mitad de la producción nacional de caña de azúcar fue cosechada en *São Paulo* en los tres periodos presentados. Y en el caso particular de la naranja, *São Paulo* generó en 1998 cerca del 82% de la producción total brasileña, hecho que, acompañado de los buenos precios del mercado internacional del zumo en los últimos años, provocó cambios significativos en la agroindustria del Estado, tradicional productor de café.

Pasemos ahora a centrarnos en un nivel un poco más detallado, en la región de *Guaira*.

Tabla III.2. Evolución de la producción agrícola en el Estado de São Paulo y Brasil.

Cultivos	Estado de São Paulo					
	1982			1992		
	Área cos. (mil Ha)	Prod. total (mil T)	Rend. medio (Kg/Ha)	Área cos. (mil Ha)	Prod. total (mil T)	Rend. medio (Kg/Ha)
Algodón	297	521	1.756	230	398	1.730
Arroz	308	421	1.367	189	337	1.783
Patata	30	528	17.602	27	568	20.667
Café	734	925	1.260	425	373	0.878
Caña de azúcar	1.137	78.798	69.288	1.890	145.500	77.037
Alubias	512	335	656	332	310	934
Naranja*	434	44.400	102.375	784	82.885	105.721
Maíz	1.170	2.827	2.417	1.566	4.075	2.602
Soja	540	1.044	1.935	466	854	1.833
Tomate	23	788	34.758	15	740	49.333
Trigo	143	153	1.066	69	102	1.478
Cultivos	Brasil					
	1982			1992		
	Área cos. (mil Ha)	Prod. total (mil T)	Rend. medio (Kg/Ha)	Área cos. (mil Ha)	Prod. total (mil T)	Rend. medio (Kg/Ha)
Algodón	1.439	1.559	1.083	1.594	1.863	1.170
Arroz	6.123	9.246	1.510	4.687	10.006	2.133
Patata	178	2.002	11.236	173	2.432	14.058
Café	2.316	2.701	1.166	2.500	2.589	1.036
Caña de azúcar	2.839	163.740	57.670	4.203	271.475	64.588
Alubias	5.199	2.404	462	5.149	2.797	543
Naranja*	580	56.472	97.340	989	98.411	99.506
Maíz	11.864	21.110	1.779	13.364	30.506	2.283
Soja	8.493	14.333	1.688	9.441	19.215	2.035
Tomate	51	1.576	30.695	52	2.141	41.173
Trigo	2.623	2.246	856	1.956	2.796	1.429

Nota: * Cantidad producida en millones de frutos y rendimiento medio en frutos por hectárea. Fuente: SEAD (2000)

III.2. Âmbito Local

Según SEAD (2001), el Municipio de *Guaira* posee una superficie de 1.061 km² y está situado en el extremo noreste del Estado de *São Paulo* (Figura III.1), y tiene como límites principales: el Río *Grande* en el norte, que hace la frontera con el Estado de *Minas Gerais*; en el nordeste el Río *Sapucaí*, y en oeste el Río *Pardo*.

Según la distribución administrativa de los municipios brasileños del IBGE (2001b), *Guaira* pertenece a la Mesoregión Geográfica de *Ribeirão Preto* y, juntamente a los Municipios de *Ipuã*, *Jaborandi*, *Miguelópolis*, *Morro Agudo*, *Nuporanga*, *Orlândia*, *São Joaquim da Barra* y *Sales de Oliveira*, constituyen la Microregión Geográfica de *São Joaquim da Barra*.

Con el cierre del Pantano de *Águas Vermelhas* en el Río Grande para generación de energía eléctrica a mediados de los años 80, *Guaira* pasó a presentar amplias áreas con gran belleza escénica y playas fluviales en los Ríos Grande, *Pardo* y *Sapucaí*; siendo actualmente considerado como Municipio con Potencial Turístico por la Embratur - Empresa Brasileña del Turismo.

Presentamos enseguida algunas informaciones con objeto de caracterizar *Guaira* desde un punto de vista ambiental y socioeconómico.

III.2.1. Medio físico

A continuación son descritas algunas de las características fisiográficas más importantes del entorno físico de *Guaira*.

III.2.1.1. Clima

Por su localización en el extremo nordeste de *São Paulo*, el área presenta condiciones de transición hacia el clima predominante en el Brasil Central, más seco y caluroso.

Según la clasificación de Köppen, el clima es del tipo Cwa, o sea, mesotérmico con invierno seco y verano lluvioso (Embrapa, 1995).

Presentamos en las Figuras III.6, 7 y 8 datos climáticos recopilados de varias fuentes (DAEE, 1976b; IPT, 1986), los datos brutos se incluyen en el Anexo III.1. Esos datos son referentes a la estación pluviométrica de *Guaira* (código B5-006R), operada por el DAEE - *Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo* (para el período de 1956

periodos distintos. El verano húmedo, con lluvias bien distribuidas e intensas, con mayor precipitación en los meses de enero y diciembre, y el invierno seco con muy poca lluvia en junio, julio, agosto.

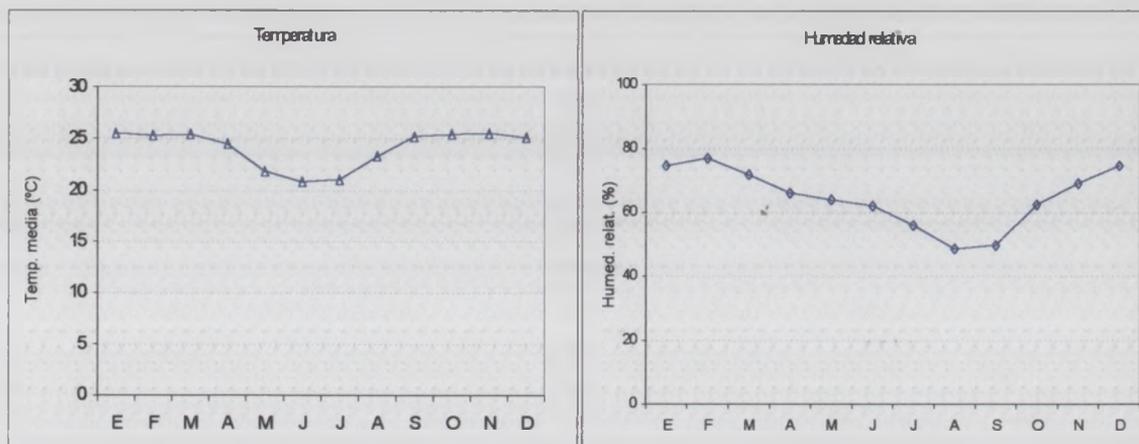


Figura III.6. Valores de las medias mensuales de temperatura y humedad relativa del aire en la región de *Guaira*.
Fuentes: IPT (1987) y DAEE (1976a).

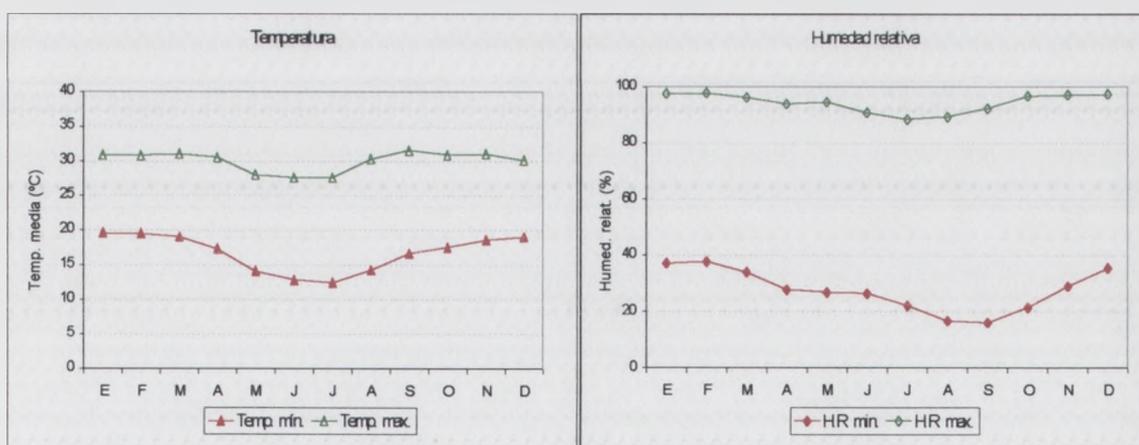


Figura III.7. Valores de las medias mensuales de las máximas y mínimas de temperatura y humedad relativa del aire en la región de *Guaira*.
Fuentes: IPT (1987) y DAEE (1976a).

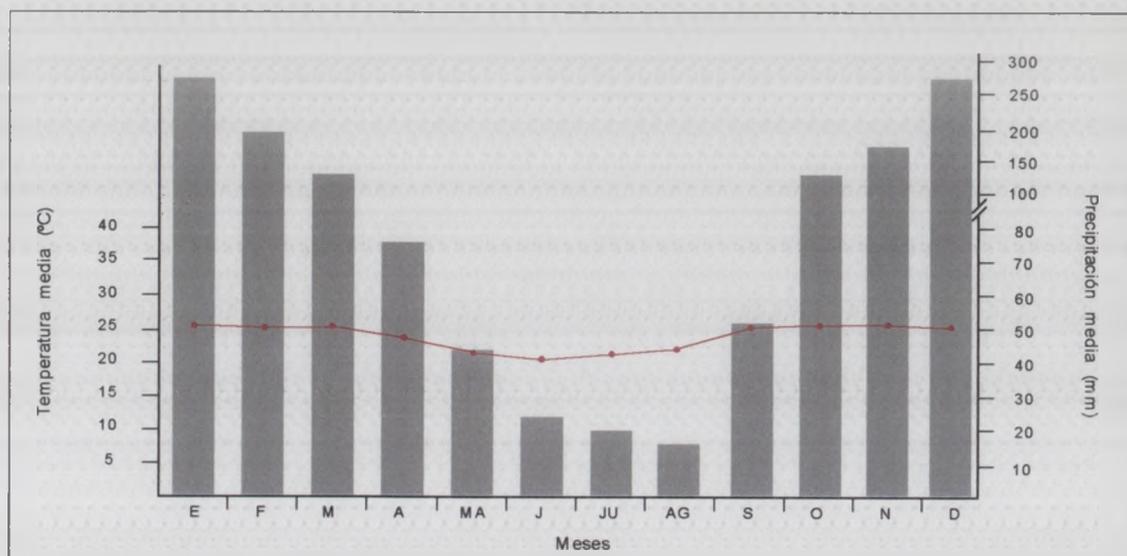


Figura III.8. Climograma de Gausson de las temperaturas medias y precipitación mensual media en la región de *Guaira*.

Fuentes: IPT (1987) y DAEE (1976a).

Los valores promedios de 17 años de temperatura del aire indican una pequeña amplitud anual, con media de las mínimas de 16,7°C y media de las máximas de 30,0°C, estando la media anual en 24°C. En cuanto a los datos de humedad relativa del aire durante el mismo periodo, las variaciones son más significativas, siendo considerada una de las regiones más secas del Estado, con un valor promedio anual inferior al 70%.

Según los cálculos realizados por IPT (1987), el déficit hídrico del suelo es máximo en el mes de agosto con cerca de 100 mm, totalizando 232 mm en el periodo de mayo a septiembre, considerado como el periodo más crítico para los cultivos temporales. En cuanto a los excedentes hídricos, llegan a los 593 mm en el año, con máximos valores en enero, febrero y diciembre.

III.2.1.2. Hidrografía

La región del entorno de *Guaira* puede ser considerada como la cabecera nordeste de la Cuenca Hidrográfica del Río de la Plata, formada principalmente por los Ríos Paraguay y Paraná, con una superficie de cerca de 3.100.000 km². Situada en una de las zonas más desarrolladas del Continente Suramericano, engloba Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay, actualmente se encuentra en máxima relevancia por su importancia estratégica para el Mercosur.

En términos geográficos, el Municipio de *Guaira* se encuentra entre dos importantes Subcuencas, la del *Baixo Pardo* que hace su límite occidental, y la del *Sapucaí - Mirim y Grande*, donde el Río *Sapucaí* representa el límite oriental (Figura III.1). Éstas, a su vez, forman parte de la Cuenca del Río *Grande*, importante afluente del Río *Paraná*.

Subcuencas, la del *Baixo Pardo* que hace su límite occidental, y la del *Sapucaí - Mirim y Grande*, donde el Río *Sapucaí* representa el límite oriental (Figura III.1). Éstas, a su vez, forman parte de la Cuenca del Río *Grande*, importante afluente del Río *Paraná*.

Administrativamente, se consensuó incluir *Guaíra* en la Subcuenca del *Sapucaí - Mirim y Grande*, de la cual presentamos en la Tabla III.3, algunas características generales, además de estimaciones de la demanda y disponibilidad hídrica.

Observamos que la mayor demanda de agua superficial, estimada para 2010, será para el regadío, ya que el consumo industrial y urbano es satisfecho, en su mayor parte, por de las aguas subterráneas, según datos de la *Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras do Estado de São Paulo* (SRHSO, 2001).

Tabla III.3. Principales características de la Cuenca Hidrográfica *Sapucaí-Mirim y Grande*.

Características Generales ¹⁾		
Área de drenaje (km ²)	9.007	
Principales usos de las aguas	Suministro público e industrial, vertido de efluentes y riego	
Principales usos de las tierras	Agrícola, pastoril, avícola, industrial, con agricultura intensiva bajo riego	
Principales actividades industriales	Alimentación, fábricas de azúcar y alcohol, cuero	
Demanda y Disponibilidad Hídrica ²⁾		
VARIABLES	1990	2010
Población total (1.000 hab.)	476	627
Demanda hídrica (m ³ /s)		
Urbana	1,8	1,8
Industrial	0,3	0,3
Riego	8,8	17,4
Total	10,9	19,5
Disponibilidad (caudal de referencia en m ³ /s)	35,0	-
Carga contaminante (DBO _{total} /día)		
Urbana	55,6	-
Industrial	459,2	-
Total	514,8	-

Fuentes: 1) Cetesb (2001); 2) SRHSO (2001).

Se puede notar, además, que gran parte de las aguas residuales no reciben tratamiento adecuado y son lanzadas directamente a los cauces de los ríos, siendo la mayor carga contaminante proveniente de los vertidos industriales, con productos orgánicos que elevan sobremanera la tasa de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_{total}) en las proximidades del vertido.

Existen en la zona, dos puntos de análisis de agua de la red de monitoreo estatal bajo responsabilidad de la CETESB (*Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo*). Esos puntos están localizados en

los tramos finales de los Ríos *Sapucaí* y *Pardo*, siendo consideradas sus aguas de buena calidad en el Plan de Gestión de las Cuencas Hidrográficas del Estado de *São Paulo* (CETESB, 2001). Puede deducirse que, por el elevado caudal, los grandes ríos tienen un elevado poder de auto-depuración, por lo menos en cuanto a los parámetros cuantificados por Cetesb (2001).

Además de los cauces principales antes mencionados, una intensa red de Subcuencas drena el área proporcionando una buena y continua disponibilidad de agua superficial para abastecimiento urbano y usos agrícolas.

Entre ellas, la subcuenca del *Ribeirão Jardim*, afluente del Río *Sapucaí* que corta el Municipio de *Guaira* en el sentido sudeste - noroeste, pasando por el área urbana de *Guaira*, nos interesa más especialmente por su importancia local para el suministro de agua municipal y por ser ampliamente utilizado para riego, como indicaremos en detalle más adelante.

En términos hidrogeológicos, la presencia del Acuífero *Serra Geral* es igualmente importante en la zona, ya que la base geológica estratificada de areniscas y basalto representa buenas condiciones de almacenaje de agua, con una caudal potencial de 5 a 50 m³/h (SRHSO, 2001). Los pozos existentes, aunque sean relativamente profundos -cerca de 100 metros-, son más utilizados para abastecimiento urbano por la excelente calidad del agua.

III.2.1.3. Geología, relieve y suelos

El Estado de *São Paulo* presenta formaciones geológicas con gran contrastes que se caracterizan básicamente por dos grandes dominios, la formación cristalina del periodo Arcaico dispuesta en la porción oriental, y los depósitos sedimentarios de distintos periodos asociados a formaciones volcánicas e intrusiones mesozoicas, ubicados en el interior del territorio y formando la gran cuenca sedimentaria del Paraná.

Así que, geológicamente, *Guaira* está localizada en la extensa Provincia del Paraná, caracterizada por extensos derrames magmáticos de basaltos y diabasas de la Formación "*Serra Geral*", que cubrieran gran parte del interior del Estado de *São Paulo* en el Triásico-Jurásico. Además, aparecen formaciones de areniscas eólicas de la Formación "*Botucatú*", depositadas en ambiente desértico durante el Jurásico Superior (Ab'Sáber, 1970; DAEE, 1976b; Gonzalez y Araujo, 1993).

Partiendo de la costa hacia el interior del Estado de *São Paulo*, encontramos las siguientes unidades de relieve:

- *Provincia Costera*: incluye una estrecha faja del litoral limitada por las serranías

costeras que marcan la barrera natural para adentrar en el interior del Estado;

- *Planalto Atlántico*: formaciones de rocas cristalinas de altitud variable entre los 350 – 600 metros con drenaje predominantemente dirigido hacia el interior;
- *Depresión Periférica*: faja de contacto entre el Planalto Atlántico y las formaciones del interior, siendo caracterizada por variada geomorfología causada por la acción erosiva de la intensa red hidrográfica que se dirige hacia el interior, con variación altimétrica entre 450 y 750 metros;
- *Cuestas Basálticas*: formadas por remanentes erosionados de rocas volcánicas de la Cuenca del Paraná en formaciones de disposición en arco bordeando la Depresión Periférica, y con bruscos cambios altimétricos que van desde 500 hasta 800 metros; y
- *Planalto Occidental*: que cubre la mayor parte del territorio paulista y es caracterizado por relieve suave ondulado con altitudes de 300 hasta 650 metros, marcando el principio de la cuenca sedimentaria del Paraná.

Guaíra está ubicada en ésta última unidad, donde la extensa Cuenca Sedimentaria del Río Paraná es el elemento fundamental del modelado. Coexisten tierras relativamente llanas con declives entre 2 y 6% y altitudes de 445 y 555 metros, ofreciendo un relieve uniforme. Estructuralmente el área es considerada como un gran monoclinal con ligera inclinación hacia el noroeste por influencia del drenaje proporcionado por los Ríos Paraná y *Grande* (Regis, 1993).

Los principales grupos de suelos que ocurren en la región de *Guaíra* y derivados de la matriz geológica de la formación "*Serra Geral*", presentan fuerte predominancia de asociaciones de "*Latossolos Roxos ácidos y distróficos*"¹ además de manchas de "*Latossolo Variación Una*" (São Paulo, 1991), que juntos corresponden a cerca del 87% del área del Municipio, conforme se indica en la Tabla III.4. Sus características generales son: bien desarrollados y muy meteorizados, profundos (más de 2 metros), bajo contenido de materia orgánica y porosos, ligeramente ácidos, baja capacidad de intercambio catiónico y de saturación de bases, elevado grado de óxido de hierro y con color rojo oscuro (Prado, 1998).

¹ La nomenclatura es de la Sociedad Brasileña de Ciencia del Suelo

Tabla III.4. Principales clases de suelos y superficie ocupada en el Municipio de *Guaira*.

Principales Asociaciones de Suelos			Superficie en Ha. (%)
<i>Sociedade Brasileira de Ciência do Solo</i>	FAO	Soil Taxonomy - USDA	
<i>Latossolo Roxo</i> ^{a)}	<i>Ferralsols</i>	<i>Oxisols</i>	92.574 (77,1)
<i>Latossolo Variação Una</i> ^{b)}	<i>Ferralsols</i>	<i>Haplultox/Acrustox</i>	12.791 (10,7)
<i>Latossolo Vermelho Escuro</i> ^{c)}	<i>Ferralsols</i>	<i>Haplultox/Eutrultox</i>	3.554 (3,0)
<i>Solos Gleizados</i>	<i>Gleysols</i>	<i>Inceptisols</i>	9.500 (7,9)

Notas: a) variaciones (distrófico, eutrófico, árido) agregadas; b) variaciones (distrófico, eutrófico, árido, álico) agregadas; c) variaciones (distrófico, eutrófico, álico) agregadas. Fuente: São Paulo (1991) y modificado a partir de IPT (1995).

III.2.1.4. Principales hábitats

En la Figura III.9 se puede visualizar una generalización de las grandes regiones fitogeográficas potenciales de Brasil y las áreas de mayor presión antrópica (IBGE, 1993).

Se destaca la casi totalidad de cobertura del territorio por formaciones boscosas, donde los grandes protagonistas son las selvas ecuatorial y atlántica, consideradas los mayores remanentes del planeta deste importante bioma.

El segundo bioma en extensión territorial, originalmente con más del 22% del total nacional, son las formaciones de tipo sabánica del planalto brasileño, llamadas genéricamente *Cerrados*, que se prolongan por el sur hasta el Estado de *São Paulo* (Figura III.9).

Por su ubicación central en el territorio brasileño, sufre significativa influencia de otros biomas limítrofes, principalmente de los bosques ecuatoriales y atlántico, y de la formación estépica de ambientes semiáridos (*Caatinga*), lo que confiere al *Cerrado* una gran variedad florística.

Su biodiversidad es estimada en 1/3 de la biota total de Brasil y en 5% de la fauna y flora mundiales y, según Dias (1992), presenta una riqueza mínima estimada en 320.000 especies, distribuidas por 35 filos y 89 clases taxonómicas.

Así que, se puede decir que, originalmente en *Guaira*, había un predominio de los hábitats ofrecidos por los *Cerrados* en las tierras más altas, entremezclados con los bosques galería y vegetación de ribera a lo largo de los ríos. Pero, por la intensa presión antrópica, muy poco queda de estos hábitats nativos, los cuales son caracterizados enseguida, aportando informaciones sobre la flora y fauna típicas.

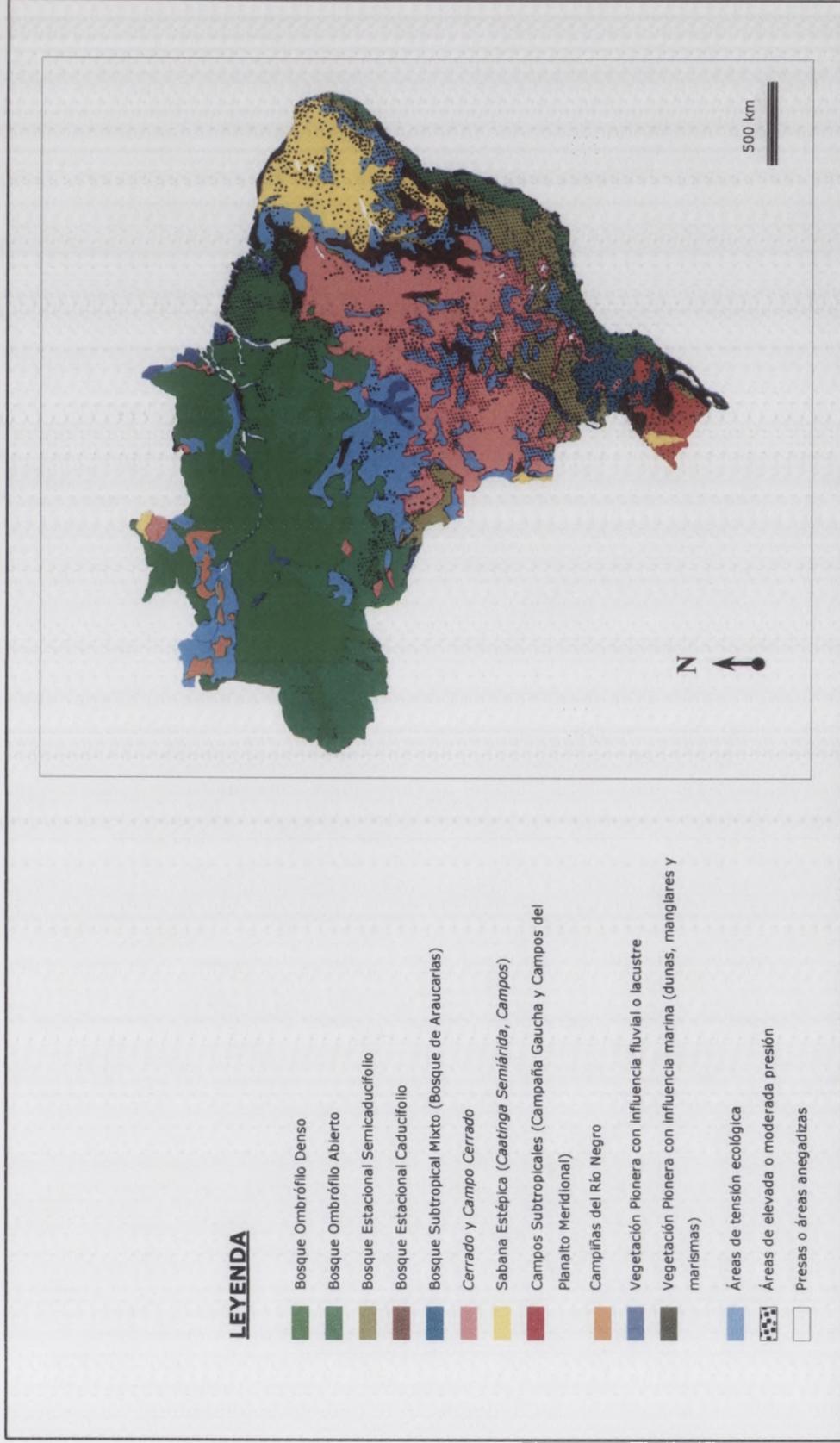


Figura III.9. Grandes regiones fitogeográficas de Brasil y distribución espacial de las áreas de mayor presión antrópica. La generalización de densidad de puntos intenta representar las principales actividades de explotación de las tierras (urbanización, agricultura, ganadería, minería y otras acciones extractivas). Modificado a partir de IBGE (1992).

En términos florísticos, estimase en 10.000 el número de especies de plantas vasculares presentes en los *Cerrados*, de las cuales 4.400 son endémicas, incluyendo casi todas las gramíneas (Mittermeier et al., 1999).

De entre las muchas plantas nativas de los *Cerrados* con aprovechamiento económico, destacamos algunas que más importancia presentan, como los géneros: *Anacardium sp.* (acajú), *Manihot sp.* (yuca), *Ananas sp.* (piña), *Annona sp.*, *Dioscorea sp.* (cará), *Diospyrus sp.* (caqui), *Psidium sp.* (guayaba), *Passiflora sp.* (maracuyá), *Arachis sp.* (cacahuete) y *Paullinia sp.* (guaraná).

A pesar de la fisionomía de la vegetación -su carácter árido implica la presencia de troncos retorcidos con gruesa corteza y hojas gruesas y pilosas-, se considera actualmente que los *Cerrados* están más condicionados por factores edafológicos y nutricionales que por los agentes climáticos. Ya que las raíces de las plantas pueden llegar a varios metros de profundidad para absorber agua, sus hojas permanecen verdes en el periodo estival y muchas de las especies autóctonas se reproducen en ese periodo (Goodland y Ferri, 1979). Por otra parte, muchas plantas nativas presentan adaptaciones fisiológicas para soportar los elevados grados de hierro y aluminio presentes en los ácidos suelos de los *Cerrados*.

Otros autores consideran que el fuego representa un papel fundamental en la variabilidad de la estructura fisionómica y florística de los *Cerrados* (Coutinho, 1982; Durigan et al., 1994). Gran parte de las especies vegetales presentan adaptaciones contra el fuego, como corteza gruesa y yemas subterráneas. Esos autores afirman que el fuego, conjugado con otros factores edafológicos, hídricos y microclimáticos, influye decisivamente en las distintas formaciones encontradas en el mosaico vegetal, conocido genéricamente como "*Cerrados*".

Esas variaciones caracterizan las formaciones llamadas de *Cerradão*, *Cerrado* y *Campo cerrado*, que presentan distintas composiciones botánicas y estructura de la vegetación, conforme se ilustra en la Tabla III.5. Así, se encuentra una jerarquía decreciente en cuanto al número de especies arbóreas y su densidad del *Cerradão* al *Campo cerrado* (Ribeiro, 1998; Ribeiro et al., 1985).

Tabla III.5. Algunas características que diferencian los tres principales tipos de *Cerrados*.

Características	<i>Cerradão</i>	<i>Cerrado</i>	<i>Campo cerrado</i>
Diversidad (n° especies arbóreas)	81	66	26
Densidad (n° de árboles/Ha)	2.231	911	203
Sombreamiento (%)	93	34	6

Fuente: Modificado a partir de Ribeiro et al. (1985).

Actualmente, estos hábitats se encuentran extremadamente fragmentados, de acuerdo con un interesante estudio de la evolución de la ocupación de los *Cerrados* en el Estado de *São Paulo*, en el periodo del 1962 y 1992 (Kronka et al., 1998). La reducción del área de ocurrencia fue del 87%, siendo que en la Región de Ribeirão Preto el valor fue de 442.330 Ha. Según Kronka et al. (1998), se registró la ocurrencia de 8.353 fragmentos de *Cerrados* en 1992, de los cuales 52,3% son menores que 10 hectáreas, mientras que solamente el 0,5%, mayores que 400 Ha.

Las principales causas apuntadas por Kronka et al. (1998), son la ausencia de políticas específicas de protección para este tipo de vegetación, al contrario de lo que ocurre con los Bosques Tropicales (*Mata Atlântica*); el avance de la reforestación con pinos y eucaliptos sobre las tierras marginales y de los cultivos temporales como la caña de azúcar y citros (Kronka et al., 1998).

Por la intensa presión antrópica a que están sujetos y por su gran importancia ecológica, los *Cerrados* pasaron a integrar la lista de las ecoregiones de mayor biodiversidad y más amenazadas de degradación, las HOTSPOTS (Mittermeier et al., 1999). Esto indica, por lo menos, que existe una preocupación generalizada en cuanto al futuro de ese importante bioma y de sus diversificados hábitats. En la Fotografía III.1, se aprecia una de éstas manchas remanentes en Guaira, donde se puede observar el efecto de un incendio reciente sobre la vegetación del borde del *Cerrado*.

En *Guaira* quedan algunas pocas manchas de *Cerrado* y de las formaciones campestres con predominio de gramíneas y pequeños arbustos dispersos, que se establecieron por la utilización del fuego como forma de "limpiar" las parcelas para el pastoreo y cultivo ocasional. Ésta era una práctica considerada muy común, tanto entre los primeros colonizadores, como por los indígenas que habitaron el área en tiempos más remotos, que seguramente practicaban la "agricultura itinerante" (Abreu, 1994; Dean, 1996).

En lo que se refiere a la fauna característica de los *Cerrados*, como se puede imaginar, restan en la zona de estudio muy pocos ejemplares como consecuencia de la caza indiscriminada y de la reducción o pérdida de sus hábitats.

Según Fonseca (1992), la principal importancia del bioma de los *Cerrados* está en su diversidad y grado de endemismo de invertebrados, y no de los grandes vertebrados, con muy pocas especies endémicas. Hecho apuntado ya, en la década de los sesenta, por otros investigadores (Vanzolini, 1963). De cualquier manera, según el primer autor, existen muy pocos trabajos dirigidos a la conservación de los *Cerrados* debido a la presión de la frontera agrícola, con serios riesgos para la flora y flora endémicas.

Mittermeier et al. (1999), aportan una estimativa del número total de especies

nativas y del número de endemismos de animales presentes en el bioma de los *Cerrados*, enseguida presentado:

Clase	Total de especies	Especies endémicas
Mamíferos	161	19
Aves	837	29
Reptiles	120	24
Anfibios	150	45

Por la elevada biodiversidad, aportamos en la Tabla III.6, datos generales de la ocurrencia de algunos grupos característicos del bioma de los *Cerrados*, y las respectivas especies amenazadas de extinción (Brasil, 1998; Embrapa, 1996).

De esos animales, quizás los más conocidos sean los grandes mamíferos predadores, como el *Puma*, *Jaguaritica* y el *Lobo-guará*. Este último, un bello cánido pelirrojo de largas piernas, es considerado animal símbolo de los *Cerrados* por ser una especie endémica y en riesgo de extinción (Fonseca, 1992; IBAMA, 2001).

Tabla III.6. Ejemplares de la fauna amenazada de extinción de los *Cerrados*.

Clase	Familia	Especie	Nombre regional
Mamíferos	Canidae	<i>Chrysocyon brachyulus</i>	<i>Lobo-guará</i>
		<i>Speothus vanaticus</i>	<i>Cachorro-do-mato vinagre</i>
	Felidae	<i>Felis concolor</i>	<i>Puma</i>
		<i>Felis pardalis</i>	<i>Jaguaritica</i>
	Mustelidae	<i>Pteronura brasiliensis brasiliensis</i>	<i>Ariranha</i>
	Cervidae	<i>Mazama gouazoibira</i>	<i>Veado catingueiro</i>
Myrmecophagidae	<i>Myrmecophaga tridactyla</i>	<i>Tamandúá-bandeira</i>	
Aves	Psittacidae	<i>Ara chloroptera</i>	<i>Arara-vermelha</i>
		<i>Aratinga guarouba</i>	<i>Ararajuba</i>
	Accipitridae	<i>Harpia harpia</i>	<i>Gavião-real</i>
		<i>Spizaetus ornatus</i>	<i>Gavião-de-penacho</i>
	Columbidae	<i>Columbina cyanopsis</i>	<i>Rolinha-do-planalto</i>
Reptiles	Alligatoridae	<i>Caiman l. latirostris</i>	<i>Jacaré-de-papo-amarelo</i>
	Chelidae	<i>Hydromedusa maximiliani</i>	<i>Cágado</i>

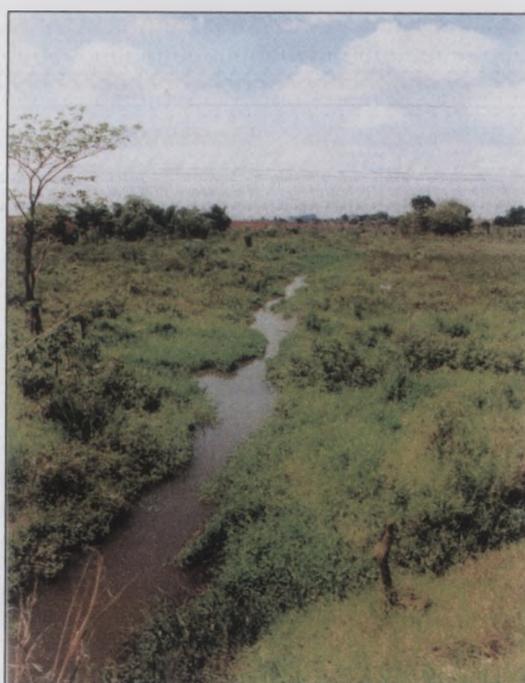
Fuente: Embrapa (1996), Brasil (1998).

Otros hábitats de gran importancia ecológica son los bosques galería, formaciones forestales dispuestas a lo largo de los ríos, de porte más alto y exuberantes por la mayor fertilidad de los suelos y disponibilidad hídrica (Ribeiro, 1998). Quizá, éstos sean una prolongación natural del más importante bosque del sudeste brasileño, la "*Mata Atlántica*" (Dean, 1996).

Actualmente, existen muy pocos representantes de estas áreas, una vez que las



Fotografía III.1. Vista de un área remanente de *Cerrado* en la zona de Guaiara.



Fotografía III.2. Vista de las *várzeas* del *Ribeirão Jardim* cercanas de la ciudad de *Guaiara*.

III.2.1.5. Espacios protegidos y áreas de uso público

Desgraciadamente, en el territorio del Municipio de *Guaiara* no existe ningún área de protección ambiental de gran extensión, con excepción de las ubicadas en el casco urbano, destinadas como parques de ocio y ampliamente utilizados por los moradores.

El más importante y frecuentado es el Parque Ecológico *Maracá*, con área aproximada

III.2.1.5. Espacios protegidos y áreas de uso público

Desgraciadamente, en el territorio del Municipio de *Guaira* no existe ningún área de protección ambiental de gran extensión, con excepción de las ubicadas en el casco urbano, destinadas como parques de ocio y ampliamente utilizados por los moradores.

El más importante y frecuentado es el Parque Ecológico *Maracá*, con área aproximada de 50 hectáreas, ofreciendo amplios espacios para caminar, equipamientos deportivos y un lago. El otro parque, llamado Bosque Municipal, trátase de un sencillo zoológico, con algunas pocas especies de animales de ocurrencia en la zona.

Las unidades de conservación estatales (bosques estatales, estaciones ecológicas o parques naturales) más cercanas a *Guaira* están, por lo menos, a una distancia de 70 km. De las cuales, se destacan la *Floresta Estadual de Batatais* con cerca de 1.300 hectáreas, y el *Parque Estadual de Porto Ferreira*, con área total de 600 hectáreas; mantenidos por el *Instituto Florestal do Estado de São Paulo* (IF, 2001).

III.2.2. Medio antrópico

A continuación, presentamos informaciones de carácter socioculturales del entorno de *Guaira*.

III.2.2.1. Breve historia

El Municipio de *Guaira* presenta una historia relativamente reciente de ocupación, que se inicia en los finales del siglo XIX con la llegada de inmigrantes provenientes principalmente del vecino Estado de *Minas Gerais* en búsqueda de tierras vírgenes para explotar (Abreu, 1994).

Estos primeros tiempos fueron muy duros, pues el pueblo estaba aislado por los grandes y caudalosos ríos y las travesías eran realizadas en balsas para comercializar los productos de la tierra junto a otros productos manufacturados en las ciudades más pobladas. El primer puente de madera, construido en 1919 sobre el Río *Pardo*, significó un fuerte avance para el desarrollo local permitiendo el mayor flujo de productos con las ciudades de *Barretos* y *Ribeirão Preto*.

Guaira, que en el lenguaje indígena significa aguas corrientes, fue decretado municipio en 1928 y luego recibió la red de energía eléctrica y el teléfono, fundamentales para el despliegue del desarrollo local. Según el levantamiento realizado para el catastro del recién creado municipio, en 1928 había 10.109 habitantes en todo el territorio de *Guaira*

(Napolitano, 1986).

Todavía, como la región no reunía las condiciones más favorables para el cultivo de café debido a la presencia de heladas, quedó durante mucho tiempo fuera del circuito productivo y económico representado por los grandes productores del Estado de *São Paulo*.

Solamente a mediados del siglo pasado, tras la segunda guerra mundial, la agricultura empezó a tomar una forma más definitiva y el algodón fue el principal producto, favorecido por las buenas condiciones agronómicas para su cultivo. Entretanto, la ganadería de bovinos y porcinos representaba una de las principales actividades productivas, por influencia directa de la tradición regional de los primeros inmigrantes. Un gran avance en la ganadería de carne local fue logrado con la introducción de ejemplares de la raza Cebú, mucho más productivos y que se adaptaron muy bien a las condiciones climáticas de la región.

III.2.2.2. Población

Presentamos en la Tabla III.7, datos de la población según el lugar de residencia en algunos municipios seleccionados de la Mesoregión Geográfica de *Ribeirão Preto* en 1996 y 2000 (IBGE, 2001b).

La población residente de la mesoregión en 1996, estimada en 1.957.436 habitantes, aumenta hasta 2.103.735 hab. en el año 2000 (IBGE, 2001b), lo que significa un incremento anual del 1,86%. *Ribeirão Preto*, la capital regional es la ciudad más poblada y concentra el 24% de los efectivos demográficos de la Mesoregión. Presenta los mayores desequilibrios entre la población urbana y rural, ya que la primera significa el 99,5% del total. Las siguientes ciudades, por orden de población, son Barretos (103.874 hab.) y *Orlândia* (35.982 hab.). *Guaíra*, con la misma característica, presenta una población total de 34.599 habitantes, de los cuales el 93% viven en el centro urbano. La ciudad de *Colômbia* se encuentra en el otro extremo, teniendo mayor peso la población rural que las ciudades del grupo anterior.

Desde el punto de vista de evolución demográfica (valores de tasa media de incremento anual), se puede notar un ligero crecimiento en casi todas las ciudades, excepto para *Colômbia*, donde la población total ha disminuido. Llama la atención los datos de *Orlândia*, que presenta una drástica reducción de la población rural; hecho observado con menor intensidad en otros municipios, como por ejemplo, *Miguelópolis*, *Ipuã*, *Jaborandí*, *Guaíra*, *Colina* y *Morro Agudo*. Por otro lado, la población rural de *Ribeirão Preto*, *Colômbia* y *Barretos*, demuestra un ligero, pero importante aumento.

Tabla III.7. Población residente en municipios seleccionados de la Mesoregión Geográfica de *Ribeirão Preto* en 1996 y 2000.

Municipios	Local	Número de Habitantes		Tasa de increm ²	Municipios	Local	Número de Habitantes		Tasa de increm ²
		1996	2000 ¹				1996	2000 ¹	
<i>Barretos</i>	Rural	4.957	5.052	0,48	<i>Jaborandí</i>	Rural	682	566	-4,55
	Urbana	95.689	98.822	0,81		Urbana	5.726	5.844	0,51
	Total	100.646	103.874	0,79		Total	6.408	6.410	0,01
<i>Colina</i>	Rural	1.901	1.767	-1,81	<i>Miguelópolis</i>	Rural	1.996	1.459	-7,54
	Urbana	14.489	14.888	0,68		Urbana	16.669	17.547	1,29
	Total	16.390	16.655	0,40		Total	18.665	19.006	0,45
<i>Colômbia</i>	Rural	1.700	1.839	1,98	<i>Morro Agudo</i>	Rural	2.782	2.630	-1,39
	Urbana	4.338	4.116	-1,30		Urbana	20.494	22.767	2,66
	Total	6.038	5.955	-0,35		Total	23.276	25.397	2,20
<i>Guaira</i>	Rural	2.813	2.335	-4,55	<i>Orlândia</i>	Rural	6.329	801	-40,35
	Urbana	30.301	32.264	1,58		Urbana	27.833	35.181	6,03
	Total	33.114	34.599	1,10		Total	34.162	35.982	1,31
<i>Ipuã</i>	Rural	872	677	-6,13	<i>Ribeirão Preto</i>	Rural	2.128	2.679	5,93
	Urbana	10.122	11.191	2,54		Urbana	454.124	502.333	2,55
	Total	10.994	11.868	1,93		Total	456.252	505.012	2,57

Nota: 1) Valores del año 2000 son provisionales; 2) Tasa media de incremento anual. Fuente: IBGE (2001b)

III.2.2.3. Sistemas agrarios

El gran desarrollo de la agricultura en *Guaira* tiene su inicio con la ejecución, por parte del gobierno estatal, de proyectos de implantación de áreas de riego en sitios seleccionados por varios factores, como la adecuación de las características territoriales y la capacidad empresarial de los propietarios rurales. Varios estudios fueron desarrollados en la década de los setenta para elegir áreas potenciales y *Guaira* reunía condiciones excelentes (DAEE, 1976b). En pocos años, un nuevo e intensivo sistema productivo fue implantado con éxitos económicos, pero con cambios muy significativos en el paisaje local.

Las informaciones agrarias, disponibles sobre el ámbito de estudio, más actualizadas son del Censo Agropecuario 1995-96 del IBGE (IBGE, 2001a), del cual extrajimos los datos presentados a continuación.

En la Tabla III.8, se puede consultar la distribución de las propiedades rurales en la mesoregión, según el tamaño, y el total del Estado de *São Paulo*. En la cual, observamos que la zona de *Guaira* puede ser considerada como de relativo predominio de las pequeñas y medianas propiedades con áreas menores de 100 Ha, ya que más del 50% del total se

encuadra en esa categoría. Pero, diferentemente de la media estatal, en *Guaira* las pequeñas propiedades –menores que 10 Ha– representan un 11%, mientras que la media en *São Paulo* es del 30%. No obstante, el Municipio de *Guaira*, al igual que en otros municipio, como *Colômbia*, *Ipuã*, *Miguelópolis*, *Morro Agudo* y *Orlândia*, las grandes propiedades mayores que 100 Ha, son suficientemente significativas (44% sobre el total).

Desde el punto de vista de los rendimientos medios, se nota la tendencia general de incremento para la mayoría de los cultivos, indicador del nivel de aplicación tecnológica, excepto para la caña de azúcar que presenta valores muy variables.

En la Tabla III.9 están representados los datos de ocupación territorial de municipios seleccionados de la mesoregión (IBGE, 2001a). Como referencia general, anexamos los valores totales del Estado de *São Paulo*.

Queda claro el peso de la mesoregión en cuanto a la proporción de tierras cultivadas, tanto frente al total de las tierras con potencial productivo municipal como estatal, pues los valores son siempre muy superiores. Desde el punto de vista de la ocupación por pastizales cultivados o naturales, *Barretos* es el municipio más importante con superficie casi similar a las tierras de cultivo. Como consecuencia de esta fuerte ocupación territorial, los bosques naturales o cultivados son muy poco representativos; lo mismo pasa con las tierras destinadas al barbecho que con excepción de *Barretos* y *Ribeirão Preto*, son prácticamente inexistentes en la región. En *Guaira*, el 76% de la superficie municipal está ocupada por tierras cultivadas, existiendo menor presencia de los pastizales (14,6%) y de los bosques (2,2%)

En lo que se refiere a las tierras de labor, es patente el fuerte predominio de los cultivos temporales frente a los permanentes. Para ejemplificar esta tendencia aportamos, en las Tablas III.10 y III.11, algunas características de los principales productos de la mesoregión. Dada la variedad de los datos referidos a los cultivos temporales, resumimos los más importantes. En *Guaira*, de los 80.777 Ha. de tierras cultivadas, tan sólo 30 Ha. se dedicaban en 1995 al cultivo permanente de la goma, extraída de la *Hevea brasiliensis*.

Para el caso de los cultivos temporales (Tabla III.11), es impresionante el avance de la caña de azúcar en detrimento de otros cultivos tradicionales como algodón, arroz y alubias. En algunos casos, como *Ipuã* y *Colina*, el área cosechada en 1995 fue de 5 a 6 veces mayor que en 1990, pero en *Jaborandí* el aumento fue de 23 veces.

De los demás cultivos, el maíz y soja siguen ocupando considerables áreas para la producción de pienso y semillas que tienen una demanda muy fuerte en la zona, pero con tendencias variables de ocupación en los municipios. En *Guaira*, al maíz se le dedicó un 31,6% del área cosechada en 1995 y a la soja un 36,7%.

Tabla III.8. Distribución de las propiedades rurales, según su tamaño en 1995, en municipios seleccionados de la Mesoregión Geográfica de *Ribeirão Preto*.

Ámbito	Número de propiedades según tamaño (Ha)														
	Total	Menor que 10		De 10 a 100		De 100 a 200		De 200 a 500		De 500 a 2000		Mayor que 2000		Sin declarar	
		N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Total Estado	218.016	30	55	16.258	7	11.408	5	4.872	2	710	0,33	256	0,12		
Barretos	882	131	56	125	14	70	8	49	6	8	0,90	1	0,11		
Colina	273	23	57	33	12	34	12	25	9	3	1,10	-	-		
Colômbia	128	5	34	23	18	28	22	21	16	7	5,47	-	-		
Guaira	572	63	45	108	19	100	17	38	7	4	0,70	-	-		
Ipuã	229	29	44	49	21	36	16	13	6	1	0,44	-	-		
Jaborandi	170	20	55	25	15	19	11	12	7	-	-	-	-		
Miguelópolis	334	16	50	88	26	46	14	14	4	3	0,90	-	-		
Morro Agudo	443	26	42	90	20	87	20	49	11	5	1,13	-	-		
Orlândia	92	17	42	5	5	13	14	15	16	3	3,26	-	-		
Ribeirão Preto	198	92	28	19	10	18	9	10	5	4	2,02	-	-		

Fuente: IBGE (2001a).

La suma de las tierras de labor dedicadas a cultivos temporales en 1995 demuestra la intensidad de la actividad agrícola en la mesoregión. Para el caso de *Guaira* ese valor llega a los 135.982 ha, superficie que es superior al total del territorio municipal (106.059 Ha), lo que es indicativo de una misma parcela puede producir más de una cosecha anual.

Si comparamos los rendimientos medios de los cultivos permanentes de la región (Tabla III.9) con la media nacional o del Estado de São Paulo (Tabla III.2), notamos que para el caso del café, solamente *Ribeirão Preto* y *Morro Agudo* presentan niveles muy superiores, mientras que en los demás municipios ese cultivo no parece encontrar condiciones favorables para la producción comercial. Para la naranja, la situación agronómica es muy adecuada, promoviendo rendimientos medios siempre superiores en la zona. Para el caso de los cultivos temporales, los rendimientos medios de maíz, alubias, tomate por ejemplo, son casi siempre superiores a las medias nacional y estatal.

No obstante, como se puede comprobar, esos valores son, en general, relativamente bajos cuando comparados con los rendimientos medios obtenidos en otras regiones con agricultura tecnificada de Europa y Estados Unidos. Este hecho puede estar relacionado con la generalización de las muestras de los censos. Además, el elevado índice tecnológico presente en *Guaira* es relativo a Brasil y comparaciones con los países desarrollados no pueden ser directas, pues éstos se encuentran en un nivel muy superior, como hemos apuntado en el Capítulo II (Antecedentes).

Tabla III.9. Ocupación de las tierras en 1995 en municipios seleccionados de la Mesoregión Geográfica de *Ribeirão Preto*.

Ámbito	Área Total (Ha)	Tierras Cultivadas		Pastizales		Bosques		Tierras en Barbecho	
		Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Total del Estado	17.369.204	5.256.169	30,3	9.062.254	52,2	1.949.379	11,2	382.654	2,2
<i>Barretos</i>	137.748	61.536	44,67	58.448	42,43	6.045	4,39	4.203	3,05
<i>Colina</i>	47.436	35.522	74,88	7.954	16,77	1.792	3,78	485	1,02
<i>Colômbia</i>	59.707	24.894	41,69	28.122	47,10	3.402	5,70	1.110	1,86
<i>Guaíra</i>	106.059	80.777	76,16	15.434	14,55	2.379	2,24	1.148	1,08
<i>Ipuã</i>	35.696	28.961	81,13	3.472	9,73	991	2,78	140	0,39
<i>Jaborandi</i>	23.395	17.655	75,46	3.838	16,40	446	1,90	128	0,55
<i>Miguelópolis</i>	53.169	42.855	80,60	6.608	12,43	756	1,42	262	0,49
<i>Morro Agudo</i>	108.872	93.518	85,90	7.432	6,83	2.260	2,08	620	0,57
<i>Orlândia</i>	30.432	22.998	75,57	5.271	17,32	996	3,27	18	0,06
<i>Ribeirão Preto</i>	36.632	30.059	82,06	3.276	8,94	1.112	3,04	1.025	2,80

Fuente: IBGE (2001a).

Tabla III. 10. Principales cultivos permanentes de municipios seleccionados de la Mesoregión Geográfica de *Ribeirão Preto*.

Municipios	Cultivos Permanentes							
	Área Cosechada (Ha)		Cantidad Producida ¹		Rendimiento Medio ²			
	1985	1995	1985	1995	1985	1995		
Barretos	Goma (látex)	45	1.000	27	1.300	600	1.300	
	Café	400	23	160	18	400	782	
	Naranja	14.000	14.346	1.125.000	1.875.000	80.357	130.698	
Colina	Goma (látex)	175	500	105	625	600	1.250	
	Café	516	-	206	-	399	-	
	Naranja	10.000	6.154	550.000	700.000	55.000	113.747	
Colômbia	Goma (látex)	5	30	3	36	600	1.200	
	Café	46	-	18	-	391	-	
	Naranja	6.190	7.000	619.000	1.050.000	100.000	150.000	
Guaíra	Goma (látex)	-	30	-	33	-	1.100	
Ipuã	Café	66	-	59	-	893	-	
Jaborandi	Goma (látex)	30	75	18	90	600	1.200	
	Café	97	-	39	-	402	-	
	Naranja	1.650	1.404	148.500	164.250	90.000	116.987	
Miguelópolis		-	-	-	-	-	-	
Morro Agudo	Café	34	-	61	-	1.794	-	
Orlândia	Café	634	153	570	147	899	960	
	Café	480	231	768	270	1.600	1.168	
	Naranja	500	115	57.500	11.250	115.000	97.826	

Nota: 1) Producción en Toneladas para Goma y Café, y en 1000 frutos para Naranja; 2) Rendimiento medio en frutos/Ha para Naranja y Kg/Ha para los demás cultivos. Fuente: IBGE (2001a).

Tabla III.11. Principales cultivos temporales de municipios seleccionados de la Mesoregión Geográfica de *Ribeirão Preto*.

Municipios	Cultivos Temporales						
	Área Cosechada (Ha)		Cantidad Producida (T)		Rendimiento Medio (Kg/Ha)		
	1985	1995	1985	1995	1985	1995	
Barretos	Arroz	2.050	700	2.460	1.260	1.200	1.800
	C. de azúcar	2.959	12.000	295.900	966.120	100.000	80.510
	Alubias	2.400	800	1.680	1.440	700	1.800
	Maíz	17.400	14.400	36.540	60.000	2.100	4.166
	Soja	12.500	13.000	21.750	27.300	1.740	2.100
Colina	Algodón	1.650	800	3.960	2.400	2.400	3.000
	C. de azúcar	1.600	8.100	128.000	648.000	80.000	80.000
	Maíz	5.833	3.000	15.600	11.700	2.674	3.900
	Soja	2.600	4.000	4.056	7.680	1.560	1.920
Colômbia	Maíz	9.500	1.700	30.373	7.290	3.197	4.288
	Soja	11.526	14.500	20.747	30.450	1.800	2.100
Guairá	Algodón	1.690	682	3.550	2.046	2.100	3.000
	C. de azúcar	14.200	29.200	1.420.000	2.100.000	100.000	71.917
	Alubias	10.500	4.000	7.887	7.920	751	1.980
	Maíz	24.000	43.000	72.000	136.000	3.000	3.162
	Soja	48.150	50.000	72.127	111.000	1.497	2.220
	Sorgo	22.676	8.000	49.900	14.400	2.200	1.800
	Tomate	1.200	1.100	60.000	65.000	50.000	59.090
Ipuã	Caña de azúcar	3.340	20.250	200.400	1.700.000	60.000	83.950
	Maíz	25.200	17.068	63.000	44.959	2.500	2.634
	Soja	18.940	18.006	25.000	40.888	1.319	2.270
Jaborandi	Algodón	1.660	1.800	4.980	5.400	3.000	3.000
	C. de azúcar	250	5.850	20.000	468.000	80.000	80.000
	Maíz	5.850	4.400	12.285	15.980	2.100	3.631
	Soja	3.500	6.200	4.410	13.020	1.260	2.100
Miguelópolis	Algodón	5.800	3.400	12.180	10.200	2.100	3.000
	C. de azúcar	3.672	4.837	367.200	483.700	100.000	100.000
	Alubias	1.962	2.000	1.374	4.200	700	2.100
	Maíz	19.200	36.300	67.200	88.000	3.500	2.424
	Soja	35.282	45.000	52.923	102.600	1.500	2.280
Morro Agudo	Arroz	2.475	100	2.970	180	1.200	1.800
	C. de azúcar	25.000	58.500	2.000.000	5.000.000	80.000	85.470
	Alubias	2.125	668	1.488	1.402	700	2.098
	Maíz	11.640	4.900	23.280	17.586	2.000	3.588
	Soja	26.000	12.100	39.000	23.958	1.500	1.980
Orlândia	C. de azúcar	13.000	14.160	962.000	1.300.000	74.000	91.807
	Maíz	1.800	480	5.184	1.578	2.880	3.287
	Soja	5.500	3.700	6.600	7.770	1.200	2.100
Ribeirão Preto	C. de azúcar	40.000	37.000	3.006.844	2.500.000	75.171	67.567
	Maíz	5.000	500	15.120	1.800	3.024	3.600
	Soja	1.300	300	2.080	540	1.600	1.800

Fuente: IBGE (2001a).

En cuanto a la mecanización de la actividad agrícola, la mesoregión puede ser considerada como una de las más importantes del Estado, y en particular *Guaira*, por poseer la mayor proporción de tractores y maquinaria de plantío y cosecha, según los datos de la Tabla III.12 (IBGE, 2001a).

Tabla III.12. Máquinas agrícolas utilizadas en 1995 en municipios seleccionados de la Región Geográfica de *Ribeirão Preto*.

Ámbito	Tractores		Máquinas para Plantío		Máquinas para Cosecha	
	Número	%	Número	%	Número	%
Total Estado	170.573	-	52.924	-	18.065	-
<i>Barretos</i>	1.333	19,3	606	23,5	112	10,6
<i>Colina</i>	744	10,8	157	6,1	43	4,1
<i>Colômbia</i>	451	6,5	132	5,1	39	3,7
<i>Guaira</i>	1.382	20,0	623	24,1	287	27,2
<i>Ipuã</i>	510	7,4	231	8,9	177	16,8
<i>Jaborandi</i>	354	5,1	124	4,8	50	4,7
<i>Miguelópolis</i>	733	10,6	391	15,1	215	20,4
<i>Morro Agudo</i>	608	8,8	192	7,4	69	6,5
<i>Orlândia</i>	204	3,0	44	1,7	17	1,6
<i>Ribeirão Preto</i>	580	8,4	83	3,2	47	4,5
Total Región	6.899	100	2.583	100	1.056	100

Fuente: IBGE (2001a).

Si agregamos a esos equipos los sistemas de riego, Tabla III.13, *Guaira* despunta en el escenario mesoregional, por ser considerada el área de mayor concentración de sistemas de riego por aspersión de *São Paulo*, entre los cuales se destaca el sistema de pivote central. Hecho que definitivamente se implanta a mediados de la década de los 80 como consecuencia de los estudios de viabilidad de riego desarrollados conjuntamente por los gobiernos estatal y federal, conforme hemos mencionado anteriormente (DAEE, 1976a).

Tabla III.13. Distribución de los principales sistemas de irrigación presentes en *Guaira* en 1990.

Sistema de Irrigación	Número de Equipos	Número de Propiedades	Área Regada (Ha)
Pivote central	171	108	9.814,8
Cañón de riego	22	20	839,7
Convencional	12	12	158,5
Total	205	140	10.813,0

Fuente: Modificado a partir de Abreu (1994), datos de la Casa da Agricultura de *Guaira* 1990.

Como hemos mencionado anteriormente, la ganadería bovina tiene en la zona uno de los más tradicionales centros del Estado de São Paulo. Presentamos algunos datos recientes de esa actividad en la Tabla III.14, donde se observa que Barretos tiene los mayores rebaños de la región seguido de Guaíra, pero en general existe una tendencia de retracción del sector en el periodo 1985-95. La mayoría de esos rebaños permanecen en sistema de estabulación para su engorde rápido y venta a los frigoríficos.

En resumen, *Guaíra* se presenta como una de las regiones de mayor desarrollo agrícola en Brasil, tanto por sus condiciones ambientales favorables -topografía, suelos, clima y disponibilidad hídrica- como por un razonable índice de capitalización de los productores, dispuestos a invertir en sistemas de producción más rentables y congregados en asociaciones y cooperativas que les garantizan mejor poder de intercambio y negociación de precios para sus cosechas.



Fotografía III.3. Vistas del entorno agropecuario de Guaira: a) y b) cultivos de regadío en distintas fases de crecimiento y suelo desnudo en el primer plan; c) pastizal con algunos ejemplares de los arboles de la formación *Cerrados*; d) cultivo de caña de azúcar y al fondo la planta procesadora para producción de azúcar y alcohol; y e) quema del cultivo de caña de azúcar antes de la cosecha.

III.2.3. Marco Legal con incidencia en el territorio de estudio

Desde el punto de vista de la legislación ambiental de carácter general y con aplicación en el área de estudio, destacamos enseguida las normas más importante.

Históricamente, se puede considerar que la primera ley de cuño conservacionista en territorio brasileño fue el Reglamento sobre el *Pau-Brasil* de 1605, precursor de muchas normativas que acabaron por consolidarse en importantes leyes, como el *Código Florestal* de 1934, su actualización en 1965, y el *Código de Proteção da Fauna* del año 1967.

El *Código Florestal* de 1965 (Machado, 1995) estableció, por primera vez, la obligatoriedad de preservación permanente en diversos ámbitos, como por ejemplo la vegetación en las áreas indígenas, de fuertes pendientes, montes, dunas y otras áreas costeras. Además, obliga a la preservación de la vegetación nativa alrededor de lagos, embalses y, a lo largo de los cursos de agua con anchura mínima de:

- 30 metros para los ríos de menos de 10 metros de anchura;
- 50 metros para los ríos de 10 hasta 50 metros de ancho;
- 100 metros para los ríos de 50 hasta 100 metros de ancho;
- 150 metros para los ríos de 100 hasta 200 metros de ancho;
- igual a la anchura de los ríos de más de 200 metros de ancho.

La referida ley determinó, además, la conservación permanente de la flora nativa en el 50% de las propiedades particulares en el Norte y Centro - Oeste, y el 20% en el Sudeste y Sur de Brasil, las llamada *Reservas Florestais Legais*.

Actualmente está en discusión en el Congreso Nacional la alteración de esa ley, reduciendo el área preservada en cada propiedad a la mitad de la establecida en el código anterior, hecho que provocó una intensa polémica en el país por el enfrentamiento de los ambientalistas y el sector productivo agrícola y maderero, con fuerte influencia sobre los diputados.

En 1981 fueron establecidas las directrices para la Política Nacional del Medio Ambiente (Ley 6.938, del 17/01/1981). Según Machado (1995), trátase de la ley ambiental más importante de Brasil. Con esa ley, fue posible crear un gran aparato normativo de gestión y responsabilidades civiles de cara a los recursos naturales, apoyada en mecanismos de licencia y control de usos y explotación, dentro del espíritu de los Estudios de Impactos Ambientales. Trátase de las resoluciones del CONAMA - Consejo Nacional del Medio Ambiente. Más específicamente, la Resolución 001/86 determina la necesidad de estudios previos de los impactos ambientales resultantes de la explotación o cambios de los espacios naturales de interés común y afecta especialmente a las

actividades agrícolas con más de 1.000 hectáreas.

La más reciente ley que ordena la Política Agrícola Nacional, del 1991, tiene la protección del medio ambiente como uno de sus objetivos e instrumentos, determinando, entre otras cosas, que el poder público (federal, estatal, municipal) debe ordenar el uso racional de los recursos naturales mediante zoneamientos agroecológicos. Un importante avance en esa ley, es la inclusión de incentivos fiscales a la preservación ambiental, mediante la exención de impuestos sobre áreas naturales conservadas.

La Política Nacional de las Aguas Interiores, resguardada por la Ley 9.433 del año 1997, considera el agua como bien natural limitado, con valor económico y con múltiples usos, siendo su principal instrumento de gestión el Sistema Nacional de los Recursos Hídricos. Establece, además, la necesidad de elaboración de Planes Plurianuales de Gestión en el ámbito de las Cuencas Hidrográficas, con participación del poder público, asociaciones e instituciones. Actualmente, encuéntrase en discusión la ley federal que define el pago por el uso del agua, lo que significa un importante cambio en las relación entre la sociedad y los recursos naturales en Brasil.

Por fin, otro importante y muy reciente marco legal es la llamada Ley de la Naturaleza (IBAMA, 2001), Ley 9.605 del año 1998, que reordenó una variada legislación de penalizaciones hasta entonces dispersa, además de elevar los valores de las multas por agresiones al medio ambiente, y dandoles el carácter de crimen sin derecho a fianza.

Pasemos ahora al siguiente capítulo, donde trataremos de los procedimientos metodológicos seguidos en el trabajo de investigación.

CAPÍTULO IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Presentamos en este capítulo los datos e informaciones de soporte, así como, los principales procedimientos metodológicos seguidos en la realización del trabajo de Tesis Doctoral.

El estudio se desarrolló en dos ámbitos geográficos y temporales distintos, pero con la misma resolución analítica, derivada de la escala 1:100.000.

En el ámbito geográfico de la Cuenca Hidrográfica del *Ribeirão Jardim* utilizamos un periodo de tiempo más largo para los estudios de los cambios y de adecuación de la ocupación, teniendo como fecha de partida el año de 1971, fecha intermedia el año 1988 y final el año 1998.

En el ámbito del Municipio de *Guaira*, aunque el periodo de tiempo evaluado sea más corto, del 1988 hasta 1998, es muy significativo, por enmarcar el periodo de máxima intensificación de la agricultura de riego en la zona.

IV.1. Estudios anteriores, fuentes de datos y equipos utilizados

Por la importancia económica de *Guaira* en el contexto agroindustrial de Brasil, a pesar de la breve historia de su implantación, muchas instituciones gubernamentales de investigación, enseñanza y desarrollo han dirigido sus esfuerzos sobre esa región en los últimos años.

Con vistas a la aportación de mejoras, tanto en el proceso productivo de la agricultura intensiva como en las condiciones medioambientales del área, investigadores de diversas especialidades desarrollaron proyectos y acciones prácticas en la región.

Así que, encontramos referencias de diversas instituciones oficiales de investigación y enseñanza que han actuado en *Guaira*, destacando la Embrapa, el *Instituto Agronómico de Campinas/IAC*, *Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo/IPT* y Universidad de *Campinas* (UNICAMP), entre otras que tradicionalmente actúan junto a los productores de manera sistemática ofreciendo asistencia técnica, como es el caso de la *Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo*.

El IPT, quizás fue uno de los más activos, aportando importantes resultados para el mejor uso de los equipos de riego (IPT, 1986; IPT, 1987; IPT, 1990; IPT, 1994). Además, elaboró un estudio de los conflictos de uso de las tierras en el Municipio de *Guaira* (IPT, 1995), siguiendo una metodología de clasificación con base en la capacidad de uso propuesta por Lepsch (1983).

Como resultado de este importante estudio, los investigadores de IPT presentan un mapa de las áreas de conflicto de uso de las tierras para la totalidad del municipio, donde se concluye que: a) solamente el 0,3% del área total presentaba elevado conflicto de uso, coincidiendo con las tierras de mayor pendiente bajo cultivos anuales y con riesgos de erosión hídrica de moderado a alto; el 15,4% del área representaba conflicto moderado y el 84,3% presentaba conflicto bajo o ausente. Los autores no esclarecen adecuadamente la metodología utilizada y los problemas debidos al uso incorrecto de sistemas de cultivo y de insumos químicos.

Al nivel nacional, la Embrapa, representada por el *Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental/CNPMA*, tuvo *Guaira* como un campo de investigación prioritario para el desarrollo e implantación de técnicas y métodos de seguimiento y evaluación de los impactos ambientales negativos generados por la agricultura intensiva, a principio de la década de los 90. Mientras tanto, un grupo multidisciplinar de especialistas del Centro, asesorado por investigadores de otras instituciones, estaba dedicado a un proyecto de investigación de larga duración, con el objetivo principal de mejorar la sostenibilidad de los agroecosistemas de la región (Embrapa, 1999).

Uno de los primeros resultados de ese gran proyecto, fue la elaboración de un estudio denominado "*Zoneamento Ambiental Semi-Detalhado do Municipio de Guaira*" a escala 1:100.000 (Silva et al., 1994). Fueron identificadas 49 microcuencas hidrográficas pertenecientes a 5 cuencas principales, las cuales posteriormente fueron agrupadas en 3 unidades ambientales que representan el 81% de las condiciones edáficas y ambientales del Municipio. El mapa resultante, posibilitó la selección de 4 microcuencas representativas en las cuales se desarrollan estudios más detallados.

De esos estudios, el que más nos interesa es un trabajo a nivel detallado de la ocupación de las tierras (escala 1:25.000) en tres microcuencas del municipio. Se desarrollaron evaluaciones de la dinámica de ocupación en el período de 1971 hasta 1994, teniendo como base fotografías aéreas, ortoimágenes Landsat (escala 1:50.000, composición 3-4-5) del año 1993 y SPOT pancromática (escala 1:25.000) del año 1994, sobre las cuales se clasificó visualmente la ocupación de las tierras en esas microcuencas. Una de las áreas analizadas es el tramo de cabecera del *Ribeirão Jardim*, de la cual mencionaremos los resultados cuando se comente la Dinámica y Estabilidad del Paisaje Agrario desarrollada por nosotros (Capítulo V. Resultados y Discusión).

Otros estudios se dedicaron a diagnosticar, bajo las facetas económica, social, agronómica y química, los impactos causados por la intensiva actividad de la zona, buscando soluciones conjuntas con la administración local, cooperativas de productores y

agencias de control ambiental. Los principales impactos y resultados de esos estudios se analizarán en el Capítulo V (Resultados y Discusión), donde presentamos y discutimos de manera comparativa nuestros resultados.

Es importante destacar que nosotros hemos estudiado la zona de *Guaira* en el Trabajo de Investigación, presentado en el Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá de Henares (Buschinelli, 1999) como requisito académico formal dentro del programa de doctorado; en él, evaluamos a mediana escala (1:100.000) los cambios de ocupación de las tierras en la cuenca hidrográfica del *Ribeirão Jardim* entre los años de 1971 y 1988; además, evaluamos la adecuación de ocupación en esta última fecha, superponiendo los usos al Mapa de Capacidad de Uso anteriormente citado. Cabe destacar, además, que tal estudio nos ha aportado la base para el presente trabajo de Tesis Doctoral.

IV.1.1. Datos e informaciones

Utilizamos los siguientes mapas y materiales de referencia para la realización del trabajo:

- Mapas topográficos {*Cartas do Brasil*, varias hojas elaboradas por la *Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/IBGE*, escala 1:50.000 en UTM (IBGE, 1972a; IBGE, 1972b; IBGE, 1972c)};
- Imágenes del satélite Landsat 5, sensor TM en las bandas 3, 4 y 5, en formato digital, del 22 de junio de 1988 y del 4 de julio de 1998 (imágenes cedidas por Embrapa Meio Ambiente en formato de CD-ROM). En el Anexo IV.1 presentamos las informaciones detalladas de las imágenes;
- Fotografías aéreas del levantamiento aerofotogramétrico del Estado de *São Paulo* de 1971 (escala de 1:25.000);
- Base digital de altimetría, cedida por Embrapa Meio Ambiente;
- Mapas del trabajo "*Áreas de Conflito de Uso da Terra no Município de Guaira (SP)*", elaborado por el *Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT)*, 1995), escala 1:100.000;
- Estadísticas de la producción agrícola municipal de *Guaira*, *Censo Agropecuario do Brasil - 1996-1997* (IBGE, 2001);
- Informes de los subproyectos de investigación desarrollados en *Guaira* (Embrapa, 1995; Embrapa, 1999); y
- Otros datos e informaciones fueron recolectados en la Casa de la Agricultura y cooperativas de productores rurales de *Guaira*, cuando se realizó el trabajo de campo para la clasificación digital de la imagen Landsat en el año 1998.

La elección de los años de 1971, 1988 y 1998 se puede justificar de diversas maneras. Como ya se ha dicho en el Capítulo III (Área de Estudio), *Guaíra* experimenta en los últimos 35 años un cambio significativo en dirección a la intensificación de los sistemas agrarios, teniendo el máximo desarrollo de los cultivos de regadío a finales de los años 80.

Otra justificación que nos parece importante, se refiere a la época del año de las imágenes (invierno), la cual presenta la mayor transparencia atmosférica en nuestras condiciones climáticas, además de aportar una mayor diferencia fenológica entre las cubiertas de interés. Asimismo, por el elevado coste de las imágenes de satélite, su disponibilidad es bastante restringida para estudios académicos como el nuestro.

Así que, nos parece ser adecuada la elección de este periodo temporal, que enmarca el inicio del proceso de intensificación de las actividades agrarias en la zona y su estado de desarrollo más reciente.

IV.1.2. Equipos cartográficos e informáticos

El soporte de equipos cartográficos e informáticos del Laboratorio de SIG y Teledetección del Instituto de Economía y Geografía del CSIC fueron de suma importancia para la ejecución del trabajo. A continuación, describimos rápidamente esos equipos según la naturaleza de las tareas desarrolladas.

IV. 1.2.1. Base cartográfica para el tratamiento de la información en papel

Para la elaboración del mapa base de ocupación de las tierras en la Cuenca del *Ribeirão Jardim* en 1971, las aerofotos correspondientes fueron interpretadas con auxilio de un estereoscopio de barrido Old Delft ODSS III (*Scanning Stereoscope*), dibujando directamente sobre papel acetato los polígonos de las categorías temáticas, previamente definidas de acuerdo con la información de soporte.

Posteriormente, el resultado de la fotointerpretación fue manipulado en el transferidor Bausch & Lomb (*Zoom Transfer Scope*), teniendo como base cartográfica los mapas topográficos correspondientes.

De esa manera obtuvimos el mapa base de ocupación de las tierras en la cuenca en 1971, el siguiente paso fue su digitalización en tablero, hecho que comentaremos poco más adelante en el ítem IV.2 (Tratamiento de la información), cuando también presentaremos las categorías temáticas identificadas en este mapa.

IV.1.2.2. Base digital y SIG

Tras la consulta de los metamodelos de bases de datos habituales en proyectos SIG (Cebrián, 1994), de anteriores reflexiones sobre un SIG ideal (González Marroquín, 1994; Newell y Theriault, 1989), de las potencialidades de las nuevas herramientas SIG y de los objetivos de nuestro trabajo de investigación, decidimos emplear un CAD de propósito general para la captura de datos y un Sistema de Información Geográfica relacional para el almacenamiento de la información y para el análisis espacial de los datos. Los argumentos más importantes para optar por el modelo relacional son la sencillez y la flexibilidad.

Como soporte informático principal utilizamos las estaciones de trabajo Intergraph modelos TD-310 y TD-313 con sistema operativo Windows NT 4.0, una tableta digitalizadora A0 Intergraph y un plotter/trazador Hewlett Packard DesignJet 650C.

El programa informático utilizado para los procesos cartográficos vectoriales fue el paquete integrado de Intergraph, compuesto por MicroStation95 (Bentley, 1995). Para los procedimientos de SIG propiamente dichos y tratamiento digital de las imágenes Landsat, el MGE (*Modular GIS Environment*) (Intergraph, 1998).

La Figura IV.1 representa un esquema general del MGE y su módulo principal MGNUC (Núcleo Básico), el cual permite la integración de las múltiples aplicaciones del SIG, además de funciones básicas para gestión del proyecto cartográfico, herramientas para consulta, revisión, recuperación, visualización y definición de distintos sistemas de coordenadas y proyecciones cartográficas (Intergraph, 1994).

El entorno MicroStation95, es el sistema CAD básico y en cierta manera independiente, donde se generan todas las aplicaciones gráficas en formato vectorial del sistema, además de su integración con los demás módulos del entorno MGE.

La base de datos relacional (ORACLE 7.0), se asocia al modulo de gestión MGAD, para los debidos tratamientos de recuperación, actualización e integración de la información espacial.

Los módulos dispuestos en la parte superior del esquema (Figura IV.1), corresponden a las aplicaciones específicas del SIG, como:

- MGMAP, destinado a la captura, limpieza, manipulación y validación del proyecto cartográfico;
- *Image Analyst*, responsable para todas las aplicaciones de tratamiento y clasificación digital, exportación de imágenes y generación de información temática; y
- MGGA, donde se realizan las aplicaciones espaciales y estadísticas de análisis de la información en formato raster, además de la conversión, manipulación y visualización de ficheros.

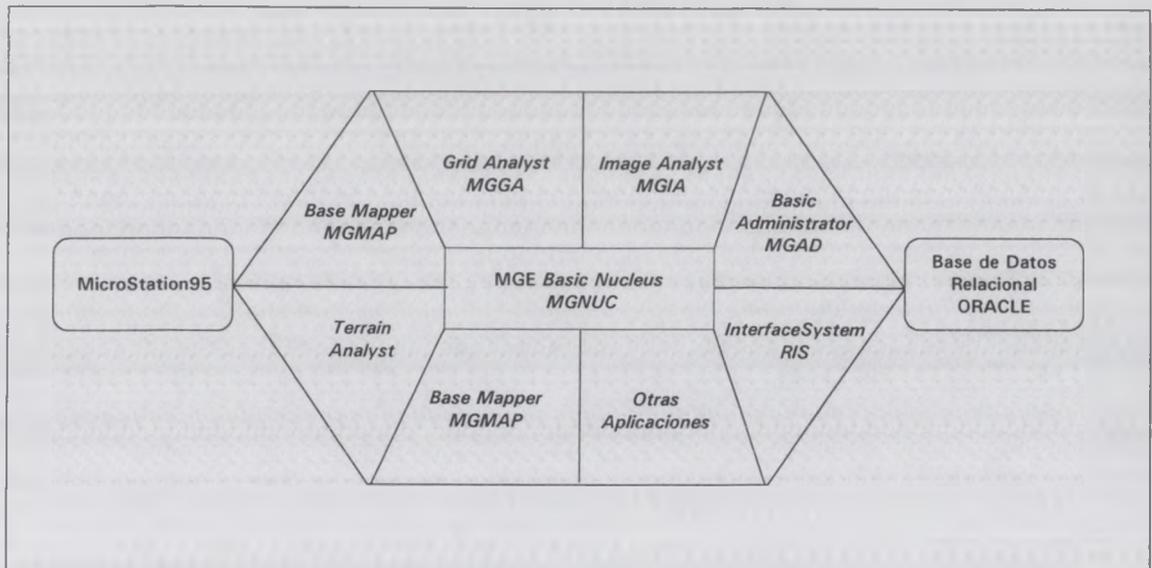


Figura IV.1. Esquema general del Sistema de Información Geográfica Intergraph MGE.
Fuente: Modificado a partir de Intergraph (1994).

Otros programas de apoyo informático utilizados fueron: Idrisi versión 2.0 (Eastman, 1997), para aplicaciones de tratamiento suplementario de las imágenes; Corel Draw versión 8.0 (Corel, 1997) y Paint Shop Pro versión 4.14 (JASC, 1997) para la edición de las salidas gráficas en formato A4; para la edición y gestión de la bibliografía el programa EndNote versión 3.0 (Niles, 1998); y para la edición final del trabajo el MS Office 97 (Microsoft, 1997).

IV.2. Tratamiento de la información

La primera tarea necesaria para desarrollar el trabajo fue la definición y estructuración del proyecto cartográfico y de la base de datos en el módulo MGNUC y en ORACLE 7 (Figura IV.1), para facilitar la ulterior gestión de las consultas a la base de datos y las labores propias del análisis espacial. A continuación se comentan, brevemente, algunos aspectos organizativos y técnicos considerados en esta etapa de almacenamiento y tratamiento de la información.

Como los datos a almacenar en el SIG son variados –mapas, tablas o matrices geográficas de datos, imágenes espaciales y textos– el modelo de datos ha de contemplar, necesariamente, la presencia de las entidades geográficas simples y compuestas que se vayan a manipular y la posibilidad de aunarlas en grupos y categorías temáticas y prever las relaciones que se pueden plantear entre ellas.

Considerando que buena parte de la información procede de imágenes del satélite

Landsat TM y que otras coberturas han sido rasterizadas con el mismo paso de malla, la unidad mínima de información considerada coincide con el tamaño del píxel que, en este trabajo de investigación, es de 29,969 x 29,969 metros¹, es decir de 898,14 m² o de 0,089 ha. Sin embargo, considerando la escala final de representación cartográfica de los mapas temáticos, el tamaño de la Mínima Unidad Cartografiable (MUC) ha sido de 40.000 m² o 4 ha que equivale a un cuadrado de 2 x 2 mm medidos a la escala del mapa, tal como recomiendan algunos (Anderson et al., 1976; Campbell, 1996; Chuvieco, 2000).

La unidad cartográfica de trabajo definida ha sido el metro. No subdividimos esta unidad maestra por ser innecesario considerando la escala de representación -1/100.000-. En ésta, un metro en la realidad equivale a 0,01 mm en el mapa lo que es una resolución suficientemente detallada, a nuestro juicio.

La proyección cartográfica empleada ha sido la Universal Transversa de Mercator (UTM) que es la oficialmente empleada en la cartografía de Brasil. El método de digitalización mediante tablero empleado en la captura de algunas coberturas temáticas ha sido el de *punto a punto* con objeto de asegurar una selección de los punto más significativos que definen los cambios de dirección de las líneas y, por tanto, de evitar una redundancia innecesaria de puntos y un incremento del volumen del fichero.

Como los ámbitos de estudio han sido dos -la Cuenca del *Ribeirão Jardim* y el Municipio de *Guaíra*- y como se ha realizado un análisis multitemporal de ambos espacios geográficos, ha sido necesario dibujar los dos polígonos que definen ambos territorios. En primer lugar, con objeto de realizar un análisis espacio-temporal certero de tal forma que los mapas de distintas fechas y de un mismo espacio estuvieran perfectamente georeferenciados unos sobre otros y tuvieran el mismo tamaño de columnas y filas. En segundo lugar, para la representación cartográfica de los resultados; en este caso, se ha dibujado un marco específico para cada zona de estudio -cuenca y municipio- y se ha realizado un extracto de las imágenes en función de los polígonos que correspondiese en cada caso. De esta manera, los inventarios se ajustan perfectamente a las dimensiones de la cuenca o del municipio.

Tras ese proceso, las imágenes de la Cuenca del *Ribeirão Jardim* resultantes contienen 1.091 líneas y 723 columnas, totalizando 788.793 píxeles y las imágenes del Municipio de *Guaíra* contienen 1.530 líneas y 1.660 columnas, totalizando 2.539.800 píxeles. En la Figura IV.2, se puede consultar, de forma esquemática, las principales características de los ficheros raster elaborados, contemplando los dos ámbitos geográficos del estudio, el Municipio de *Guaíra* con su mayor polígono, en el cual se inserta la Cuenca

¹ Esta medida de píxel, ha salido por defecto en la digitalización y no la remuestramos al valor de 30 x 30 metros, por motivos que posteriormente comentaremos.

del Ribeirão Jardim.

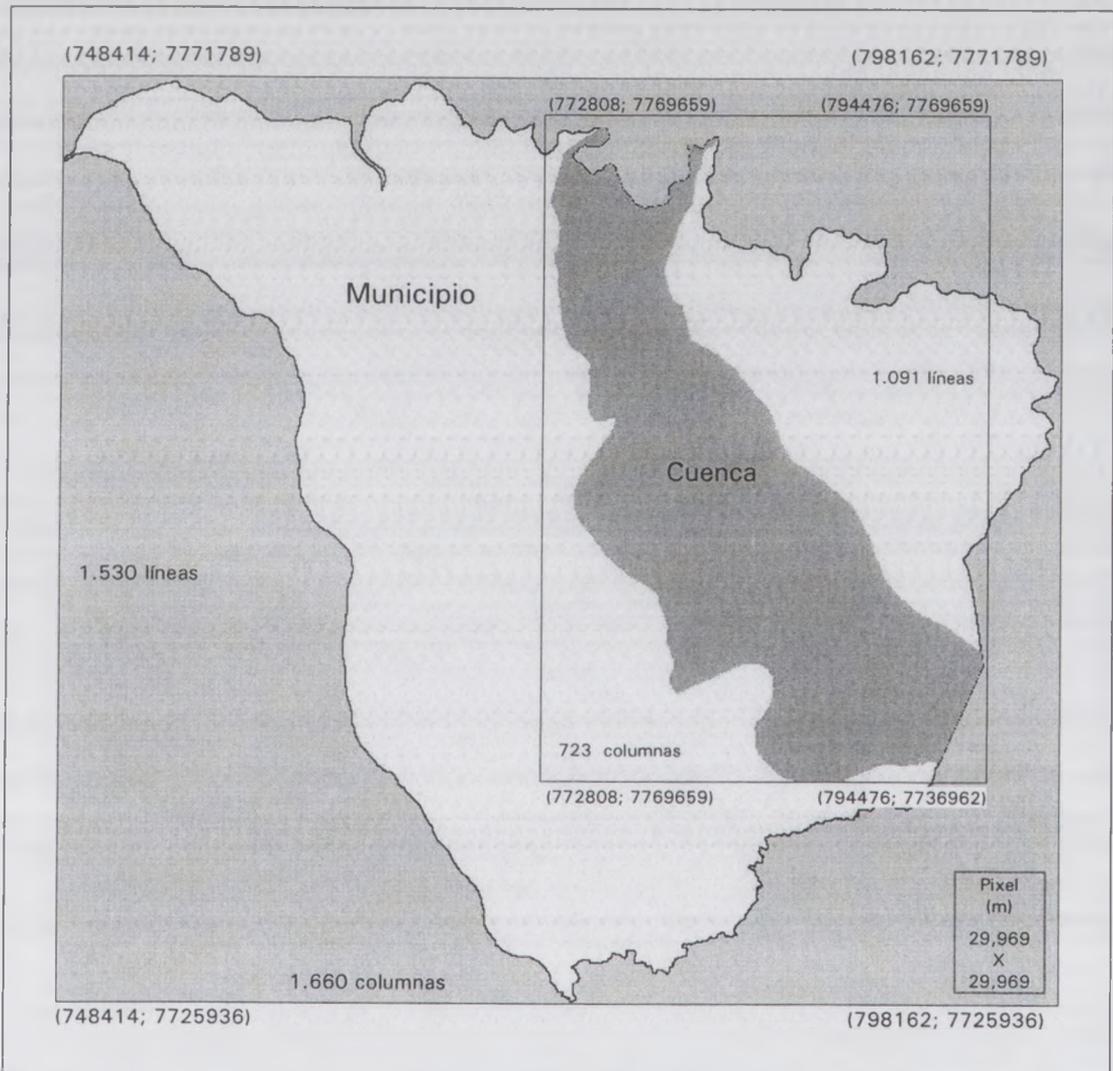


Figura IV.2. Configuración esquemática de los ficheros raster preparados para los procedimientos en SIG. Los valores de las esquinas corresponden a las coordenadas UTM.

A continuación, presentamos en la Figura IV.3 el organigrama general del procedimiento metodológico del trabajo, en el cual, describimos de forma esquemática el tratamiento de la información y los principales procesos de análisis y síntesis para obtención de los principales resultados en el ambiente del SIG: mapas en la escala 1:100.000 y las estadísticas de las superficies de ocupación de las tierras.

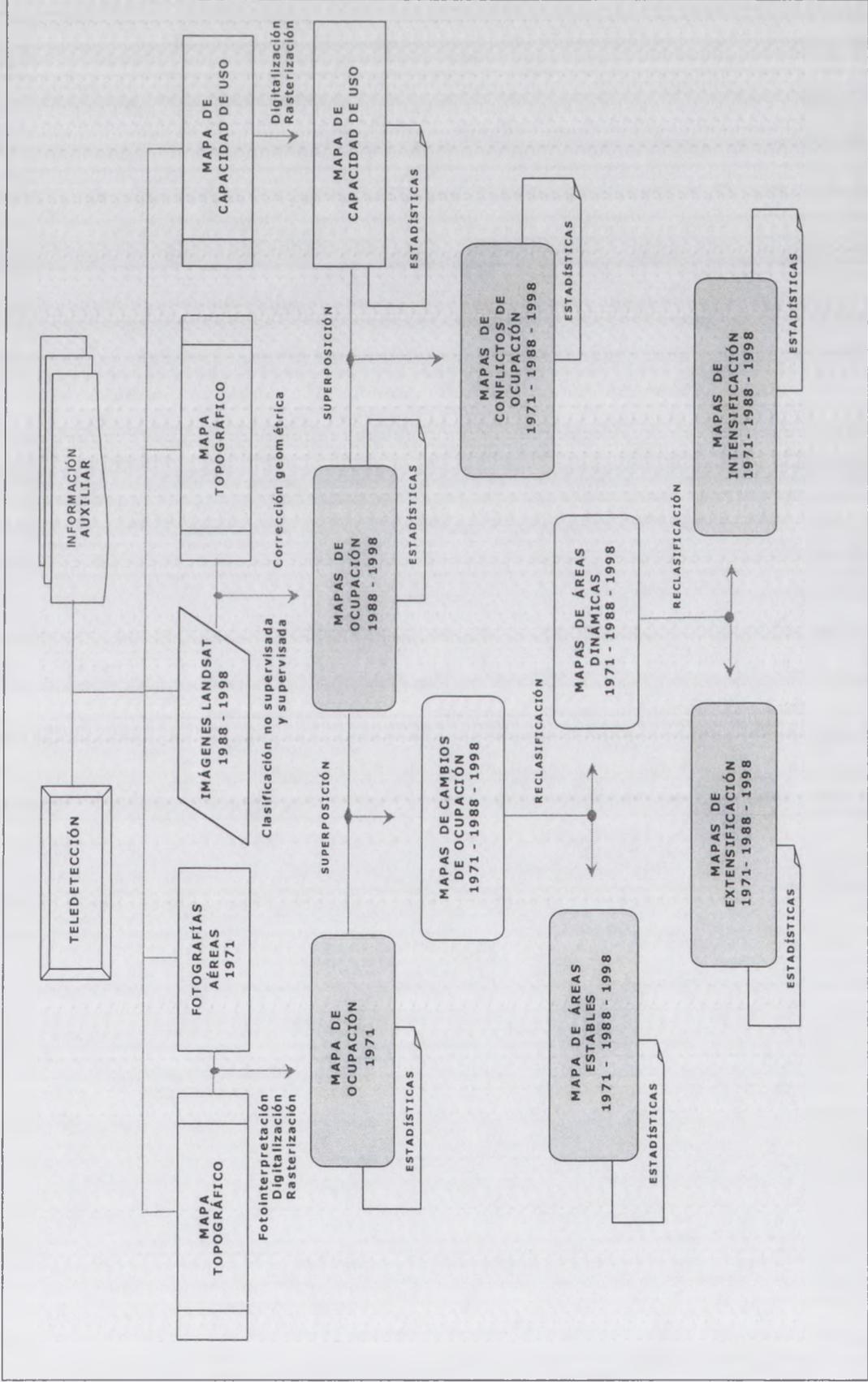


Figura IV.3. Organigramma metodológico general del tratamiento de la información.

A partir de los datos de los sensores remotos (fotografías aéreas e imágenes de satélite) y de los datos e informaciones de base (mapa topográfico, censos agropecuarios, trabajos anteriores y el propio conocimiento del área de estudio), nos fue posible elaborar los mapas de ocupación de las tierras en las distintas fechas y ámbitos geográficos, siguiendo procedimientos específicos en SIG para los dos tipos de datos remotos. O sea, fotointerpretación, restitución cartográfica, digitalización georreferenciada y rasterización del mapa vectorial obtenido del año 1971; y para el caso de las imágenes Landsat de 1988 y 1998, clasificación digital y geoprocesamiento.

Para la generación del mapa digital de capacidad de uso, su homólogo en papel fue digitalizado y posteriormente rasterizado, utilizando las herramientas específicas del SIG Microstation95 e Intergraph para su georreferenciación y edición final.

Los principales procesos de manipulación de los ficheros raster para la generación de los mapas resultantes (sombreados en la Figura IV.3), fueron la tabulación cruzada o superposición y la reclasificación de los ficheros raster; con la impresión final en ploteadora, después de la edición y aplicación de filtros espaciales para mejorar la visualización de los mapas.

A continuación describimos de forma detallada los respectivos procedimientos metodológicos, según la naturaleza y ámbito de los datos utilizados

IV.2.1. Ocupación de las tierras en 1971

Los estereopares de aerofotos a la escala 1:25.000 del año 1971 fueron interpretados siguiendo criterios de tono, textura, forma y contexto de las diversas cubiertas presentes, así como otros criterios complementarios de carácter espacial y temporal (tamaño, patrón espacial, etc), siguiendo las recomendaciones expresas en la Figura IV.4. Algunas cubiertas, fueron intencionalmente incluidas por su importancia ecológica, como comentaremos a continuación. Para la elección de la leyenda final otras informaciones de soporte fueron importantes, como las estadísticas disponibles de producción agrícola en el periodo, como veremos más adelante.

La base cartográfica fue digitalizada y georreferenciada en el módulo MicroStation95, partiendo de los mapas topográficos que cubren la totalidad del Municipio de *Guaíra* y que contienen un mayor número de puntos de referencia. Posteriormente, extrajimos el polígono que abarca el área de la cuenca en estudio, utilizando para ello, un fichero vectorial previamente digitalizado, que contempla su límite territorial.

Para la digitalización georreferenciada en el tablero AO de Intergraph, seguimos un sistema de muestreo espacial tomando por lo menos 7 puntos de control, distribuidos por

todo el Municipio.

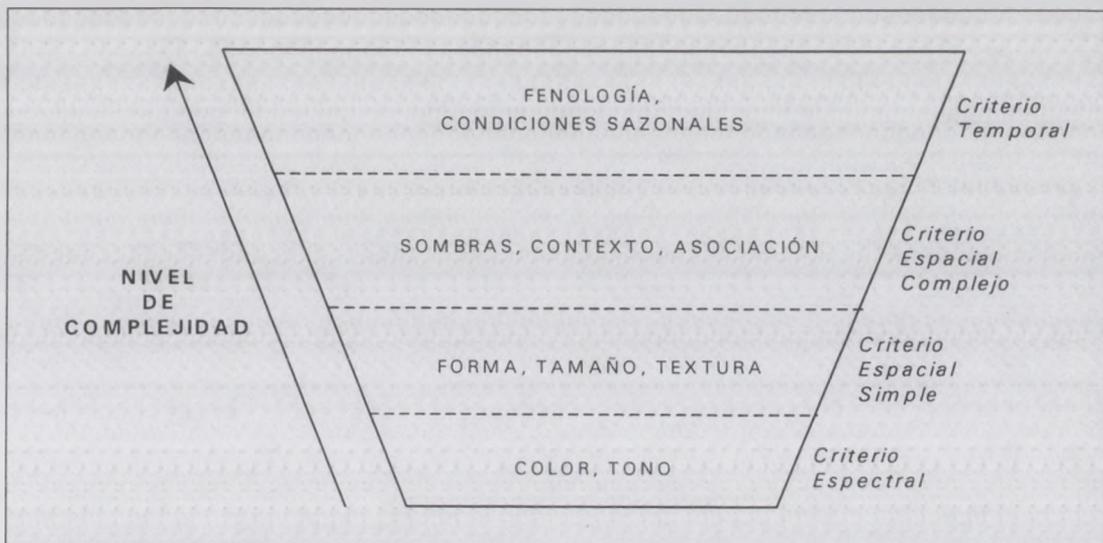


Figura IV.4. Criterios de interpretación visual según la jerarquía de complejidad. Adaptado de Chuvieco (2000).

La referencia principal en tal proceso fue la infraestructura viaria, contenida en el mapa topográfico (cruces de carreteras y puentes de los ríos principales). En el procedimiento de digitalización de los polígonos, correspondientes a las categorías temáticas, identificadas en la fotointerpretación, fueron tomados puntos de entrada digital de igual distancia en las líneas de contorno de los referidos polígonos. Como error medio en el proceso final, buscamos mantener un valor inferior al 0,05%.

Los resultados propiamente dichos, tanto cartográficos (Mapa 1) como estadísticos (Tabla V.1) de la ocupación de las tierras en 1971, serán presentados en el Capítulo V (Resultados y Discusión). Las categorías temáticas del mapa de ocupación de las tierras en la cuenca, descritas en la Tabla IV.1, fueron definidas de acuerdo con los resultados de la fotointerpretación.

Cabe destacar en la descripción de las categorías temáticas, la elección de sus nombres propios (*várzeas*, *campos cerrados* y *cerrado*), por la importancia ecológica y de su terminología, ampliamente utilizada para esos rasgos paisajísticos en Brasil.

Como hemos mencionado en el Capítulo III (Área de Estudio), las *várzeas* tienen una gran importancia ecológica por su diversidad biológica y por ser un espacio periódicamente inundado por la crecida de los ríos, siendo en gran medida manejado tradicionalmente para el cultivo de arroz o pastoreo, debido a la mayor fertilidad natural de sus suelos aluviales. Los *cerrados*, a su vez, presentan una gran diversidad de hábitats y fisionomía. En cuanto a los *campos cerrados*, representan áreas originalmente de *cerrados* que se encuentran bastante alteradas por las quemadas controladas para el pastoreo de

ganado vacuno.

Tabla IV.1. Categorías temáticas del mapa de ocupación de las tierras en 1971.

Categorías temáticas	Descripción general
Cultivos de secano	Cultivos anuales y permanentes (maíz, arroz, soja y algodón)
Pastizales	Campos nativos con vegetación herbácea y arbustiva dispersa
Bosques	<i>Cerrado</i> (vegetación natural arbórea-arbustiva dispersa)
Bosques galería	Vegetación natural arbórea de porte alto y densa, situada a lo largo de los ríos
<i>Campos cerrados</i>	Vegetación natural de porte herbáceo y arbustivo poco denso
<i>Várzeas</i>	Áreas periódicamente inundadas (originalmente con vegetación palustre o de ribera)
Láminas de agua	Embalses y lagunas (los ríos no aparecen como superficies cartografiables y sí como líneas en la cuenca)
Áreas urbanas	Núcleo urbano y terrenos anexos de uso residencial o infraestructuras

Así que, en la fotointerpretación de las aerofotos se buscó caracterizar todas las cubiertas susceptibles de discriminación, sin preocuparnos en esta etapa, de las posibles diferencias de las categorías temáticas entre las distintas fechas del análisis multitemporal.

IV.2.2. Ocupación de las tierras en 1988 y 1998

El procedimiento analítico para la elaboración de los mapas de ocupación de las tierras a partir de las imágenes Landsat de los años 1988 y 1998 fue mucho más laborioso y detallado, según se aprecia en la Figura IV.3. Lo cual, exigió una mayor dedicación en tiempo para los procedimientos previos de tratamiento digital y edición de los mapas base, para finalmente generar los resultados finales del trabajo propuesto.

El proceso de tratamiento digital de las imágenes es, sin duda, una de las partes más importantes del trabajo, pues la calidad de los resultados obtenidos es fundamental para que las conclusiones finales tengan una exactitud aceptable.

Las imágenes de satélite corresponden al cuarto de escena del sensor *Thematic Mapper* (Landsat 5) de 22 de junio de 1988 y del 4 de julio de 1998 con las bandas 3-4-5.

La fecha de adquisición, en invierno, se justifica por la mayor transparencia atmosférica y menor influencia de nubes, además de buscarse la identificación de las distintas cubiertas vegetales en una época de mayor contraste fenológico, debido al mayor déficit hídrico, principalmente entre cultivos y pastizales. Como se ha presentado en el Capítulo III (Área de Estudio), en los meses de mayo y agosto, la media mensual de las precipitaciones no alcanza los 50 mm.

La elección de las bandas 3-4-5 (correspondientes a las fajas espectrales del rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo medio, respectivamente), se debe al hecho de que éstas reúnen una significativa información espectral poco redundante y son suficientemente idóneas para las aplicaciones que nos proponíamos. Conviene destacar que la resolución espacial de las imágenes Landsat para estas bandas es de 30 metros, la cual juzgamos adecuada para los objetivos propuestos en nuestro trabajo y acorde con la escala de representación cartográfica (1:100.000) según las recomendaciones de la Asociación Cartográfica Internacional (Denègre, 1994).

Además, el elevado coste de las imágenes de satélite acaba por dificultar la disponibilidad de imágenes de distintas estaciones. Somos conscientes de que su empleo hubiera aportado mejor capacidad analítica en una clasificación multiestacional.

De las imágenes originales, extrajimos un polígono que cubre la totalidad del Municipio de *Guaira*, conforme hemos presentado esquemáticamente en la Figura IV.2, para facilitar los subsecuentes tratamientos digitales y sobre estas imágenes efectuamos las clasificaciones. Además, para la corrección geométrica este tamaño de imagen aportaba mayor referencia de puntos de control.

Una vez terminada la clasificación digital, extrajimos el polígono que enmarca la Cuenca del *Ribeirão Jardim* (Figura IV.2), para las evaluaciones en ese ámbito del trabajo.

La primera valoración fue de las estadísticas descriptivas elementales de cada una de las imágenes en su formato original, información ofrecida por el módulo *Image Analyst* y resumida en la Tabla IV.2.

La banda 5 presenta la mayor heterogeneidad de información, como lo demuestran los valores más elevados de todas las estadísticas. El registro de niveles digitales mínimos tan bajos en todas las bandas y principalmente en la 5 (con valor cero), se debe muy probablemente a la gran influencia de las láminas de agua en la imagen. En contrapartida, la banda 3 presenta la mayor homogeneidad espectral, como demuestran los menores valores en todos los parámetros, y, por consiguiente, el menor contraste de escena. Otra constatación es el menor contraste de la imagen de 1998 en todas las bandas, hecho que comentaremos más adelante cuando presentemos la clasificación supervisada.

Tal comportamiento se puede comprobar por los histogramas de distribución de las frecuencias de las tres bandas originales de las imágenes de 1988 y 1998, presentadas en en la Figura IV.5.

Tabla IV.2. Estadísticas descriptivas de los niveles digitales de las imágenes originales.

Bandas	22 - junio - 1988					
	Mínimo	Máximo	Media	Rango	Desviación típica	Varianza
3	9	84	25,4	75	5,9	34,6
4	2	105	34,0	103	13,7	186,2
5	0	125	49,6	125	19,1	365,9
Bandas	4 - julio - 1998					
	Mínimo	Máximo	Media	Rango	Desviación típica	Varianza
3	9	97	21,2	88	4,7	22,4
4	5	102	40,3	97	13,0	170,0
5	0	154	44,9	154	13,9	193,4

Nota: Datos resumidos del informe estadístico generado por MGE.

Las frecuencias absolutas originales fueron transformadas a valores relativos para adecuar la comparación entre bandas, siguiendo la ecuación propuesta por Chuvieco (2000), presentada a continuación:

$$FR(ND_i) = \frac{F(ND_i)}{\sum \{F(ND_i)\}} * 100$$

Donde:

ND_i = Nivel Digital del Pixel i
 $FR(ND_i)$ = Frecuencia Relativa
 F = Frecuencia Absoluta

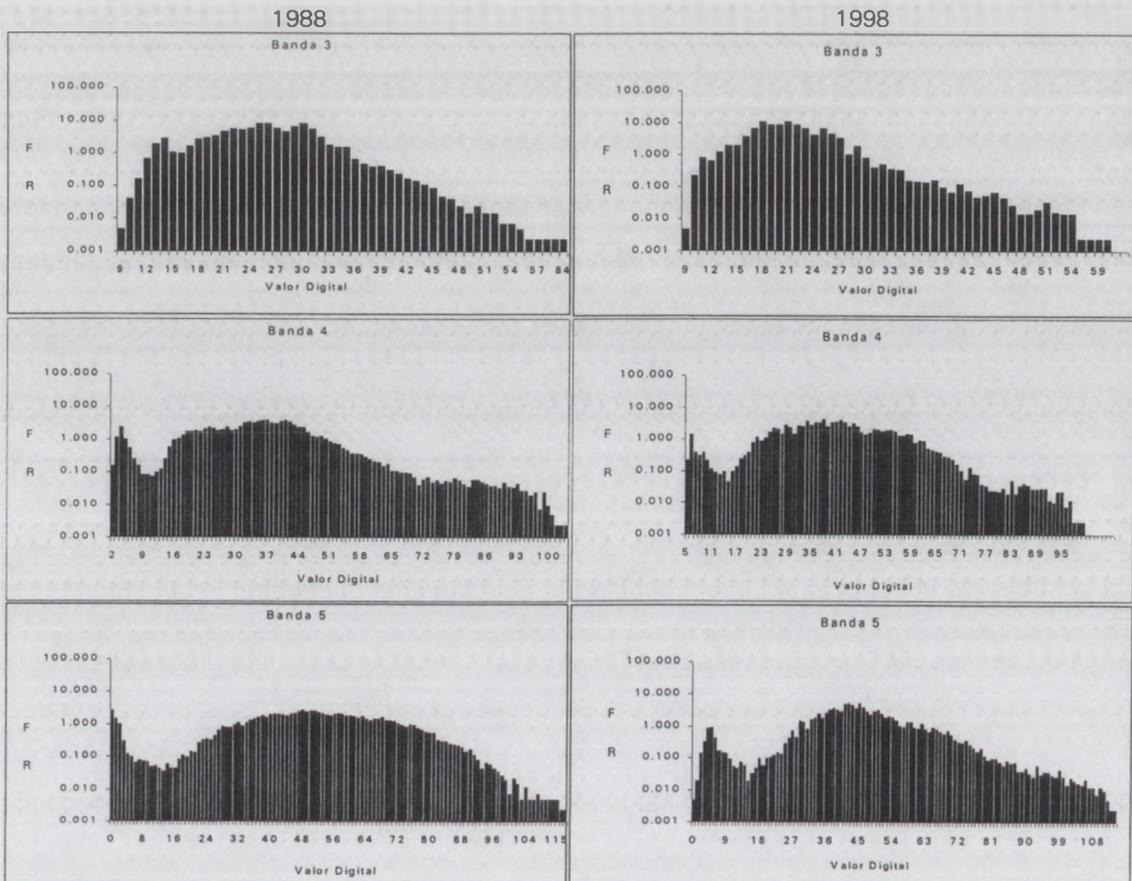


Figura IV.5. Histogramas de las frecuencias relativas de las bandas 3, 4 y 5 de las imágenes de 1988 y 1998.

En las Figuras IV.6 y IV.7, presentamos la composición en falso color (3-4-5) del polígono extraído de las imágenes originales de los años 1988 y 1998, respectivamente. Se trata de ortomágenes, elaboradas e impresas en el módulo *Image Analyst* a escala 1:250.000 para facilitar la edición en el formato del documento de presentación. El procedimiento de corrección geométrica adoptado será detallado posteriormente.

Se pueden observar claramente en las imágenes, los límites principales de *Guaira* (Ríos Grande, Pardo y *Sapucaí*), las carreteras pavimentadas con alineamientos en sentido este-oeste (SP-345) y suroeste-noreste (SP-425).

Destacamos la Cuenca del *Ribeirão Jardim* que corta el centro de la imagen en dirección al Río *Sapucaí*. Otros rasgos importantes que destacamos de las imágenes son:

- la gran cantidad de pequeños embalses (con tonos muy oscuros) distribuidos a lo largo de los ríos;

MUNICIPIO DE GUAÍRA



Imagem do Satélite LANDSAT TM 5, 4 de julho de 1998.
 Captada e distribuída por o Instituto Nacional de Pesquisas
 Espaciais/INPE, Brasil.
 Localização WGS: 221 - 074, Doccocodocac.
 Coordenadas do centro: LAT:LONG -850; 15100 / 71465946
 Número de la zona UTM: 221000
 Distância nominal foto-pontos al Nadir: 30,00 m.

Autor: Dinâmica del Paisaje en Agroecosistemas Interiores
 en Brasil: Indicadores Espacio - Temporales
 y Sostenibilidad Agrícola
CLAUDIO BUSCHINELLI
TESIS DOCTORAL

FIGURA Nº TÍTULO:
IV.7 ORTOIMAGEN DE LA COMPOSICIÓN FALSO COLOR
 (3 4 5), MUNICIPIO DE GUAÍRA, 1998

NOVIEMBRE DE 2001
 Escala gráfica: 1 : 20000

- la pequeña mancha urbana de *Guaira* en el centro de la imagen;
- los distintos tipos de suelos desnudos en tonos de azul, lila y marrón; y
- la gran variedad de cubiertas vegetales (en tonos verdes), donde se destacan los cultivos de regadío bajo pivotes (con tonos de verde muy vivos) distribuidos por todo el municipio, el predominio de la caña de azúcar (con tonos variados de verde) como cultivo de secano y la variada vegetación de ribera a lo largo de los cauces de los ríos.

Cabe destacar, además, la gran cantidad de sedimentos en suspensión en los Ríos *Sapucaí* y *Pardo* y en los embalses. En el primero, es muy clara la mancha marrón en su confluencia con el Río *Grande* (parte superior central de la imagen).

La gran variedad de las cubiertas vegetales, de suelos desnudos, y de láminas de agua, han influido de forma significativa en los resultados de la clasificación digital, como veremos de forma detallada en el Capítulo V (Resultados y Discusión).

Detallamos a continuación, el procedimiento general de tratamiento digital de las imágenes, empezando por la clasificación de las imágenes.

De acuerdo con Chuvieco (2000), tanto el método no supervisado como el supervisado presentan ventajas e inconvenientes en la clasificación digital de imágenes. El primero, por presentar resultados que muchas veces no tienen una clara correspondencia entre las clases espectrales y las categorías temáticas deseadas; por otra parte, el método supervisado presenta un carácter subjetivo y determinista, pues el usuario define las categorías temáticas sin la exacta consideración de las características espectrales originales de la imagen.

Así que, siguiendo las recomendaciones de Chuvieco (2000), utilizamos la clasificación no supervisada como un paso exploratorio para la mejor definición de los campos de entrenamiento en la clasificación supervisada.

IV.2.2.1. Clasificación no supervisada

Inicialmente realizamos la clasificación no supervisada para identificar las distintas clases espectrales o agrupaciones naturales de píxeles con comportamiento espectral similar.

De los algoritmos de agrupación disponibles en MGE - *Competitive Training*, ISODATA y *K-Means* - aplicamos el último, por presentar los mejores resultados en tests preliminares, basados en la comparación de los resultados, tanto de las distancias medias de separabilidad estadística como de la exactitud global de la matriz de confusión, además del número de píxeles nulos (sin asignación) generados en la clasificación, hecho que comentaremos más adelante.

El algoritmo *K-Means* está basado en la minimización del índice de desempeño (definido como la suma cuadrática de la distancia Euclidiana o de Jeffries-Matusita (J-M), de todos los píxeles del grupo al valor medio del grupo). El proceso se repite iterativamente, hasta que las distancias de todas las medias de los grupos, calculadas para la actual iteración y aquellas de la iteración previa, estén dentro de la convergencia tolerada (Intergraph, 1997). Aportamos las siguientes variables de entrada para que el algoritmo reconozca los niveles digitales medios y separe las agrupaciones: 12 clases, máximo de 20 iteraciones, 10% de muestreo y 1,5 de distancia de divergencia (valor por defecto del programa).

Tras los cálculos, el programa elabora un informe con las estadísticas descriptivas de los niveles digitales de cada clase espectral (valores mínimo, máximo y medio, desviación típica y varianza), además de las matrices de covarianza y de las distancias de J-M y Euclidiana. Datos estos, que serán presentados posteriormente en el Capítulo V (Resultados y Discusión).

La siguiente etapa fue la asignación de la información espectral de las distintas clases identificadas para la generación de la imagen clasificada con valor temático.

Los algoritmos existentes en MGE para la asignación son los de mínima distancia, máxima probabilidad, paralelepípedos y métodos mixtos entre paralelepípedos y los dos primeros. Optamos por emplear el método mixto de paralelepípedos y máxima probabilidad, por presentar mejores resultados en tests preliminares, basados en la comparación de los valores de las matrices de confusión.

Después de varios tests preliminares, optamos por la siguiente configuración de las variables estadísticas del proceso de clasificación de las imágenes:

- 1988 - Límite de confianza del 97,5%; 3 desviaciones típicas de umbral;
- 1998 - Límite de confianza del 95,0%; 3 desviaciones típicas de umbral.

Estos parámetros serán comentados en el siguiente Capítulo (V. Resultados y Discusión), cuando también presentaremos los resultados cartográficos del proceso de clasificación no supervisada (Figuras V.3 y V.4, para los años 1988 y 1998, respectivamente). Por ahora, solamente destacamos su importancia exploratoria para el conocimiento de las tendencias y características espectrales contenidas en las imágenes Landsat, hecho que nos ayudó en la clasificación supervisada, descrita a continuación.

IV.2.2.2. Clasificación supervisada

La experiencia adquirida con la clasificación anterior nos indicó que el área urbana se confundía totalmente con los suelos descubiertos y pastizales, que muchas de las áreas

de embalses quedaban mal clasificadas, y que la caña de azúcar y cultivos de regadío igualmente se confundían en la clasificación.

Así, optamos por utilizar máscaras de esas categorías en la clasificación supervisada, ya que mediante criterios visuales como textura, forma y patrón espacial, además del conocimiento del área se podrían identificar claramente esas cubiertas.

Las máscaras del área urbana y de caña de azúcar, categorías claramente visibles en la composición 3-4-5 (Figuras IV.6 y IV.7), fueron digitalizadas directamente en pantalla por medio del ratón; posteriormente, los polígonos fueron convertidos al formato raster para integrarlos en la posterior clasificación supervisada.

Para el caso de las láminas de agua, sería muy laborioso identificar y digitalizar visualmente todos los pequeños embalses. Así que, utilizamos la técnica de Análisis de Componentes Principales (ACP) con la generación de una nueva imagen para la posterior generación de la máscara.

La técnica del ACP reúne e integra en pocas imágenes (generalmente en los tres primeros componentes) la gran variedad de información presente en datos e imágenes multiespectrales sin redundancia de información (Chuvieco, 2000; Richards, 1995).

Se podrían utilizar otras técnicas como, por ejemplo, los umbrales espectrales del agua en las bandas 4 y 5, donde ocurre la mínima reflectividad de esa cubierta. Pero, como en el Trabajo de Investigación utilizamos la técnica del ACP para extraer la máscara del agua en la clasificación de la imagen del año 1988, seguimos el mismo procedimiento para la clasificación de la imagen de 1998, y así, mantener la coherencia metodológica del trabajo.

De esa manera aplicamos la técnica del ACP, disponible en el módulo *Image Analyst*, con el objetivo de separar el agua de las demás cubiertas. El resultado fue muy semejante al obtenido anteriormente en la clasificación de la imagen de 1988, quedando el agua claramente separada en la imagen del primer componente principal, seguida de la vegetación vigorosa y de los suelos descubiertos, como segundo y tercero componentes principales, respectivamente.

Aplicándose a la imagen del agua una paleta de color de escalas crecientes de gris, notamos que las láminas de agua contenían valores superiores a un umbral de 60, así que en la reclasificación nos fue posible aislar esta cubierta y obtener una nueva imagen para utilizarla como máscara. Además, para comprobar el grado de ajuste entre la máscara del agua y la composición falso color, evaluamos en pantalla la superposición de las imágenes, la cual nos pareció satisfactoria. Aportaremos más detalles y comentarios con los resultados del procedimiento en el Capítulo V (Resultados y Discusión).

Una vez obtenidas las imágenes de las máscaras, procedemos finalmente a una

nueva clasificación de las imágenes, supervisando el proceso mediante la generación de campos de entrenamiento en las categorías temáticas previamente definidas, y utilizando las máscaras para aislar las categorías con problemas de separación espectral.

Para la clasificación propiamente dicha y generación de las imágenes de salida, utilizamos el mismo algoritmo de la clasificación no supervisada, o sea, el método mixto de paralelepípedos y máxima probabilidad, que demostró mejores resultados en tests preliminares.

Para la imagen de 1988 aportamos los valores de 97,5% grados de libertad y 3 desviaciones típicas para el procedimiento. En la clasificación de la imagen de 1998, las pruebas realizadas con los mismos valores de configuración utilizados en la imagen de 1988, presentaron resultados con menor exactitud global y demasiados pixeles sin clasificar. Hecho que nos motivó a alterar esos valores por estos otros: 95% de grados de libertad y 3 desviaciones típicas.

Cabe destacar que, en todos los procesos de clasificación testados y por fin realizados, determinados pixeles no eran debidamente clasificados. Hecho que comentaremos posteriormente pero que es debido, muy probablemente, a los ajustes de los parámetros estadísticos de los grados de libertad y de desviación típica del algoritmo de clasificación, los cuales definen las características espectrales de las agrupaciones o cubiertas de la imagen.

De cualquier manera, como veremos en el Capítulo V (Resultados y Discusión), el número de pixeles no clasificados fue pequeño con relación al total. Esos pixeles no clasificados fueron agrupados por el algoritmo de clasificación con un valor digital único en la tabla de colores y, en los procedimientos subsecuentes de superposición de las imágenes clasificadas, siempre fueron considerados preponderantes en la reclasificación de la imagen resultante.

Por ejemplo, al realizar la superposición de las imágenes clasificadas de 1988 y 1998, si determinado pixel presentaba la combinación "sin clasificar" en una fecha con "pastizales" en otra fecha, le asignamos un valor final de pixel "sin clasificar", ya que no es posible reconstruir la secuencia evolutiva de uso completa. De ahí, el mayor número de pixeles sin clasificar observados en la matriz de cambios de los años 1988 y 1998, que el número de esos mismos pixeles en las imágenes individuales, como veremos en el Capítulo V (Resultados y Discusión).

Somos conscientes que hubiera sido importante mantener los mismos parámetros de ajuste del algoritmo a efectos comparativos entre las dos fechas de la clasificación. No obstante, creemos que esta alteración no representa una incorrección metodológica, ya que utilizamos el mismo algoritmo.

Por el contrario, el elevado número de píxeles sin clasificar hubiera influido de manera insatisfactoria en los siguientes tratamientos, como por ejemplo en los cruces de imágenes para obtener los mapas sintéticos. Además, si lográbamos eliminar los píxeles sin clasificar alterando, por ejemplo los grados de libertad, ocurría un mayor solape entre las clases y consecuentemente una menor exactitud de la clasificación.

Es importante destacar que realizamos la corrección geométrica para la adecuada superposición de las imágenes de 1988 y 1998 con las imágenes digitalizadas que nos sirvieron de máscaras. El procedimiento de corrección será presentado en el siguiente ítem, así como el filtrado de las imágenes para las salidas gráficas.

A continuación describimos y comentamos las categorías temáticas de interés en la clasificación digital (Tabla IV.3). Estos, fueron elegidas en base a los resultados de la clasificación no supervisada, por la posibilidad discriminatoria de la clasificación digital y por el interés en separar determinadas categorías, como la caña de azúcar por ejemplo, para el análisis de cambios de ocupación.

Tabla IV.3. Categorías temáticas del Mapa de Ocupación de las Tierras en 1988 y 1998.

Categorías temáticas	Descripción general
Cultivos de regadío	Básicamente constituido por áreas de riego con pivotes (alubias, tomate y maíz)
Caña de azúcar	Cultivo semiperenne (ciclo medio de 3 a 4 años)
Cultivos recientes	Áreas con cultivos anuales en estadios iniciales de crecimiento (maíz, caña, sorgo)
Cultivos senescentes	Áreas con cultivos anuales senescentes (maíz, algodón, caña)
Suelos desnudos	Áreas recientemente labradas para cultivo anual (maíz, caña, alubia, sorgo)
Pastizales	Campos nativos o sembrados, con vegetación herbácea y arbustiva muy dispersa
Bosques	<i>Cerrados</i> y bosques galería
Láminas de agua	Embalses y lagunas (los ríos no aparecen como superficies cartografiables y sí como líneas en el área de la cuenca)
Áreas urbanas	Núcleo urbano y terrenos anexos de uso residencial o infraestructuras

Nota: Las categorías temáticas de las celdas sombreadas fueron incluidas posteriormente en la clasificación como máscaras.

Como se puede notar por las ortoimágenes de *Guaira* (Figuras IV.6 y IV.7), existe un verdadero mosaico de cultivos en distintos estadios de crecimiento como consecuencia por un lado del riego, que permite varias cosechas en la misma parcela en el año, y por otro, del uso de diferentes variedades de cultivos de secano, seleccionadas para aprovechar la corta oferta de agua de finales del otoño e inicio del invierno.

Nuestro interés en esta etapa del trabajo fue la identificación del mayor número de cubiertas en la clasificación digital de las imágenes. Algunas categorías temáticas (Tabla IV.3) son presentadas con terminologías, quizá, poco adecuadas y no totalmente auto-

explicativas en su contenido temático, como por ejemplo los cultivos recientes y cultivos senescentes.

Somos conscientes de que una adecuada terminología deba ser aplicada y normalizada en estudios de teledetección. Pero, reafirmamos que nuestro objetivo era de identificar el mayor número de cubiertas en las imágenes; a pesar de que algunas de las categorías identificadas pudiesen ser consideradas más como categorías espectrales que temáticas.

Conviene destacar, además, que para los estudios de cambios de ocupación, las categorías de los cultivos recientes, cultivos senescentes y suelos desnudos, fueron agregadas en una nueva categoría temática, nombrada cultivos indiferenciados. Hecho que posteriormente comentaremos con más detalle.

La selección de campos de entrenamiento fue estratificada, o sea, buscamos separar pequeñas áreas homogéneas de las categorías temáticas de acuerdo con sus variabilidades naturales detectadas en la clasificación no supervisada. Para cada una de las categorías, fueron tomados de 25 a 30 pequeños polígonos de entrenamiento distribuidos por toda la imagen, abarcando dentro del posible la variabilidad de ocurrencia de cada clase de interés. Para la clasificación de la imagen de 1998, tuvimos la oportunidad de confirmar algunas de las categorías identificadas en el propio terreno (pastizales, bosques y áreas de cultivo de secano), cuando llevamos a cabo el trabajo de campo, ese mismo año.

Así que, por ejemplo, para los cultivos de regadío, pastizales o suelos descubiertos, inicialmente seleccionamos distintos campos, buscando abarcar la variedad de respuesta espectral de esas categorías. Posteriormente, esas fueron agregadas con el fin de mejorar la clasificación final de las imágenes.

En lo que se refiere a la comprobación de los resultados de la clasificación digital de las imágenes, además del análisis de la fiabilidad en las filas y columnas de la matriz de confusión, o sea, de las categorías temáticas y de sus residuales causados por la comisión u omisión de píxeles en la clasificación, resulta de gran interés un análisis multivariado de las categorías (Chuvieco, 2000; Richards, 1995). El estadístico Kappa es uno de los más utilizados para la comprobación de la calidad de la clasificación (ajuste entre el mapa y lo observado), ante la posibilidad de la asignación aleatoria.

A pesar de que el índice sea más aplicable para comparaciones entre distintos métodos o ejecutores de clasificación digital (Chuvieco, 2000; Lillesand y Kiefer, 1994), lo utilizamos para un chequeo de la calidad de la clasificación procesada.

En las matrices de confusión de las distintas clasificaciones, las cuales serán presentadas en el Capítulo V (Resultados y Discusión), incluimos la estadística de Kappa.

La ecuación para el cálculo del Índice Kappa (K), extraída de Lillesand y Kiefer

(1994) y presentada a continuación, genera valores que normalmente están entre 0 y 1. Valores bajos significan una pobre calidad de clasificación y que el resultado obtenido es debido simplemente al azar, mientras que un valor de 1 indica el completo y verdadero acuerdo entre lo esperado y observado (Chuvienco, 2000).

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}$$

Donde:

x_{ii} = número de observaciones en la columna i y línea i (valor del diagonal principal);

r = número de líneas y columnas de la matriz de confusión;

x_{i+} = total de observaciones en la línea i ;

x_{+i} = total de observaciones en la columna i ;

N = número total de observaciones (píxeles) de la matriz.

Los resultados cartográficos generados en la clasificación supervisada de las imágenes Landsat y que acaban por componer la ocupación territorial del Municipio de Guaira en 1988 y 1998 (Mapas 2 y 3, respectivamente) serán presentados en el Capítulo V (Resultados y Discusión), como también las estadísticas finales de la ocupación territorial en los referidos años (Tabla V.14).

IV.2.2.3. Tratamientos finales en las imágenes

Como hemos comentado en el epígrafe anterior, realizamos la corrección geométrica de las imágenes originalmente tratadas conforme al procedimiento relatado a continuación.

Por la extensión de los datos, presentamos en la Tabla IV.4 un resumen de todos los puntos de control utilizados para la corrección de las imágenes de 1988 y 1998, los cuales se pueden consultar con más detalle en los Anexos IV.2 y IV.3, respectivamente.

Tomamos un total de 57 y 56 puntos de referencia para la corrección de las imágenes de 1988 y 1998, respectivamente, distribuidos por toda la imagen y situados principalmente en los cruces de carreteras y puentes de los ríos principales.

Aplicamos la ecuación polinomial de 3^{er} orden para el ajuste entre imágenes y mapa vectorial de referencia, la cual proporcionó un error estándar de 21 y 20 metros, respectivamente para las fechas de 1988 y 1998. Consideramos satisfactorios esos resultados por situarse por debajo del tamaño de píxel de 30 metros.

Utilizamos distintos algoritmos para la corrección de la imagen original y las clasificadas. Para la edición de la ortoimagen en falso color presentada en las Figuras IV.6 y IV.7, aplicamos el procedimiento de convolución cúbica, que por considerar 16 píxeles

vecinos, ofrece resultados más exactos. Mientras que para las imágenes clasificadas, aplicamos el proceso del vecino más cercano para no generar distorsiones muy acentuadas del resultado de la clasificación.

Tabla IV.4. Valores de la corrección geométrica de las imágenes.

Año	Número de puntos	Error Cuadrático Medio (m)		Error Estándar (m)	Grados de Libertad
		Menor	Mayor		
1988	57	5,9	46,5	21	94
1998	56	2,6	44,2	20	94

En lo que se refiere al filtrado de las imágenes clasificadas, para conseguir la mejor presentación visual de los resultados en el mapa, aplicamos un filtro modal de ventana de 3 X 3 píxeles. No obstante, para el tratamiento y análisis estadístico de los datos, utilizamos los valores originales de las mismas para no distorsionar los registros de superficie ocupada por las categorías temáticas.

Presentamos a continuación, el procedimiento general para el tratamiento digital del mapa de capacidad de uso anteriormente mencionado.

IV.2.3. Capacidad de uso de las tierras

Como presentamos en el Capítulo II (Antecedentes), existen muchas metodologías de evaluación del potencial productivo del territorio.

En nuestro estudio de los conflictos de ocupación de las tierras, utilizamos los datos de un trabajo desarrollado para la zona, como hemos comentado anteriormente. Se trata del Mapa de Capacidad de Uso de las Tierras del Municipio de *Guaira* (IPT, 1995).

Somos conscientes de que el método utilizado por IPT no es el más adecuado para zonas de agricultura plenamente instalada y tecnificada, ya que se basa en la metodología de capacidad de uso desarrollada por USDA y destinada a una planificación general del uso del suelo a escala regional. Además, no incorpora criterios de aplicación tecnológica de los posibles usos agrícolas, lo que le caracteriza como un método de identificación y cualificación de parámetros puramente biofísicos. En el Capítulo II (Antecedentes) ya discutimos esos tópicos, pero, de cualquier manera, pensamos que es importante resaltarlos en este momento.

En cualquier caso, se trata de un importante documento de referencia al cual acudimos para el presente análisis.

El referido mapa fue digitalizado y posteriormente rasterizado en el módulo *Grid*

Analyst conforme al procedimiento ya detallado en el ítem IV.2.1.

Del mapa raster de todo el municipio, extrajimos el polígono que enmarca la Cuenca del *Ribeirão Jardim*, para su utilización en el estudio de adecuación de las tierras en ese ámbito.

En la Tabla IV.5, están representadas las distintas clases de capacidad de uso, sus principales características y potencialidades. Comentaremos, con más detalle, ese mapa en el capítulo siguiente (Resultados y Discusión), cuando presentemos los resultados relativos a los conflictos de ocupación de las tierras.

Se puede observar previamente, por las informaciones de la Tabla IV.5, la jerarquía creciente de limitaciones del territorio a los cultivos intensivos, en otras palabras, su mayor potencial para usos conservacionistas. Además, está clara la generalización de las categorías temáticas (clases de capacidad de uso), donde los factores limitantes más importantes son la fertilidad natural de los suelos y el riesgo de que ocurran procesos erosivos de los suelos, por su ubicación en áreas de mayor pendiente.

Tabla IV.5. Descripción de las categorías y recomendaciones del Mapa de Capacidad de Uso de las Tierras.

Capacidad de uso		Recomendación
Clase I		Cultivos anuales intensivos sin restricciones
Clase II	Subclase II s	Cultivos anuales intensivos, problemas simples de fertilidad
	Subclase II e	Cultivos anuales intensivos, problemas simples de erosión hídrica
	Subclase II se	Cultivos anuales intensivos, problemas simples de fertilidad y erosión hídrica
Clase III	Subclase III s	Cultivos anuales intensivos, problemas complejos de fertilidad
	Subclase III e	Cultivos anuales intensivos, problemas complejos de erosión hídrica
	Subclase III se	Cultivos anuales intensivos, problemas complejos de fertilidad y erosión hídrica
Clase IV	Subclase IV e	Cultivos perennes de limitada extensión, serios problemas de erosión hídrica
Clase V		Pastizales o reforestación, sin riesgo de erosión, pero con problemas de encharcamiento del suelo
Clase VI es		Pastizales con uso moderado o reforestación, serios problemas de erosión y fertilidad

Fuente: IPT (1995).

IV.3. Estudios de los cambios de ocupación del territorio

Una de las aportaciones más destacadas de la Teledetección, de los SIG y de la cartografía al análisis del medio ambiente es su capacidad para realizar el seguimiento de procesos dinámicos.

Varias son las técnicas de análisis para la detección de cambios multitemporales (Chuvienco, 1998), según se empleen imágenes continuas o imágenes categorizadas (clasificadas y transformadas en categorías temáticas).

En el primer caso, cuando las imágenes presentan sus valores digitales originales,

se emplean técnicas cuantitativas como las diferencias, la regresión o los componentes principales. El segundo caso, cuando se tratan de imágenes categorizadas, se comparan imágenes o mapas previamente clasificados por separado, normalmente mediante una matriz de cambios o tabulación cruzada. En este último caso, tanto las imágenes como los mapas a comparar han de tener una leyenda similar o comparable por lo que, en algunas ocasiones, es preciso realizar un reagrupamiento de las clases en algunos de los documentos. Este segundo procedimiento es el que hemos empleado en nuestro trabajo de investigación como consecuencia de trabajar con imágenes categorizadas previamente antes de su comparación mediante tabulación cruzada.

Así que, en el ambiente SIG, fue posible hacer las superposiciones y respectivas reclasificaciones necesarias para generación de los mapas finales del trabajo.

Es importante destacar que en estos procedimientos siempre se generan combinaciones de categorías que no tienen mucha lógica, siendo necesaria alguna normalización para las debidas reclasificaciones.

En nuestro caso, para las reclasificaciones definimos como umbral inferior el número de 100 píxeles, lo que equivale a 9 hectáreas, siendo esos píxeles reclasificados a otras categorías similares temáticamente en el módulo *Grid Analyst*.

Además, como comentamos anteriormente, los píxeles sin clasificar de las imágenes del 1988 y 1998, fueron considerados como preponderantes en las reclasificaciones subsecuentes.

Para el estudio de las tendencias y naturaleza temática de los cambios de ocupación, el criterio adoptado para la separación entre extensificación e intensificación de ocupación, está basado sencillamente en la pérdida o ganancia de aporte tecnológico que las transformaciones han supuesto en cada caso, a ejemplo de otros trabajos realizados por profesores del Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá de Henares (Sancho Comíns et al., 1993a; Sancho Comíns et al., 1993b).

IV.4. Evaluación multitemporal de la adecuación de las tierras a las condiciones biofísicas

Como reconoce la FAO (1976), la evaluación de tierras no es más que una parte del proceso de planificación del territorio. Mediante la comparación entre la capacidad de uso –calidades de las tierras– y los usos reales que se efectúan en el territorio, es posible evaluar la sostenibilidad de esos usos o, por el contrario, reconocer los conflictos entre ambos de tal manera que, si perdura en el tiempo el conflicto, es relativamente fácil prever

un impacto ambiental determinado y, como consecuencia, la degradación de los recursos naturales. A partir de ese reconocimiento, es posible plantearse la necesidad de una modificación de la ocupación, buscando nuevos usos alternativos más adaptados a las condiciones biofísicas del ambiente.

En el esquema de actividades necesarias para la evaluación de tierras, la FAO recomienda una comparación entre la capacidad de uso de las tierras y los usos para conocer, entre otros objetivos, la incidencia sobre el ambiente de la actividad humana (Figura IV.8).

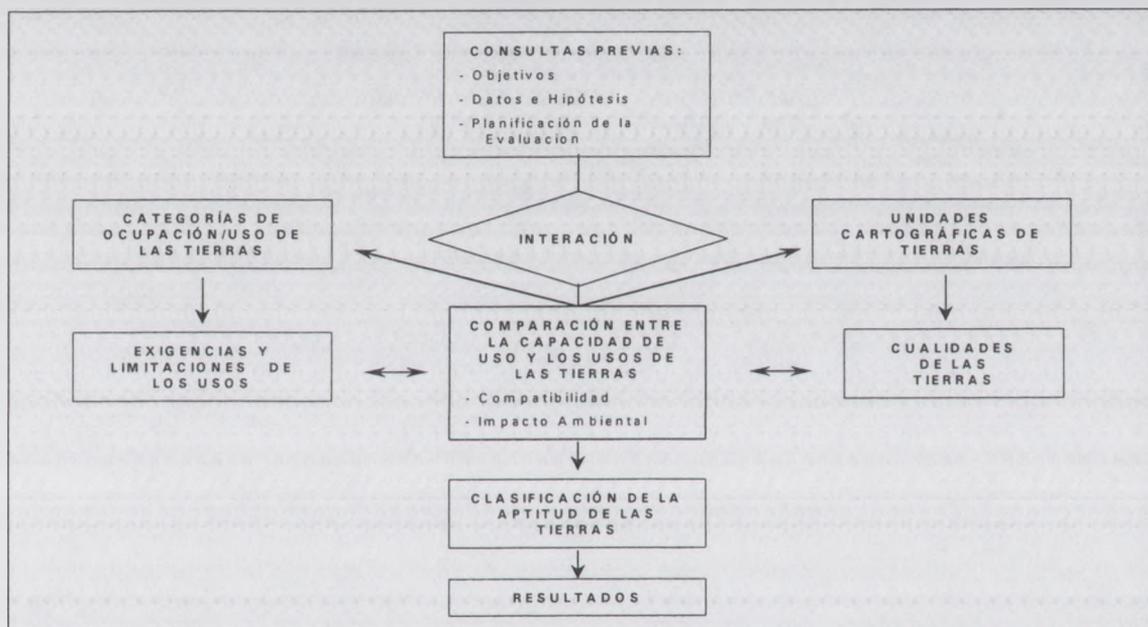


Figura IV.8. Representación esquemática de las actividades de evaluación de tierras. Adaptado de FAO (1976).

El método más sencillo para abordar este enfrentamiento o *match* entre los usos y la capacidad de uso de las tierras es la tabulación cruzada entre los mapas categorizados que representan estas variables. Si consideramos que la leyenda del mapa de capacidad de uso es traducible a una taxonomía similar a los usos generales del suelo, concluimos que ambos son comparables temáticamente.

Por otra parte, es posible acometer un análisis comparativo multitemporal entre los usos del suelo y la capacidad agrológica de las tierras –variable ésta que consideramos estable durante los últimos treinta años– con el objeto de evaluar, indirectamente, la sostenibilidad de los usos en función de las tendencias de la adecuación o de los conflictos entre ambas variables. Como vimos en el capítulo de Antecedentes, algunos autores han traducido este tipo de resultados de la comparación en una escala de sostenibilidad. En nuestro caso, las tendencias temporales de la adecuación o de los conflictos refuerzan la

validez de este método para el análisis de durabilidad de los sistemas agropecuarios, convirtiéndose en uno de los indicadores espacio-temporales para ese fin.

Así pues, el estudio de la adecuación multitemporal de las tierras fue desarrollado mediante la superposición de los mapas de ocupación y el Mapa de Capacidad de Uso de las Tierras, recordando que para la Cuenca del *Ribeirão Jardim* el periodo de tiempo es más largo (1971 – 1998), mientras que para todo el Municipio de *Guaira*, evaluamos entre las fechas de 1988 y 1998.

Los resultados obtenidos mediante la tabulación cruzada fueron reclasificados en función de su significado e importancia temática y escalados en una sencilla leyenda cualitativa, de modo que expresara los conflictos de ocupación en cuatro categorías temáticas:

- ausente;
- ligero;
- moderado; y
- elevado.

Este tipo de cartografía *ambiental* posee una clara orientación aplicada. Está diseñada *ad hoc* para resolver problemas específicos de planificación y gestión del territorio (Journaux, 1987).

En el siguiente capítulo, presentamos y discutimos los resultados propiamente dichos del trabajo, o sea, la dinámica del paisaje agrario y la adecuación de la ocupación del territorio frente a la capacidad de uso potencial de las tierras.

CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo describimos y comentamos los resultados del trabajo, organizados en la misma secuencia del Capítulo IV (Materiales y Métodos). Inicialmente presentamos los datos de la ocupación de las tierras, para después centrarnos en el análisis de los cambios de ocupación, y de su adecuación a la capacidad de uso, en los distintos ámbitos del estudio.

V.1. Ocupación del territorio

Presentamos a continuación los mapas correspondientes a la ocupación de las tierras en los distintos ámbitos evaluados, siempre en la escala 1:100.000.

Empezaremos por la Cuenca del *Ribeirão Jardim*, que contempla el periodo más largo de tiempo y menor extensión territorial, para enseguida discutir los resultados de la clasificación digital de las imágenes Landsat de los años 1988 y 1998, que contemplan la totalidad del Municipio de *Guaira*.

V.1.1. Ocupación de las tierras en la Cuenca del *Ribeirão Jardim* en 1971

El Mapa 1 es una representación cartográfica de la ocupación del suelo de la Cuenca del *Ribeirão Jardim* en 1971 a la escala de 1:100.000. Como se puede comprobar, se mezcla la imagen raster de ocupación de las tierras con los ficheros vectoriales de la base cartográfica de referencia (hidrografía, infraestructura, curvas de nivel, además de los límites de la cuenca y del Municipio de *Guaira*). El mapa final tiene, de esa manera, una buena referencia cartográfica, con un fondo planimétrico, altimétrico y una rotulación adecuada que contiene una selección de toponimias e hidronimias.

Buscamos definir una paleta de color que representase las características visuales implícitas de las categorías temáticas, además de seguir un cierto patrón de colores normalmente empleados en la cartografía brasileña (Oliveira, 1993). Somos conscientes de que esa paleta difiere de los colores normalmente utilizados en España, como es el caso de la representación de los cultivos de secano en verde.

Este podría ser un tema para interminables discusiones entre aquellos que buscan una normalización internacional para la representación cartográfica y aquellos, que por otra parte, buscan una forma de expresión más aplicable a la percepción de la realidad regional o local.

No es nuestro objetivo entrar en esa polémica, pero optamos por utilizar colores más próximos a la realidad brasileña, cuando fue posible. De ahí la elección del verde para los cultivos de secano, una vez que tienen ese color la mayor parte de su ciclo fenológico, debido a la abundancia de lluvias. De cualquier forma, buscamos un tono pálido para diferenciarlo de los cultivos de regadío y otras cubiertas vegetales naturales de la zona.

La Tabla V.1, recoge el inventario de las superficies de ocupación de las distintas categorías del Mapa 1, aportado por el módulo *Image Analyst*.

Las únicas carreteras pavimentadas eran: la SP-425 que servía de acceso a la ciudad de *Guaíra*, la conectaba con Barretos, el municipio más desarrollado de la región y distante cerca de 30 km; y la SP-345, que corta el extremo sur del área, conectando con Barretos, Ipuã y otras carreteras importantes de conexión con la capital y la región central de Brasil. Las demás vías de acceso secundario, en la época de tráfico periódico y local, conectaban con Miguelópolis y desde ahí, con el Estado de *Minas Gerais*.

Tabla V.1. Superficies de ocupación de las tierras en la Cuenca del *Ribeirão Jardim* en 1971.

Categorías temáticas	Número de píxeles	Hectáreas	Porcentaje
Cultivos de secano	139.532	12.532	43,32
Pastizales	108.341	9.731	33,64
Bosques galería	1.334	120	0,41
Bosques (<i>Cerrados</i>)	26.786	2.406	8,32
<i>Campos cerrados</i>	6.457	580	2,01
<i>Várzeas</i>	36.105	3.243	11,21
Láminas de agua	934	84	0,29
Áreas urbanas	2.574	231	0,80
Total de la Cuenca	322.063	28.926	100
<i>Fondo</i>	466.730	41.919	-
<i>Total</i>	788.793	70.845	-

Nota: Valores referentes al polígono de 1091 líneas y 723 columnas que enmarca la cuenca.

La Cuenca Hidrográfica del *Ribeirão Jardim*, tiene una superficie de cerca de 29.000 hectáreas, o el 23% del total municipal.

En lo que se refiere a su ocupación del territorio, se puede apreciar que, ya en los principios de la década de los 70, había un gran predominio de usos agrícolas (cultivos de secano y pastizales), que juntos sumaban cerca del 77% de la cuenca, en comparación a

las demás cubiertas de vegetación natural, como se puede comprobar en el Mapa 1.

Si comparamos estos valores con los datos de la producción agrícola municipal en el mismo período (Tabla V.2), podemos comprobar la importancia de los cultivos de secano como algodón, maíz, soja y arroz, que representando los principales productos de la zona, totalizaban poco más de 50.000 Ha, o sea, el 42% del área municipal, pero con rendimientos poco significativos. No fue posible la obtención de datos de la producción agrícola a un mayor detalle, así que, los valores del municipio nos sirvieron como referencia general.

Tabla V.2. Principales cultivos anuales del Municipio de *Guaira* a principios de la década de los setenta.

Cultivos	1971			1973		
	Área (1000 Ha)	Producción (1000 T)	Rend. (kg/Ha)	Área (1000 Ha)	Producción (1000 T)	Rend. (kg/Ha)
Algodón	20,0	24,0	1.200	6,5	7,2	1.110
Arroz	3,5	1,7	480	4,0	4,8	1.200
Maíz	15,0	15,3	1.020	14,0	33,6	2.400
Soja	12,0	14,4	1.200	30,0	41,4	1.500

Fuente: Modificado a partir de (Abreu, 1994), datos de la *Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo*.

La distinción entre los bosques galería y bosques fue posible en la fotointerpretación, por la mayor homogeneidad de textura y tonos más oscuros de los primeros, que se constituyen en una formación arbórea más compacta que los *cerrados*, además de la ubicación más cercana a los ríos y sus formas lineales, como los que vemos en el Mapa 1, como pequeñas manchas verde oscuro.

Las *várzeas* tienen una gran importancia ecológica por su diversidad biológica y por ser un espacio periódicamente inundado por la crecida de los ríos, siendo en gran medida manejado tradicionalmente para el cultivo de arroz o pastoreo, debido a la mayor fertilidad natural de sus suelos aluviales. En el Mapa 1 son nítidamente visualizadas por su delineamiento casi siempre continuo en manchas estrechas a lo largo de los ríos y zonas de topografía más baja.

Los *cerrados*, a su vez, presentan una gran diversidad de hábitats y fisionomía, como ya los describimos con más detalle en el Capítulo III (Área de Estudio), estando representados en el Mapa 1 como bosques y visualizados como manchas mayores y dispersas por toda la cuenca en color verde.

En cuanto a los *campos cerrados*, representan áreas originalmente de *cerrados* que

se encuentran bastante alteradas por las quemas controladas para el pastoreo de ganado vacuno. Son visualizados en el mapa como pequeñas manchas dispersas por la cuenca en color marrón claro.

Como consecuencia de las quemas controladas y del avance de la agricultura, la deforestación de las áreas boscosas nativas fue intensa, principalmente de los bosques galería, motivado por la presencia de especies arbóreas de madera de mejor calidad. Había pequeñas manchas dispersas, que sumadas, no alcanzaban un 0,5% del área. En la mayoría de los casos esos bosques sirvieron de límites para los cultivos y pastizales, o como áreas de reserva de madera.

Cabe destacar que, por la topografía poco accidentada y suelos profundos, los bosques galería normalmente no tienen su distribución restringida a algunos pocos metros de los cauces de los ríos sino que ocupan relativa extensión de tierras húmedas y más fértiles a lo largo de la red de drenaje principal. Muchos autores consideran esos bosques como una prolongación natural del exuberante Bosque Atlántico (de característica ecuatorial húmeda), que originalmente cubría grandes extensiones del litoral brasileño (Dean, 1996).

Los *cerrados*, por otra parte, con árboles de menor porte y calidad de maderas, seguían resistiendo a la roturación indiscriminada, de tal manera que todavía se identificaron en el año 1971 cerca de 2.400 Ha de esa cubierta natural. Hecho que puede estar relacionado con el mantenimiento de los *cerrados* como parcelas de tierras, reconocidamente de menor fertilidad, para ser reclutadas en el futuro como nuevas áreas de pastoreo o cultivos.

En efecto, en el pasado esas áreas fueron paulatinamente "limpias", mediante la quema controlada para su utilización inicial como pastizales, lo que viene a configurar otra cubierta vegetal del área, los *campos cerrados*, con cerca del 2% de ocupación del territorio. Esa dinámica de ocupación se puede observar, o mejor inferir, pues se trata de una única fecha, en un polígono de *campos cerrados* que envuelve una pequeña mancha de formato regular de *cerrados*, en el sudoeste de la cuenca (Mapa 1).

Otra categoría de importancia territorial son las *várzeas*, con poco más de 3.200 Ha en la cuenca. Situadas a lo largo de los ríos, se caracterizan por la utilización ocasional como áreas de pastoreo o para el cultivo de arroz, este último en menor grado en la zona de acuerdo con la Tabla V.2. Cabe destacar la importancia que esas áreas pueden desempeñar, tanto como corredores ecológicos como por su diversidad biológica.

Los pequeños embalses, con un área total de 84 Ha y construidos principalmente en la cabecera de los ríos aprovechando la topografía favorable, sirvieron fundamentalmente como fuente de agua para la ganadería bovina extensiva, antes de que el riego se instalara de forma expresiva.

Por último, cabe destacar que el núcleo urbano de *Guaira*, situado en el centro de la cuenca, contaba en los años 70 con una población no superior a 27.000 habitantes, de los cuales cerca de un 37% vivían en el medio rural, de ahí que la superficie ocupada por la ciudad (230 Ha) no sea tan significativa.

En definitiva, lo que más llama la atención en el Mapa 1 es que no se aprecia una tendencia nítida de distribución de las categorías de ocupación agrícola con relación a la topografía del área. Se podría suponer una concentración de los cultivos en determinadas zonas más favorables, pero tal hecho no ocurre debido a la uniformidad tanto del relieve y del aporte de agua, como de los grandes grupos de suelos, conforme se ha presentado en el Capítulo III (Área de Estudio); y se puede observar, por lo menos visualmente, un mosaico mezclado relativamente uniforme de las categorías temáticas.

De todas formas queda clara la fragmentación de los espacios naturales arbolados o arbustivos, consecuencia directa e inevitable del avance de la frontera agrícola sin un tipo de planeamiento de uso y ocupación del territorio definidos.

V.1.2. Ocupación de las tierras del Municipio de *Guaira* en 1988 y 1998

Como se ha mencionado en el capítulo anterior (Materiales y Métodos), esta etapa del trabajo exigió mucho más recursos y tiempo para su elaboración. Presentamos y discutimos inicialmente, los resultados de las clasificaciones digitales de las imágenes de satélite que nos sirvieron de base para la confección de los mapas de ocupación territorial. Conviene destacar que la clasificación se realizó en el polígono mayor que enmarca todo el municipio; posteriormente extrajimos el polígono menor que envuelve la cuenca.

V.1.2.1. Clasificación no supervisada

Resumimos los datos más importantes de los informes resultantes de la clasificación no supervisada de la imagen de 1998 en las Tablas V.3 y V.4 y en Figuras V.1 y V.2, correspondientes a las estadísticas descriptivas, distancia de J-M, diagrama de separabilidad y curvas espectrales, respectivamente.

Por tratarse de un procedimiento previo, los datos del mismo proceso de clasificación de la imagen del año 1988 son presentados separadamente en los Anexos V.1, V.2, V.3 y V.4.

Comentaremos los datos de la clasificación un poco más adelante y de forma conjunta, insertando el resultado de la clasificación propiamente dicha.

Como mencionamos en el capítulo anterior, utilizamos el algoritmo *K-means* en esta

etapa exploratoria de la clasificación. El algoritmo calcula la separabilidad entre clases espectrales a través de la distancia de J-M, representada en forma de matriz en la Tabla V.4. Tal distancia, varía de 0 hasta 2 e indica la separabilidad estadística entre dos clases. Un valor de 2 significa la completa separación espectral, mientras que valores de 1,4 o inferiores, implican una potencial confusión entre clases.

El *K-Means* es uno de los algoritmos más utilizados a pesar de ser informáticamente intensivo por su carácter iterativo, siendo aplicado en subáreas de la imagen en procedimiento híbrido de clasificación digital (Lillesand y Kiefer, 1994; Richards, 1995).

En nuestro caso, como utilizamos solamente 3 bandas y lo aplicamos al 10% de la imagen, que tampoco tenía un número muy grande de píxeles, el proceso de clasificación fue bastante rápido y demostró ser satisfactorio como se puede comprobar por los resultados de la matriz de separabilidad estadística de las clases espectrales (Tabla V.4), que presenta un valor promedio de 1,845 de la distancia de Jeffries-Matusita.

La siguiente etapa fue la asignación de la información espectral de las distintas clases identificadas para la generación de la imagen clasificada con valor temático.

Como hemos mencionado antes, usamos el método mixto de paralelepípedos y máxima probabilidad para las dos imágenes, con 97,5% y 95% de límite de confianza para los años 1988 y 1998, respectivamente, y 3 desviaciones típicas de umbral para las dos fechas.

Tabla V.3. Estadísticas descriptivas de la clasificación no supervisada de la imagen de 1998. Las clases descubiertas oscuras; 3, 4 y 7) suelos semicubiertos con vegetación incipiente; 5) láminas de agua con vegetación vigorosa (regadío, caña de azúcar y vegetación palustre); 9 y 11) suelos descubiertos claros.

Clases	Banda 3				Banda 4			
	Media (\bar{x})	D. Tip. (s)	$\bar{x} - 1s$	$\bar{x} + 1s$	Media (\bar{x})	D. Tip. (s)	$\bar{x} - 1s$	$\bar{x} + 1s$
1	23	2,7	20,0	25,3	24	3,6	20,7	27,3
2	24	2,9	21,0	26,8	32	4,0	28,2	35,8
3	23	2,7	20,6	26,0	47	5,0	41,8	52,2
4	20	2,5	17,7	22,8	35	3,0	32,4	37,6
5	14	3,4	10,6	17,5	9	4,9	4,1	13,8
6	19	1,8	16,8	20,4	56	3,3	53,1	59,7
7	20	2,1	18,2	22,5	44	3,4	40,9	47,1
8	18	2,5	15,9	21,0	69	7,9	61,3	76,7
9	33	7,6	25,3	40,5	45	5,6	39,1	50,1
10	17	2,0	15,2	19,2	47	3,9	43,0	47,9
11	26	3,1	23,1	29,3	40	4,1	35,9	44,1
12	17	2,8	14,4	19,9	35	4,3	31,2	39,8

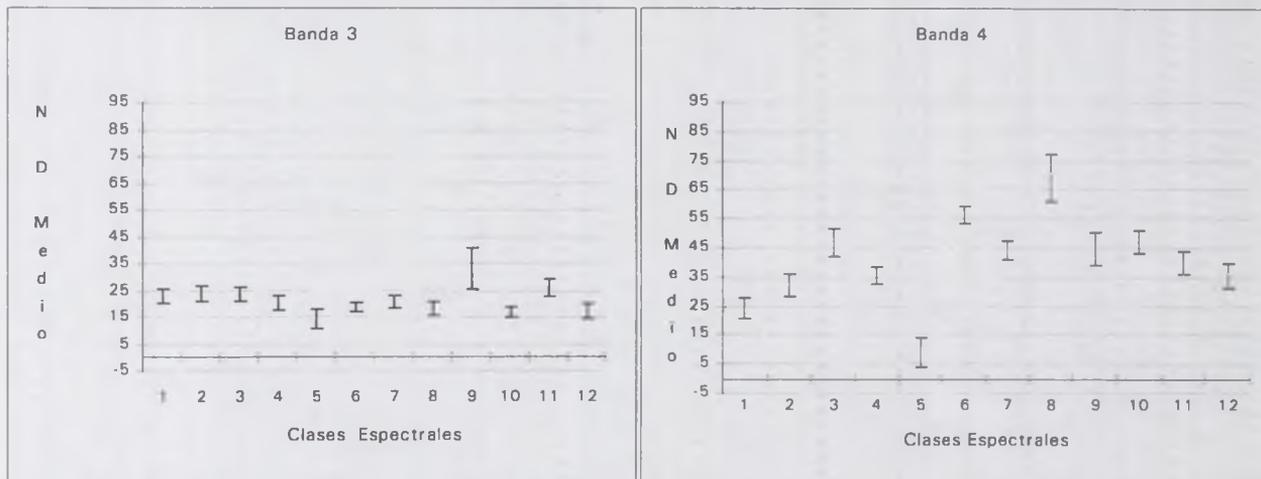


Figura V.1. Diagrama de separabilidad de la clasificación no supervisada, imagen de 1998.

Tabla V.4. Matriz de separabilidad estadística de las clases espectrales por la distancia de J-M en la clasificación no supervisada de la imagen de 1998.

Clases	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0							
2	1,457	0						
3	1,974	1,530	0					
4	1,685	1,470	1,921	0				
5	1,970	2,000	2,000	2,000	0			
6	2,000	1,998	1,900	1,994	2,000	0		
7	1,983	1,712	1,451	1,476	2,000	1,687	0	
8	1,998	1,993	1,900	1,981	2,000	1,194	1,863	0
9	1,995	1,940	1,791	1,995	2,000	1,998	1,981	1,998
10	1,996	1,981	1,974	1,635	2,000	1,531	1,481	1,835
11	1,979	1,697	1,306	1,993	2,000	1,999	1,965	1,997
12	1,718	1,934	1,986	1,378	1,993	1,985	1,861	1,984

Nota: Valor medio de la distancia de J-M para la clasificación no supervisada es de 1,845. Las clases espectrales 3 y 7) suelos semicubiertos con vegetación incipiente; 5) ríos y embalses; 6, 10 y 12) vegetación poco vigorosa (palustre); 9 y 11) suelos descubiertos claros.

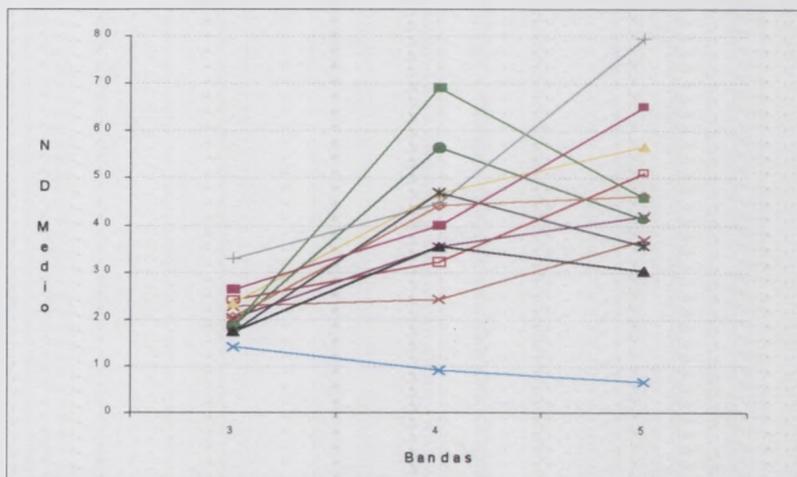


Figura V.2. Curvas espectrales de la clasificación no supervisada de la imagen de 1998.

En las Figuras V.3 y V.4, presentamos, respectivamente, las imágenes de 1988 y 1998 clasificadas por el método no supervisado, con corrección geométrica y un filtro modal de 3 X 3. Definimos una paleta de color para mejorar la identificación y la correspondencia de las clases espectrales con las categorías informacionales. Para la edición final de esas imágenes, imprimimos en el módulo gráfico de MGE a escala 1:250.000 y, por tratarse de un proceso preliminar de la clasificación, no las presentamos como los demás mapas, impresos en la escala 1:100.000.

En estas imágenes, se puede comprobar la variedad de cubiertas y algunos de los problemas encontrados en la clasificación digital, como por ejemplo, manchas oscuras en los ríos y estanques, que se tratan de píxeles no clasificados en el proceso, de los cuales nos ocuparemos más adelante.

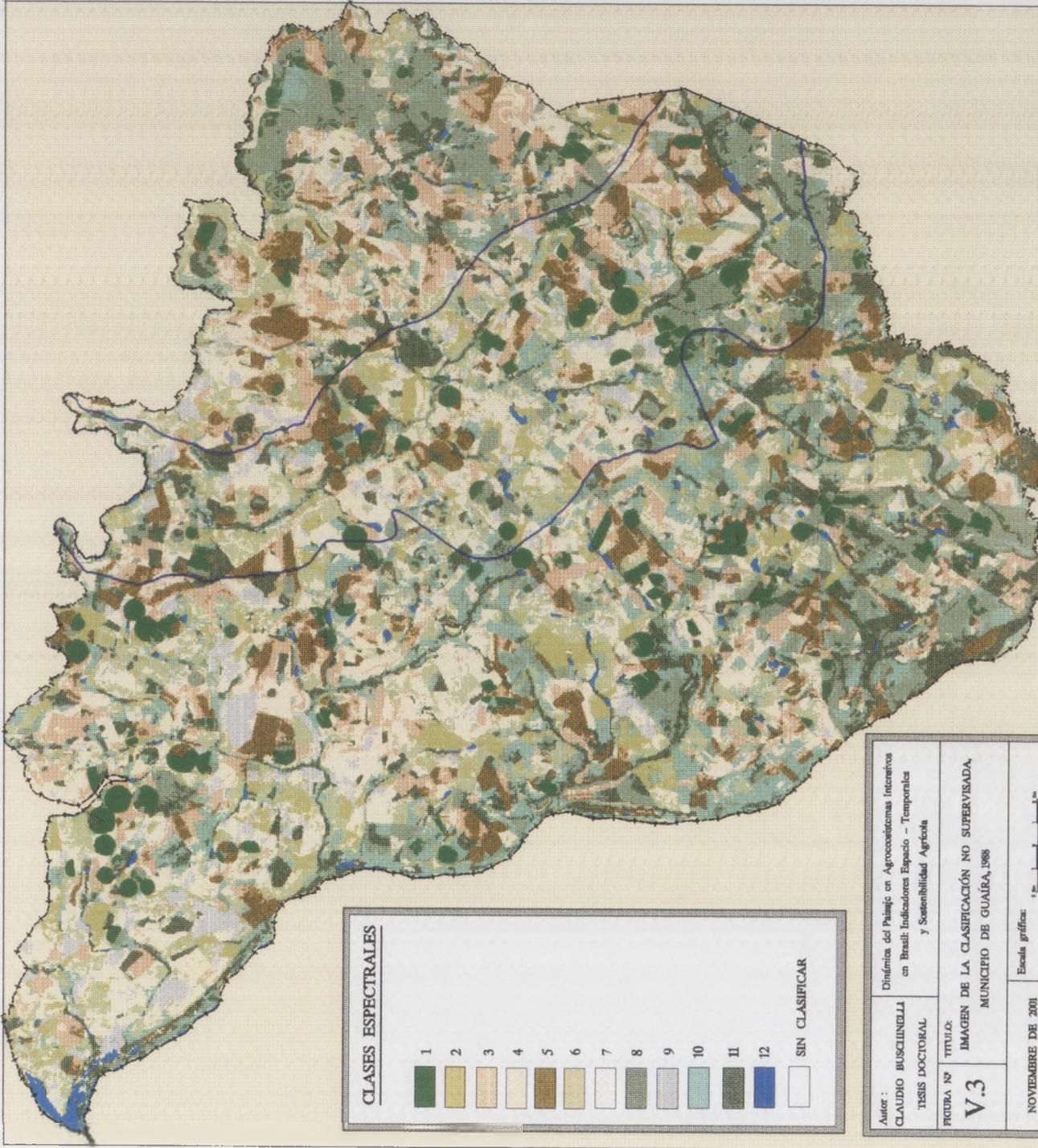
Para establecer las correspondencias de las clases espectrales y las categorías temáticas representadas en la Tabla V.5, utilizamos el análisis comparativo tanto de las estadísticas descriptivas, como la visual en pantalla, entre las imágenes clasificadas y la composición en falso color, una rutina importante del SIG. Hay que destacar, además, la importancia de otros datos auxiliares del conocimiento del área, como las prácticas agrícolas y fenología de los cultivos, presentada en la Tabla V.6.

Tabla V.5. Correspondencias entre las clases espectrales y categorías temáticas identificadas en la clasificación no supervisada de la imagen de 1998.

Clases Espectrales	Categorías Informacionales
1	Suelos descubiertos muy oscuros (rojo y marrón)*
2	Suelos descubiertos oscuros (rojo y morado)
3	Suelos semicubiertos, vegetación incipiente (tonos claros)
4	Suelos semicubiertos con vegetación incipiente (tonos oscuros)
5	Láminas de agua
6	Vegetación poco vigorosa o senescente
7	Suelos semicubiertos con vegetación incipiente (tonos verdes)
8	Vegetación vigorosa (regadío, caña de azúcar y vegetación palustre)
9	Suelos descubiertos muy claros (lilas)
10	Vegetación poco vigorosa y senescente
11	Suelos descubiertos medianamente oscuros (azul, rojo, morado)
12	Bosques y vegetación senescente
Píxeles sin clasificar	Distribuidos por casi todas las clases, pero concentrándose en las láminas de agua y suelos descubiertos muy claros

Nota: *Los colores a que se hace referencia son derivados de la composición falso color de las bandas 3-4-5, y no de los colores naturales de los suelos en el campo.

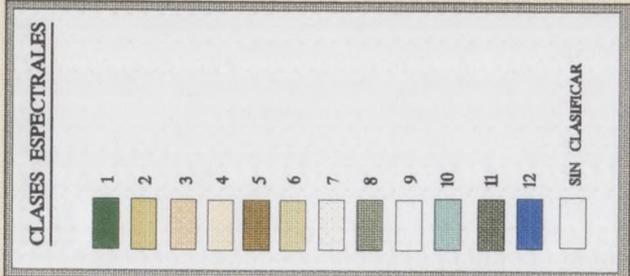
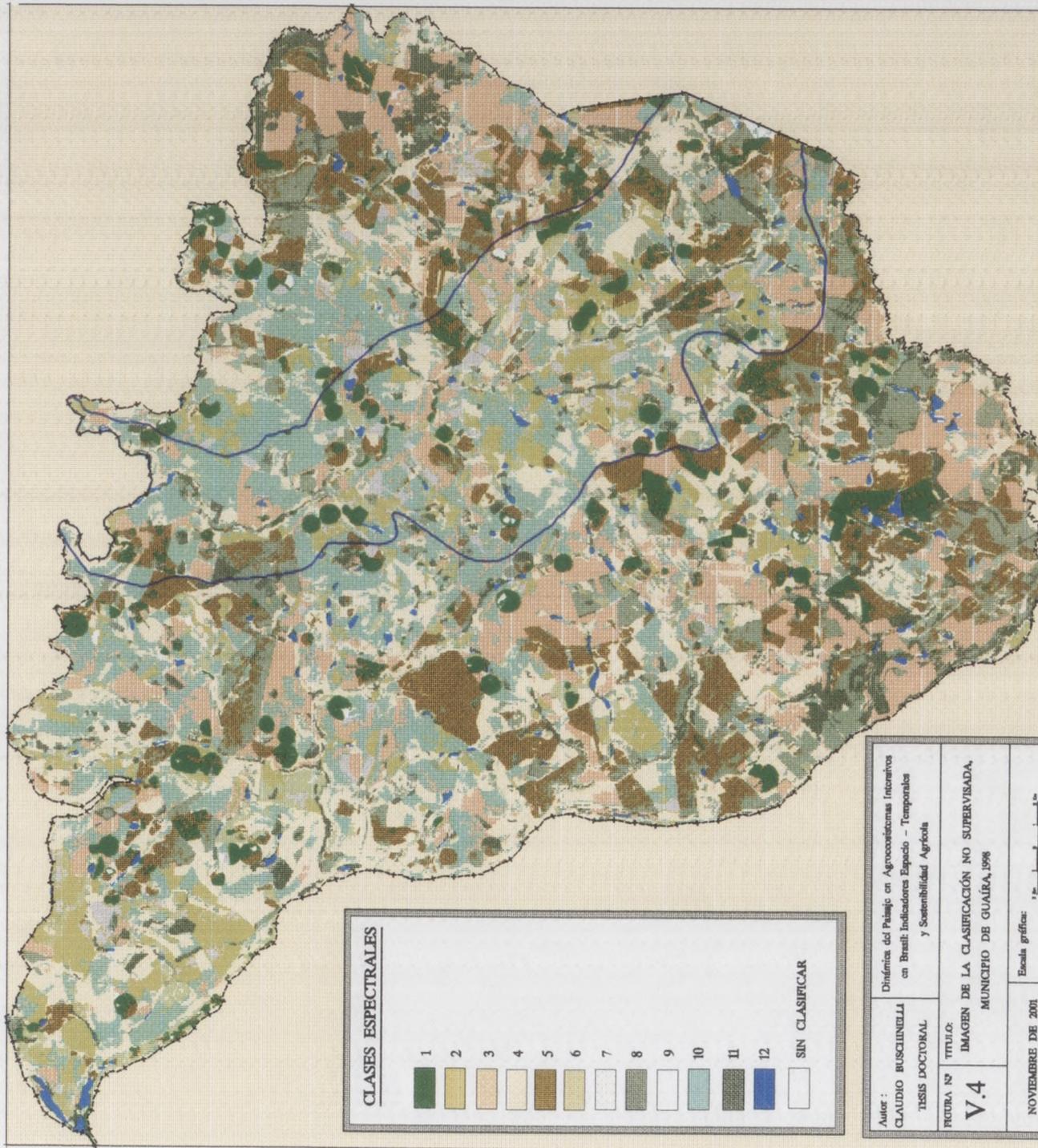
MUNICIPIO DE GUAIRA



CLASES ESPECTRALES	
1	[Dark Green]
2	[Light Green]
3	[Yellow-Green]
4	[Yellow]
5	[Light Brown]
6	[Light Tan]
7	[White]
8	[Dark Grey]
9	[Medium Grey]
10	[Light Blue-Grey]
11	[Dark Blue]
12	[Blue]
	SIN CLASIFICAR [White]

Autor : CLAUDIO BUSCINELLI TESIS DOCTORAL	Dinámicas del Paisaje en Agroecosistemas Interiores en Brasil: Indicadores Espacio - Temporales y Sostenibilidad Agrícola
FIGURA Nº V.3	TÍTULO: IMAGEN DE LA CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADA, MUNICIPIO DE GUAIRA, 1988
NOVIEMBRE DE 2001	Escala gráfica: 1:250,000

MUNICIPIO DE GUAÍRA



Autor: **Cláudio Buscunella**
 Tesis Doctoral
 Diferencia del Paisaje en Agroecosistemas Interiores en Brasil: Indicadores Espaço - Temporales y Sostenibilidad Agrícola

FIGURA Nº **V.4**
 TÍTULO: **IMAGEN DE LA CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADA, MUNICIPIO DE GUAÍRA, 1998**

NOVIEMBRE DE 2001
 Escala gráfica:

Tabla V.6. Calendario agrícola de los principales cultivos de Guaira.

Cultivos	Prácticas agrícolas			Cosecha
	Preparación del Suelo	Siembra		
Algodón	Jul/Ag/Sep/Oct/Nov	Oct/Nov		Feb/Mar/Abr
Alubia irrigada (cosecha de invierno)	Feb/Mar/Abr/May/Jun/Jul	Mar/Abr/May/Jun		Jul/Ag/Sep/Oct
Arroz de secano	Jul/Ag/Sep/Oct/Nov/Dic	Oct/Nov/Dic		Feb/Mar/Abr/May
Arroz irrigado (aspersión)	Ene/Feb/Jul/Ag/Sep/Oct/Nov/Dic	Ene/Feb/Jul/Ag/Sep/Oct/Nov/Dic		Ene/Feb/Mar/Abr/May/Jun/Dic
Caña de azúcar (cultivo reciente)	Ene/Feb/Mar/Abr	Ene/Feb/Mar/Abr		May/Jun/Jul/Ag/Sep/Oct/Nov
Caña de azúcar (rebrote)*	-	-		Abr/May/Jun/Jul/Ag/Sep/Oct/Nov
Maíz de secano (cosecha de verano)	Jul/Ag/Sep/Oct/Nov/Dic	Oct/Nov/Dic		Feb/Mar/Abr/May
Maíz irrigado	Ene/Feb/Mar/Abr/May/Jun/Jul/Ag/Sep/Oct/Nov/Dic	Ene/Feb/Mar/Abr/May/Jun/Jul/Ag/Sep/Oct/Nov/Dic		Ene/Feb/Mar/Abr/May/Jun/Jul/Ag/Sep/Oct/Nov/Dic
Maíz de secano (cosecha de invierno)	Ene/Feb	Ene/Feb		Jun/Jul/Ag
Soja irrigada	Ene/Feb/Mar/Abr/May/Jun/Jul/Ag/Sep/Oct/Nov/Dic	Ene/Feb/Mar/Abr/May/Jun/Jul/Ag/Sep/Oct/Nov/Dic		Ene/Feb/Mar/Abr/May/Jun/Jul/Ag/Sep/Oct/Nov/Dic
Soja de secano (cosecha de verano)	Jul/Ag/Sep/Oct/Nov/Dic	Oct/Nov/Dic		Feb/Mar/Abr
Sorgo irrigado	Ene/Feb/Mar/Abr	Ene/Feb/Mar/Abr		May/Jun/Jul/Ag
Tomate irrigado	Feb/Mar/Abr/May/Jun	Mar/Abr/May/Jun		Jun/Jul/Ag/Sep/Oct

Nota: * El cultivo de la caña es del tipo semi-perenne, tras un año y medio, se corta para el rebrote. Los meses en negrita representan la mayor actividad. La información se refiere a una media de los calendarios agrícolas de varios años (periodo de 1985 hasta 1997).

Fuente: Información personal aportada por técnicos de la "Casa da Agricultura de Guaira, Coordenadoria de Assistencia Técnica Integral (CATI), Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo".

La elección de 12 clases tuvo como objetivo separar principalmente los distintos tipos de cubierta vegetal, pues en pruebas realizadas con un número menor de clases ocurría una interferencia muy grande entre estas categorías, lo que se puede explicar por la proximidad espectral de las mismas, comprobada por las estadísticas originales de la imagen y de su clasificación.

Pasamos ahora a comentar el resultado de la clasificación y las conclusiones a que llegamos para la posterior clasificación supervisada.

Observamos por los datos de la Tabla V.3 y Figuras V.1 y V.2, que algunas categorías eran claramente distinguidas por presentar comportamientos espectrales típicos en las bandas analizadas, como el agua, suelo desnudo y vegetación vigorosa (cultivos en regadío, vegetación de ribera y caña de azúcar).

Las láminas de agua, identificadas por la clase 5, como se esperaba, siempre presentaron los valores más bajos de nivel digital medio en todas las bandas, pero el contraste con las demás clases es mucho más evidente en las bandas del infrarrojo (4 y 5), faja donde típicamente tienen la menor reflectividad (Tabla V.3. y Figura V.1) La clase 8, vegetación vigorosa, presenta la tendencia espectral típica de ésta cubierta (Figura V.2), con el aumento de reflectividad entre las bandas 3 y 4 y rápida caída en la banda 5. Mientras que los suelos desnudos, representados principalmente por la clase 9, presentaron los valores máximos de nivel digital en la banda 5, bastante típicos de esta cubierta.

Desde el punto de vista de la variabilidad estadística de los valores, se puede constatar que las clases 8 y 9, referentes a la vegetación vigorosa y suelos desnudos respectivamente, se presentan como las menos "puras" en la respuesta espectral. La clase 9 muestra el mayor rango en las bandas 3 y 5, la clase correspondiente a la vegetación con vigor tiene su mayor variación en la banda 4.

Otras clases no son tan fácilmente identificables por sus comportamientos espectrales (Figura V.2). Algunas pudimos identificarlas por la tendencia espectral, como es el caso de las clases 6, 10 y 12, compuestas principalmente por bosques y vegetación senescente, presentando un aumento acentuado de reflectividad desde la banda 3 a la 4 y disminución desde ésta a la banda 5. Otras, como las clases 1 y 2, con valores bajos de reflectividad principalmente en la banda 4 y moderados en la banda 5, sugieren elevado grado de humedad. Inferimos que se trata de suelos recientemente labrados en espera para siembra o sembrados muy recientemente, lo que en cierta manera, aumenta el grado de humedad en la capa superficial del suelo.

Como hemos mencionado anteriormente, el conocimiento, tanto del área de estudio como de las prácticas agrícolas y fenología de los cultivos, proporcionó información de

gran valor para solventar los problemas de definición de las clases informacionales.

En resumen, muy pocas áreas de cultivos de secano o de regadío quedan en barbecho por más de algunos pocos meses, ocurriendo una rotación frecuente de cultivos anuales (maíz, soja, alubias y sorgo, conforme Tabla V.6). Tras 3 o 4 años, son ocupadas por pastizales por un corto periodo, para nuevamente ser destinadas a los cultivos intensivos. En cuanto a las áreas de riego, el término barbecho sería poco adecuado, por el muy corto tiempo de espera para la siembra de nuevos cultivos. En consecuencia, descartamos de la leyenda la categoría barbecho, por la pequeña significación de esas áreas en la zona, conforme se puede comprobar en la Tabla III.9 del Capítulo III (Área de Estudio).

Las parcelas de pastizales, difícilmente identificables espectralmente por confundirse tanto con los suelos semicubiertos y con vegetación incipiente como con las áreas urbanas, fueron reconocidas por el conocimiento *in situ* de las áreas tradicionalmente destinadas a este uso.

Como comentamos en el Capítulo IV (Materiales y Métodos), evaluamos la calidad de la clasificación tanto por el resultado de su exactitud global, como por el cálculo de los errores de comisión y de omisión.

Varios autores (Chuvieco, 2000; Congalton y Green, 1999; Jensen, 1996; Lillesand y Kiefer, 1994; Richards, 1995) ponen de manifiesto la validez de la matriz de error o de confusión para evaluar la calidad de la asignación espectral a las distintas cubiertas terrestres y, como el propio nombre indica, para la identificación de los conflictos espectrales entre categorías temáticas.

En definitiva, se trata de un instrumento matemático muy útil para la comprobación de la calidad de la clasificación de imágenes de satélite (sea ésta visual o digital), cuando se comparan los resultados de la misma, dispuestas en las columnas, frente a las verdaderas categorías o cubiertas del terreno, comprobadas en trabajo de campo e insertadas en las filas de la matriz. De ahí, la convención de llamar Exactitud del Productor y Error de Omisión a los cálculos estadísticos de las líneas, y por el contrario, Exactitud del Usuario y Error de Comisión a los valores de las columnas de la matriz. Chuvieco (2000), presenta detalladamente las ecuaciones que componen la matriz de confusión, así como varios ejemplos de su aplicabilidad en la teledetección.

En nuestro caso, la utilizamos sencillamente para comprobar los conflictos espectrales de la clasificación no supervisada.

Presentamos en la Tabla V.7, la referida matriz para la imagen de 1998, donde se puede observar que la exactitud global del método fue del 91,5%, la cual consideramos aceptable a pesar del solape espectral entre algunas clases, como por ejemplo, los distintos tipos de cultivos y vegetación natural y suelos descubiertos. Los Errores de Omisión más

significativos se sitúan en las clases 2, 4, y 11 con valores en torno al 11%, siendo debidos a los problemas de separabilidad ya mencionados para las distintas clases de suelos semicubiertos y desnudos, como para las de vegetación. Mientras que los Errores de Comisión, más elevados que los anteriores con valores alrededor de los 16%, están en las clases 12, 8, 9 y 3, que se refieren a los bosques, cultivos con vigor, suelos desnudos y semicubiertos, respectivamente.

Esos resultados, semejantes a los obtenidos en la imagen de 1988 (presentados en el Anexo V.5), nos advierten de los problemas que encontraremos en la clasificación supervisada.

En cuanto a los píxeles sin clasificar, representados por los valores nulos en la matriz de error y en el color negro en las imágenes (Figuras V.3 y V.4), observamos que se concentraban principalmente en las zonas de gran cantidad de sedimentos en suspensión en los ríos y embalses (ya mencionados anteriormente), a pesar de estar presentes en todas las clases. Este problema se mantuvo en todos los algoritmos de clasificación que hemos probado, siendo el mejor resultado obtenido por la combinación del *K-Means* y del método mixto de paralelepípedos y máxima probabilidad. Suponemos que la no-asignación de esos píxeles por el algoritmo es debida al hecho de no estar dentro de los límites de confianza y umbrales configurados en el método - valores de 95% y 3 desviaciones típicas (s) - pues cuando probamos valores superiores, como por ejemplo 97,5% y 5 s , disminuye el número de píxeles nulos en la matriz de error; en contrapartida había una mayor confusión entre las categorías temáticas.

De cualquier manera, el número total de píxeles nulos fue del 2,6% del total de la imagen del año 1998 (Tabla V.7), lo cual consideramos que no representa un serio problema que pudiera comprometer la calidad general de la clasificación digital.

Tabla V.7. Matriz de confusión de la clasificación no supervisada, imagen de 1998, por el método mixto de paralelepípedos y máxima probabilidad.

Clases	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Nulos	Total	Ex. Prod. (%)	Er. Om. (%)
1	93,7	0,2	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	2,4	100		
	29475	65	0	214	0	0	0	0	0	0	0	939	749	31442	93,7	6,3
2	2,6	87,9	2,0	1,6	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	2,6	100		
	1100	37958	857	675	0	0	562	0	4	0	943	0	1107	43206	87,9	12,1
3	0,0	0,0	93,8	0,0	0,0	0,7	0,0	0,5	0,9	0,0	0,7	0,0	3,3	100		
	0	7	16556	0	0	124	0	96	157	0	131	0	586	17657	93,8	6,2
4	1,8	0,5	0,0	89,4	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	1,5	0,0	4,0	1,3	100		
	603	163	0	29554	0	0	494	0	0	510	0	1324	428	33076	89,4	10,6
5	1,9	0,0	0,0	0,0	91,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	6,2	100		
	199	0	0	0	9845	0	0	0	0	0	0	22	666	10732	91,7	8,3
6	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	91,3	0,4	5,0	0,0	0,9	0,0	0,0	2,3	100		
	0	0	47	0	0	36657	141	1994	0	374	0	0	933	40146	91,3	8,7
7	0,0	0,4	2,7	0,3	0,0	1,8	91,3	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	2,0	100		
	0	103	744	76	0	491	25011	8	0	397	0	7	544	27381	91,3	8,7
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	96,4	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	100		
	0	0	5	0	0	0	0	10715	0	0	0	0	399	11119	96,4	3,6
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	95,6	0,0	1,7	0,0	2,6	100		
	0	0	0	0	0	0	0	0	7896	0	144	0	218	8258	95,6	4,4
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	93,2	0,0	2,8	2,0	100		
	0	0	0	12	0	261	274	11	0	25215	0	753	532	27058	93,2	6,8
11	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	0,0	89,8	0,0	2,6	100		
	0	0	852	0	0	0	0	0	1172	0	23940	0	688	26652	89,8	10,2
12	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	93,7	4,3	1000		
	178	0	0	2	0	0	0	0	0	132	0	14775	682	15769	93,7	6,3
Total	31555	38296	19061	30533	9845	37533	26482	12824	9229	26628	25158	17820	7532	292496		
Ex. Us. (%)	93,4	99,1	86,9	96,8	100,0	97,7	94,4	83,6	85,6	94,7	95,2	82,9	Exactitud Global = 91,5%			
Er. Com. (%)	6,6	0,9	13,1	3,2	0,0	2,3	5,6	16,4	14,4	5,3	4,8	17,1	% Nulos		2,6	

Notas: Ex. Us. = Exactitud del usuario; Ex. Prod. = Exactitud del productor; Er. Com. = Error de comisión; Er. Om. = Error de omisión. La primera y segunda líneas de las categorías se refieren a valores en porcentaje y número de píxeles, respectivamente. Las clases espectrales corresponden a 1 y 2) suelos descubiertos oscuros; 3, 4 y 7) suelos semicubiertos con vegetación incipiente; 5) ríos y embalses; 6, 10 y 12) vegetación poco vigorosa; 8) vegetación vigorosa (regadío, caña y vegetación palustre); 9 y 11) suelos descubiertos claros.

V.1.2.2. Clasificación supervisada

Por los problemas de separabilidad espectral encontrados en la clasificación no supervisada, utilizamos la técnica de máscaras de las categorías de mayor variabilidad espectral, como hemos mencionado en el capítulo anterior.

Así que, las imágenes que contienen las máscaras del área urbana y de la caña de azúcar, fueron digitalizadas directamente en pantalla por ser clases fácilmente identificadas visualmente. Para el caso de las láminas de agua utilizamos la técnica de Análisis de Componentes Principales, conforme comentamos en el Capítulo IV (Materiales y Métodos).

Presentamos en la Figura V.5, una ilustración de las imágenes de los Componentes Principales de los años 1988 y 1998. Las estadísticas generadas en el procedimiento, están representadas en el Anexo V.6.

De las estadísticas, se puede confirmar la semejanza del análisis en las dos fechas, pero con una ligera diferencia de resultados. En la imagen del año 1988, el primer componente (agua) reúne cerca del 80% de la varianzoriginal de la imagen, y si a él agregamos el segundo componente (cultivos de regadío), juntos reúnen cerca del 98% del total (Anexo V.6). Para la imagen de 1998, la componente agua se presenta menos diferenciada, o sea, con una varianza del 63% de la original; por otra parte, los cultivos de regadío han influido mucho más el análisis que en el año 1988, pues representan una varianza de cerca del 35% de la original, frente al 18% registrado en la imagen de 1988. No obstante, los dos primeros componentes suman en la imagen de 1998 un valor similar de la varianza acumulada, es decir, el 98% de la original.

Esa ligera diferencia de resultados se puede explicar, quizá, porque el año 1988 podría haber sido más húmedo que 1998, lo que representa un mayor volumen de agua embalsado y así, la mayor importancia del agua como el primer componente principal.

Los resultados a que llegamos son distintos a los que generalmente son obtenidos en imágenes de áreas de agricultura en la zona central de España. Chuvieco (2000) cita que, en general, el primer componente principal está relacionado con el brillo de la imagen, representado por el suelo desnudo, seguido de la vegetación y finalmente el agua. Esa misma tendencia, fue observada en trabajos realizados en el curso de Tratamiento Digital de Imágenes (impartido por el Prof. Emilio Chuvieco) dentro del curso de doctorado de la Universidad de Alcalá, cuando aplicamos la técnica de ACP a una imagen de la zona de Arganda del Rey.

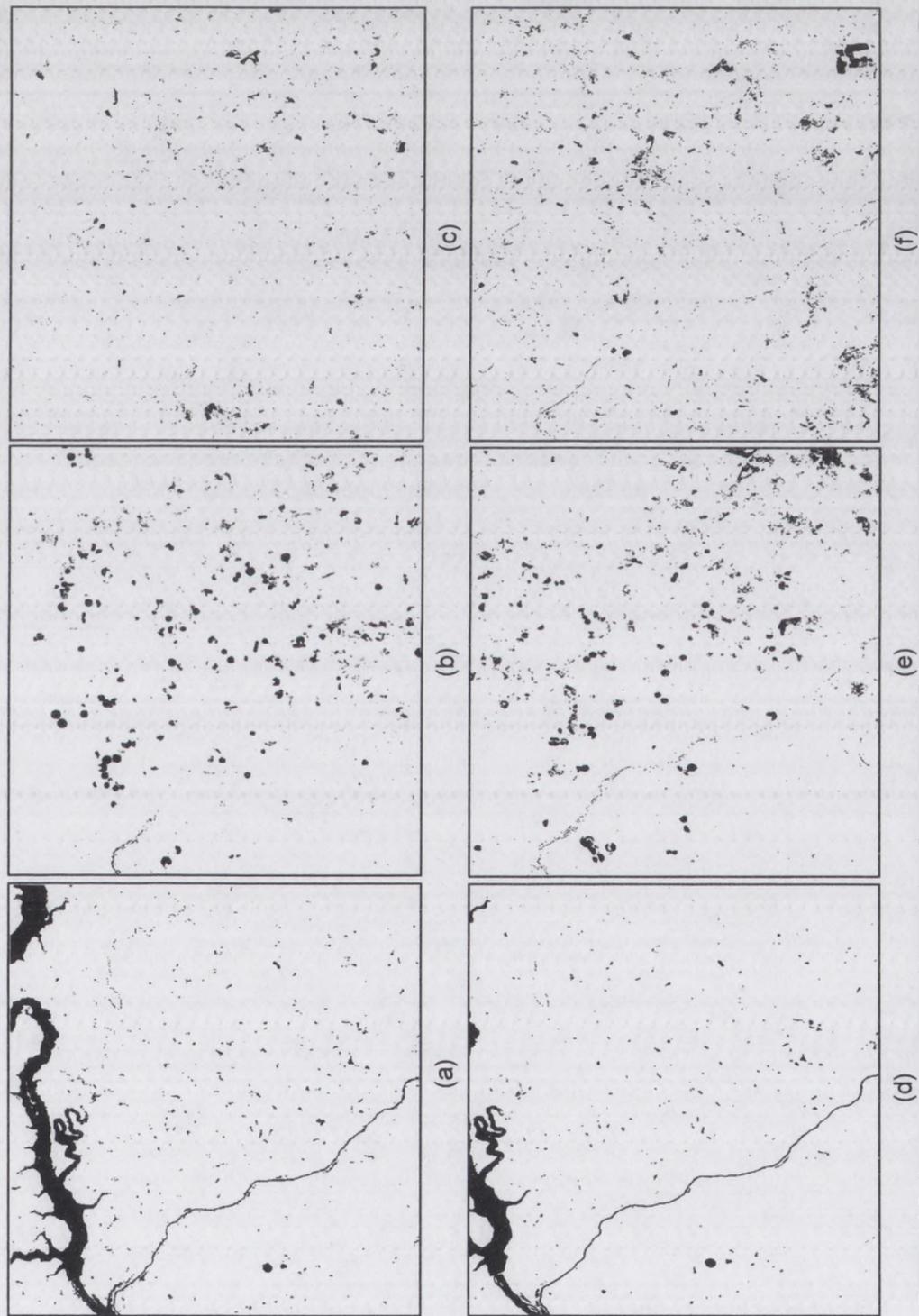


Figura V.5. Ilustración esquemática de los Componentes Principales de las imágenes de Guaira, correspondientes al año de 1988: agua (a), vegetación (b) y suelos desnudos (c); y al año de 1998: agua (d), vegetación (e) y suelos desnudos (f).

Presentamos en esta guía las estadísticas descriptivas de las categorías temáticas para las 3 bandas en la clasificación supervisada de los años estudiados.

Los resultados estadísticos de la clasificación supervisada de la imagen del año 1988 se observan en las Tablas V.8 y V.9 y en las Figuras V.6 y V.7.

De esta información quedan claramente visibles los problemas de interferencia espectral antes comentados, principalmente entre las categorías de los pastizales con cultivos recientes y suelos desnudos, con valores de distancia de J-M de 1,218 y 1,344, respectivamente; y entre la categoría de los cultivos recientes con suelos desnudos (1,313) y cultivos senescentes (1,462).

Estas tres categorías presentan un comportamiento espectral muy similar en las bandas 3-4-5 en conjunto, habiendo solamente una mayor diferencia en la banda 5 para el primer caso (pastizales y cultivos recientes), y en la banda 4 para el caso de los suelos desnudos y cultivos recientes. Los valores obtenidos de la distancia de J-M para las categorías mencionadas, confirman el solape espectral observado en los gráficos de separabilidad y tendencia espectral (Figuras V.6 y V.7, respectivamente). Las demás categorías no presentaron mayores problemas de separabilidad, con valores de J-M superiores a 1,5. El valor promedio de esa distancia entre todas las categorías fue de 1,731 (Tabla V.9)

Los resultados de la clasificación de la imagen del año 1998 están representados en las Tablas V.10 y V.11 y en las Figuras V.8 y V.9. Éstos, confirman los resultados obtenidos en la clasificación anterior, pero con una diferencia, por lo menos en lo que se refiere a las estadísticas resultantes. De los datos, se puede concluir que esta clasificación fue peor que la obtenida para el año 1988, ya que ocurrió un solape mayor entre las categorías temáticas, con un valor promedio de la distancia de J-M de 1,722 (Tabla V.11).

De hecho, por los valores de separabilidad estadística de J-M, los pastizales se confunden con los cultivos recientes (1,181) y en menor grado con los suelos desnudos (1,471); a su vez, los cultivos senescentes se presentan poco separados espectralmente de los cultivos recientes, con valor de 1,444; y los cultivos recientes se presentan poco separados de los suelos desnudos (1,541).

Tabla V.8. Estadísticas descriptivas de las categorías temáticas en la clasificación supervisada de la imagen de 1988.

Categorías	Banda 3			Banda 4			Banda 5		
	Media (\bar{x})	D. Tip. (s)	$\bar{x} - 1s$	Media (\bar{x})	D. Tip. (s)	$\bar{x} - 1s$	Media (\bar{x})	D. Tip. (s)	$\bar{x} - 1s$
Cult. de regadío	18	2,0	16,5	73	14,5	58,3	49	9,6	39,5
Cult. senescentes	21	2,0	18,9	43	7,9	34,6	43	8,7	34,0
Cultivos recientes	28	4,1	23,8	40	10,1	29,8	56	14,6	41,1
Suelos desnudos	32	7,8	24,3	28	8,8	19,6	58	21,1	37,0
Pastizales	27	3,6	23,9	40	5,6	34,5	73	7,5	65,4
Bosques	15	1,4	13,2	40	6,7	33,4	36	6,2	29,4

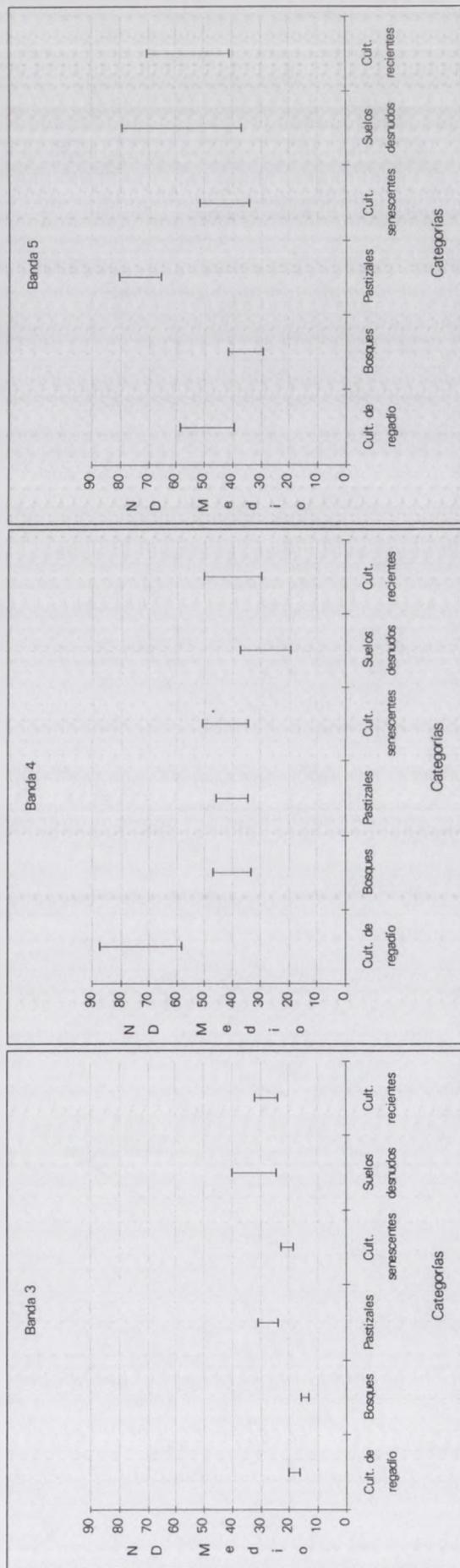


Figura V.6. Diagramas de separabilidad de las categorías temáticas en la clasificación supervisada de la imagen de 1988.

Tabla V.9. Matriz de separabilidad estadística de las categorías temáticas por la distancia de J-M (Jeffries-Matusita) de la imagen de 1988.

Categorías	Cultivos de regadío	Cultivos senescentes	Cultivos recientes	Suelos desnudos	Pastizales	Bosques
Cultivos de regadío	0					
Cultivos senescentes	1,546	0				
Cultivos recientes	1,930	1,462	0			
Suelos desnudos	1,986	1,941	1,312	0		
Pastizales	1,991	1,959	1,218	1,344	0	
Bosques	1,722	1,667	1,929	1,972	1,994	0

Nota: El valor promedio de la distancia de J-M para la clasificación es de 1,731.

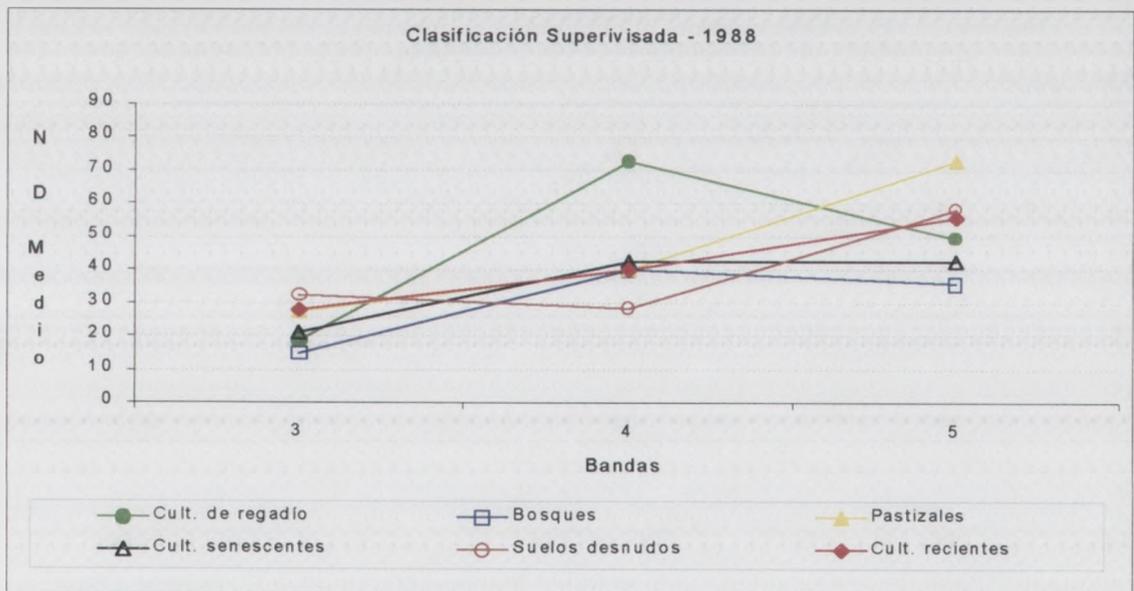


Figura V.7. Curvas espectrales de las categorías temáticas de la clasificación supervisada de la imagen de 1988.

Tabla V.10. Estadísticas descriptivas de las categorías temáticas en la clasificación supervisada de la imagen de 1998.

Categorías temáticas	Banda 3			Banda 4			Banda 5					
	Media (\bar{x})	D. Tip. (s)	$\bar{x} - 1s$	$\bar{x} + 1s$	Media (\bar{x})	D. Tip. (s)	$\bar{x} - 1s$	$\bar{x} + 1s$	Media (\bar{x})	D. Tip. (s)	$\bar{x} - 1s$	$\bar{x} + 1s$
Cult. de regadío	16	1,51	14,5	17,5	75	10,16	65,3	85,6	45	6,59	38,5	51,7
Cult. senescentes	17	1,78	15,7	19,3	46	8,56	37,9	55,0	39	5,74	33,2	44,7
Cultivos recientes	23	2,32	21,2	25,8	44	9,68	34,8	54,2	51	10	40,9	60,9
Suelos desnudos	27	8,84	18,4	36,0	31	10,88	20,0	41,8	53	22,78	30,5	76,0
Pastizales	24	2,98	20,7	26,6	39	4,51	34,8	43,8	64	8,79	54,9	72,5
Bosques	14	1,25	12,9	15,4	40	5,65	34,0	45,3	34	4,18	30,0	38,4

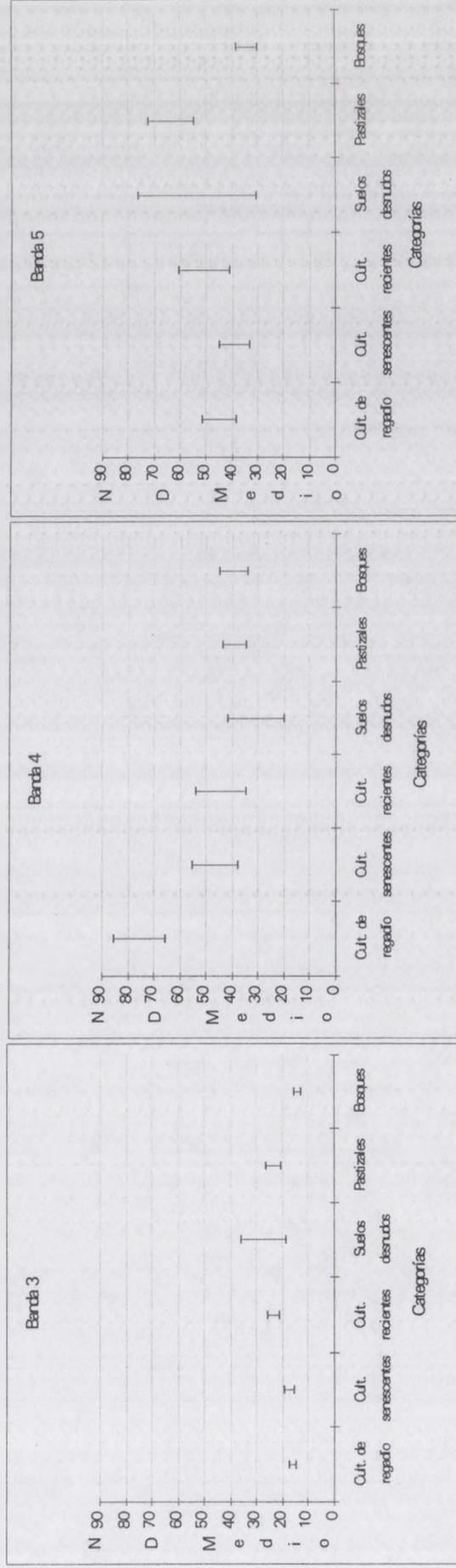


Figura V.8. Diagramas de separabilidad de las categorías temáticas en la clasificación supervisada de la imagen de 1998.

Diferentemente de la clasificación del año 1998, dos categorías presentaron poca separabilidad espectral en esta clasificación, los cultivos de regadío se confundieron con los cultivos senescentes, presentando un valor de 1,466 de la distancia de J-M, y los bosques se confundieron con los cultivos senescentes (1,235).

Para la clasificación propiamente dicha y generación de las imágenes de salida, utilizamos el mismo algoritmo de la clasificación no supervisada, o sea, el método mixto de paralelepípedos y máxima probabilidad.

Tabla V.11. Matriz de separabilidad estadística de las categorías temáticas por la distancia de J-M (Jeffries-Matusita) de la imagen de 1998.

Categorías	Cultivos de regadío	Cultivos senescentes	Cultivos recientes	Suelos desnudos	Pastizales	Bosques
Cultivos de regadío	0					
Cultivos senescentes	1,466	0				
Cultivos recientes	1,940	1,444	0			
Suelos desnudos	1,999	1,907	1,541	0		
Pastizales	1,995	1,883	1,181	1,471	0	
Bosques	1,923	1,235	1,939	1,968	1,946	0

Nota: El valor medio de la distancia de J-M para la clasificación es de 1,722.

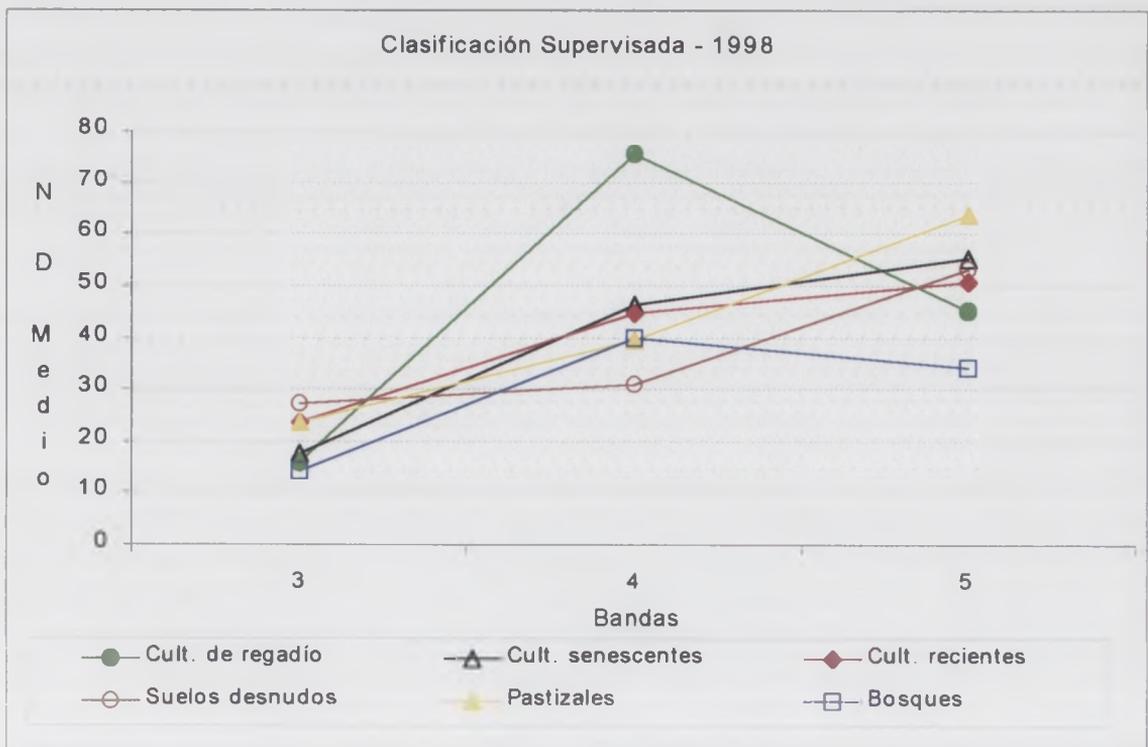


Figura V.9. Curvas espectrales de las categorías temáticas de la clasificación supervisada de la imagen de 1998.

En tal procedimiento matemático en el entorno SIG, es necesario aportar algunas variables en el módulo *Image Analyst*, como los valores de los grados de libertad y desviación típica, para que el algoritmo realice los cálculos estadísticos de agrupamiento y proceda a la asignación de los niveles digitales originales de las clases indicadas en los campos de entrenamiento.

Para la imagen de 1988 aportamos los valores de 97,5% grados de libertad y 3 desviaciones típicas para el procedimiento, lo cual generó la matriz de error presentada en la Tabla V.12, donde se puede observar que la exactitud global está en torno al 83,9%.

Como se esperaba, las clases que mayor problema presentaron fueron los cultivos recientes, pastizales, cultivos senescentes y suelos desnudos que, en esta secuencia, presentan los mayores errores de comisión o, por el contrario, presentaron las exactitudes del usuario más bajas (Tabla V.12). Para los cultivos recientes, con un error de comisión del 19,7%, hubo problemas con pastizales, suelos desnudos y cultivos senescentes, con valores de píxeles mal asignados, igualmente distribuidos en esas categorías. Para los pastizales, los problemas de comisión fueron con cultivos recientes y suelos desnudos solamente. Mientras que, para los cultivos senescentes hubo mayor confusión con los cultivos de regadío y en menor grado con los bosques y cultivos recientes. Esa tendencia de generación de errores se puede atribuir a la gran variación de las cubiertas y a la influencia que el suelo semicubierto pudo originar en la clasificación.

Pero, como los valores son superiores al 80% de exactitud, consideramos el resultado satisfactorio, dada la variabilidad de las cubiertas definidas. Los bosques y cultivos de regadío fueron los que mejor se clasificaron, con errores de comisión inferiores al 3,3%.

En contrapartida, la exactitud del productor o error de omisión nos indica un resultado similar para las mismas categorías problemáticas aunque tienen menor calidad, en general, pues el error de omisión varía desde el 7% para los pastizales hasta el 22% para los cultivos recientes.

Además del análisis de la fiabilidad en las filas y columnas de la matriz de confusión, aplicamos el índice Kappa, conforme hemos presentado en el capítulo anterior.

Para la clasificación supervisada del año 1988, el valor del índice Kappa fue de 0,79, lo que significa que el resultado obtenido representa un valor del 79% mejor que el esperado por el azar. Ese valor normalmente es inferior al de la exactitud global de la matriz de confusión, por incorporar en el cálculo del error los valores dispuestos fuera de la diagonal principal de la matriz. Como se ha apuntado anteriormente, se trata de una evaluación multivariante y, a nuestro entender, más ajustada a la realidad.

En la clasificación de la imagen de 1998, las pruebas realizadas con los mismos

valores de configuración utilizados en la imagen de 1988, presentaron resultados con menor exactitud global en la clasificación y demasiados píxeles sin clasificar. Hecho que nos motivó a alterar esos valores por estos otros: 95% de grados de libertad y 3 desviaciones típicas. Tal configuración, resultó en una exactitud global satisfactoria, y mejoró el número total de píxeles sin clasificar. Presentamos estos resultados en la matriz de error de la Tabla V.13, donde se puede ver que la exactitud global fue del 87,2%.

Tabla V.12. Matriz de error de la clasificación supervisada de la imagen de 1988, por el método mixto de paralelepípedos y máxima probabilidad.

Categorías	Cultivos de regadío	Cultivos senescentes	Cultivos recientes	Suelos desnudos	Pastizales	Bosques	Nulos	Total	Ex. Prod. (%)	Er. Om. (%)
Cultivos de regadío	90,6	7,8	0,0	0	0	0,6	1,1	100	90,6	9,4
	3107	267	0	0	0	20	36	3430		
Cultivos senescentes	1,8	89,7	5,0	0	0	0,3	3,1	100	89,7	10,3
	87	4270	238	0	2	16	146	4759		
Cultivos recientes	0	3,2	77,7	6,5	10,2	0	2,4	100	77,7	22,3
	0	395	9617	808	1256	0	299	12375		
Suelos desnudos	0	0	5,9	81,8	8,0	0	4,3	100	81,8	18,2
	0	0	1108	15404	1508	0	816	18836		
Pastizales	0	0,2	6,0	4,9	86,3	0	2,6	100	86,3	13,7
	0	36	1003	811	14317	3	423	16593		
Bosques	0,7	3,9	0,1	0	0	93,0	2,2	100	93,0	7,0
	20	107	4	0	0	2581	62	2774		
Total	3214	5075	11970	17023	17083	2620	1782	58767	Exactitud global = 83,9% Índice Kappa = 79,1%	
Ex. Us. (%)	96,7	84,1	80,3	90,5	83,8	98,5	3,0			
Er. Com. (%)	3,3	15,9	19,7	9,5	16,2	1,5				

Notas: Ex. Us. = Exactitud del usuario; Ex. Prod. = Exactitud del productor; Er. Com. = Error de comisión; Er. Om. = Error de omisión. La primera y segunda líneas de las categorías se refieren a valores en porcentaje y número de píxeles, respectivamente.

Somos conscientes que hubiera sido importante mantener los mismos valores para efectos comparativos entre las dos fechas. Pero creemos que esta alteración no representa una incorrección metodológica, ya que utilizamos el mismo algoritmo.

Por el contrario, el elevado número de pixeles sin clasificar hubiera influido de manera insatisfactoria en los siguientes tratamientos, como por ejemplo en los cruces de imágenes para obtener los mapas sintéticos.

En 1998, a semejanza del resultado obtenido en 1988, los problemas se concentraron en las categorías de los pastizales, cultivos recientes y suelos desnudos. Pero, con la diferencia de que ahora, los bosques también presentaron algún problema en la clasificación (Tabla V.13).

La categoría de los pastizales presentó una exactitud del usuario relativamente baja en comparación al resultado de la clasificación de 1988, con un valor de 55%, confundiéndose principalmente con los cultivos recientes y suelos desnudos. La siguiente categoría problemática fue la de los cultivos recientes, con un error de comisión de cerca del 19%, donde los problemas se encuentran en los cultivos senescentes, pastizales y suelos desnudos. Los bosques se confunden con los cultivos senescentes, y esa categoría se confunde con los cultivos de regadío y pastizales. Con excepción de los pastizales, la exactitud del usuario se encuentra por encima de los 80%, lo que consideramos aceptable.

Por otra parte, los errores de omisión se presentaron un poco más uniformes, principalmente en lo que se refiere a los bosques, con una exactitud del productor de cerca del 87%. En las demás categorías problemáticas (cultivos senescentes, cultivos recientes y suelos desnudos), los errores de omisión se sitúan entre el 10 y 20%, respectivamente para pastizal y cultivos senescentes.

El índice Kappa para la matriz de error de 1998 (Tabla V.13), se sitúa en un nivel un poco superior que la anterior, con valor de 0,81, o sea, que el resultado obtenido representa el 81% mejor que lo esperado aleatoriamente.

Tabla V.13. Matriz de error de la clasificación supervisada de la imagen de 1998, por el método mixto de paralelepípedos y máxima probabilidad.

Categorías	Cultivos de regadío	Cultivos senescentes	Cultivos recientes	Suelos desnudos	Pastizales	Bosques	Nulos	Total	Ex. Prod. (%)	Er. Om. (%)
Cultivos de regadío	93,4	3,6	0,4	0	0	0	2,7	100	93,4	6,6
	5251	200	24	0	0	0	149	5624		
Cultivos senescentes	2,7	80,2	5,4	0,2	0,1	9,4	2,0	100	80,2	19,8
	282	8371	568	19	6	984	206	10436		
Cultivos recientes	0,5	2,4	83,3	2,4	8,6	0	2,8	100	83,3	16,7
	76	363	12595	358	1302	0	420	15114		
Suelos desnudos	0	0,2	3,9	88,8	5,2	0	1,9	100	88,8	11,2
	0	87	2016	45865	2699	5	976	51648		
Pastizales	0	0,6	5,2	3,1	89,8	0,1	1,3	100	89,8	10,2
	0	35	287	170	5000	3	74	5569		
Bosques	0,1	9,2	0,5	0,4	0,1	87,9	1,9	100	87,9	12,1
	4	531	31	22	6	5102	108	5804		
Total	5613	9587	15521	46434	9013	6094	1933	94195	Exactitud Global = 87,2% Índice Kappa = 81,2%	
Ex. Us.(%)	93,6	87,3	81,1	98,8	55,5	83,7	% Nulos			
Er. Com. (%)	6,4	12,7	18,9	1,2	44,5	16,3				

Notas: Ex. Us. = Exactitud del usuario; Ex. Prod. = Exactitud del productor; Er. Com. = Error de comisión; Er. Om. = Error de omisión. La primera y segunda líneas de las categorías se refieren a valores en porcentaje y número de píxeles, respectivamente.

Por fin, presentamos a continuación los resultados finales de la ocupación de las tierras en el Municipio de *Guaira* y en la Cuenca del *Ribeirão Jardim* para los años de 1988 y 1998, tanto visualmente en los Mapas 2 y 3, como estadísticamente en la Tabla V.14, con las superficies ocupadas por las categorías temáticas de los mapas.

Destacamos, una vez más, que todos los procedimientos de tratamiento digital de las imágenes Landsat fueron realizados en un polígono que enmarca la totalidad del Municipio de *Guaira*. Para el estudio de los cambios de ocupación de largo período (1971 - 1998), extraemos un polígono de las imágenes originales de 723 columnas y 1091 líneas, más pequeño y que abarca la Cuenca del *Ribeirão Jardim*, delimitada en los mapas.

No vamos a detenernos mucho en los comentarios de los mapas de ocupación de 1988 y 1998, por ahora, ya que pretendemos profundizarlos en la presentación de los mapas de cambios, en el siguiente ítem. De todas maneras, adelantamos algunas constataciones que nos referidos mapas.

La primera constatación es el aumento del área urbana y la mejoría de las vías de acceso a *Guaira*, fruto del desarrollo aportado por la actividad agrícola y de la necesidad de mayor accesibilidad a los centros de consumo.

Es notable la mayor fragmentación de los espacios de vegetación natural representados por los bosques. Como hemos comentado anteriormente, éstos fueron progresivamente roturados, inicialmente para obtención de maderas más nobles, para enseguida obtenerse leña, utilizando el fuego como forma de limpiar las áreas para el pastoreo extensivo, en un primero momento, y la posterior implantación de cultivos.

El peso de la agricultura en *Guaira* se puede comprobar por el elevado porcentaje de las tierras destinadas a este fin, que sumadas las varias categorías (regadío, caña de azúcar, cultivos recientes, cultivos senescentes y suelos desnudos) llegan a más del 77% del total de la cuenca y del 79% del territorio municipal en 1988. Para el año 1998, observamos un ligero aumento del conjunto de las tierras cultivadas (81%) en el municipio, y una pequeña disminución en la cuenca (75%) (Tabla V.14).

Tabla V.14. Superficies de ocupación de las tierras en el Municipio de Guaira y en la Cuenca del Ribeirão Jardim en 1988 y 1998.

Categorías temáticas	Cuenca					
	1988			1998		
	Nº de píxeles	Hectáreas	Porcentaje	Nº de píxeles	Hectáreas	Porcentaje
Cultivos de regadío	13.168	1.183	4,1	10.243	920	3,2
Caña de azúcar	28.056	2.520	8,7	46.022	4.133	14,3
Cultivos senescentes	38.424	3.451	11,9	38.088	3.421	11,8
Cultivos recientes	68.033	6.110	21,1	58.181	5.225	18,1
Suelos desnudos	102.707	9.225	31,9	91.751	8.241	28,5
Pastizales	46.867	4.209	14,6	46.701	4.194	14,5
Bosques	13.460	1.209	4,2	15.309	1.375	4,8
Láminas de agua	3.572	321	1,1	3.556	319	1,1
Áreas urbanas	5.300	476	1,6	6.687	601	2,1
<i>Sin clasificar</i>	2.476	222	0,8	5.525	496	1,7
Total – Cuenca	322.063	28.926	100	322.063	28.926	100
Fondo	466.730	41.919	-	466.730	41.919	-
Total	788.793	70.845	-	788.793	70.845	-
Categorías temáticas	Municipio					
	1988			1998		
	Nº de píxeles	Hectáreas	Porcentaje	Nº de píxeles	Hectáreas	Porcentaje
Cultivos de regadío	45.679	4.103	3,4	34.407	3.090	2,5
Caña de azúcar	134.360	12.067	9,9	281.044	25.242	20,7
Cultivos senescentes	167.983	15.087	12,4	181.976	16.344	13,4
Cultivos recientes	317.780	28.541	23,4	258.863	23.250	19,0
Suelos desnudos	415.617	37.328	30,6	348.159	31.270	25,6
Pastizales	201.577	18.104	14,8	156.290	14.037	11,5
Bosques	46.760	4.200	3,4	51.042	4.584	3,8
Láminas de agua	17.530	1.574	1,3	16.702	1.500	1,2
Áreas urbanas	5.216	468	0,4	6.780	609	0,5
<i>Sin clasificar</i>	7.610	683	0,6	24.849	2.232	1,8
Total – Municipio	1.360.112	122.157	100	1.360.112	122.157	100
Fondo	1.179.688	105.953	-	1.179.688	105.953	-
Total	2.539.800	228.110	-	2.539.800	228.110	-

Notas: valores referentes al polígono de 1530 líneas y 1660 columnas que enmarca la totalidad del municipio, y al polígono de 1091 líneas y 723 columnas que enmarca la cuenca.

La implantación de los pivotes, que se destacan por su forma circular típica, confiere un nuevo paisaje artificializado y distribuido por toda el territorio. En términos de superficie, ocupan en 1988 en la cuenca y municipio cerca de 1.200 Ha (4,1%) y 4.100 Ha (3,4%), respectivamente. Observamos una ligera disminución de esas superficies en el año 1998. En valores relativos, parece poco, pero, si consideramos la intensidad de utilización tanto de insumos como del suelo por estos sistemas de riego, ya se puede suponer un riesgo ambiental para el agroecosistema en su conjunto. Además, muchos pivotes no estaban en la fecha de adquisición de la imagen con vegetación vigorosa, y fueron clasificados como suelos desnudos, cultivos recientes o cultivos senescentes.

La constatación de diversos estadios de crecimiento de los cultivos bajo riego refuerza la afirmación anterior. Incluso dentro del mismo pivote se observa la variedad de cubiertas, que también puede ser debida a la coexistencia de diferentes cultivos. Al mismo tiempo, el clima favorable de la zona, con invierno poco riguroso, junto al elevado índice de tecnificación de los agricultores que disponen de variedades y semillas seleccionadas, aclimatadas y altamente productivas, son circunstancias que confieren mayor peso a la afirmación de la elevada concentración de sistemas de riego y en consecuencia de la intensidad de la agricultura en *Guáira*.

En lo que se refiere a las otras categorías de cultivos (recientes, senescentes y suelos desnudos), somos conscientes de que no son exclusivas de áreas de secano, estando distribuidas también por tierras de riego bajo pivotes. Este ha sido un problema de la clasificación digital y, en cierta manera, se pierde la precisión de evaluación de una categoría temática importante como los cultivos exclusivamente de secano. Un seguimiento multiestacional hubiese ayudado en la correcta diferenciación de cultivos bajo distintos sistemas. De cualquier manera, asumimos la selección de estas categorías por su importancia en el contexto espacial de la zona, y las nombramos de acuerdo con sus características temáticas y espectrales que las separan de las demás cubiertas, como hemos comentado anteriormente.

El sistema de barbecho, tan común en España por imposición de las normativas de la Política Agrícola de la Unión (Etxezarreta et al., 1995; Sancho Comíns et al., 1994a; Sancho Comíns et al., 1994b), casi no existe en la región de *Guáira*, conforme ha sido comentado anteriormente. Además, no habiendo ningún tipo de incentivo por parte del gobierno, se nota el desinterés de la gran mayoría de los productores en dejar las tierras en descanso.

Cabe destacar que muchos de los productores no son los propietarios de las tierras, y así necesitan sacar el máximo rendimiento posible en un corto espacio de tiempo. Ésta es otra característica que acaba por comprometer la ocupación más racional del territorio.

Otro cultivo que se instala de manera muy significativa en el área es la caña de

azúcar, que en 1988 ocupa 2.520 Ha y cerca de 12.000 Ha en la cuenca y municipio, respectivamente, concentradas por las zonas cercanas a las industrias de procesamiento (sur y noreste del término municipal de *Guaira*). Esos valores son duplicados cuando observamos la ocupación por la caña en 1998, representando un incremento impresionante. El motivo de tan intensa ocupación se puede atribuir a los incentivos fiscales y políticas de uso de alcohol como combustible para vehículos, conforme hemos presentado en el capítulo de descripción del área de estudio. Además, el sistema de arrendamiento de las tierras por grupos empresariales de gran porte, con precios muy atractivos, acaba por favorecer la expansión de la caña por tierras de cultivos tradicionales.

Siguen en importancia superficial los pastizales como otra importante categoría de uso agropecuario ocupando cerca del 15% del área de la cuenca y el 12% del municipio en 1988. En el año 1998, la superficie de tierras de pastoreo de la cuenca permanecen estables, mientras que, en el municipio se ha incrementado (15%). Como se puede observar en los Mapas 2 y 3, la distribución espacial de los pastizales es irregular por todo territorio.

Los embalses, que tienen un uso mucho más dirigido a reservas de agua para el riego, representan la consecuencia natural del proceso de intensificación de la agricultura, como veremos más adelante en el análisis de los cambios. No obstante, la ocupación por esta categoría temática se muestra bastante estable en los dos ámbitos geográficos y temporales evaluados (Tabla V.14).

Pasemos a continuación, a las discusiones de los resultados de los estudios de cambios multitemporales.

V.2. Dinámica y estabilidad del paisaje agrario

En el presente ítem son analizados los resultados de los estudios de cambios de ocupación. Inicialmente, nos ocuparemos de la Cuenca del *Ribeirão Jardim*, para después discutir los resultados obtenidos para el ámbito del Municipio de *Guaira*.

V.2.1. Cambios de ocupación en la Cuenca del *Ribeirão Jardim*

Como se pudo observar por los comentarios finales del Capítulo IV (Metodología General y Tratamiento de la Información), las categorías temáticas de los mapas de ocupación de las tierras no son exactamente las mismas, por lo que fue necesaria una homogeneización para facilitar el análisis de cambios.

Buscamos agregar las cubiertas que temáticamente presentaban rasgos comunes. En la Tabla V.15, se indican las nuevas categorías utilizadas en los estudios de cambios y de adecuación de ocupación de las tierras; las demás categorías permanecen inalteradas.

Tabla V.15. Agregación de las categorías temáticas para el estudio de cambios de ocupación.

Año	Categorías agregadas	Nuevas categorías
1971	bosques galería y bosques	bosques
	pastizales y <i>campos cerrado</i>	pastizales
1988 y 1998	cultivos recientes, cultivos senescentes y suelos desnudos	cultivos indiferenciados

Hubiera sido importante la identificación en la clasificación digital de las cubiertas de los bosques galería, igual que en 1971, para un análisis más certero de su degradación. Pero, con la clasificación digital no fue posible su separación de otras cubiertas boscosas, ya que necesitaríamos de criterios espaciales y de textura para la clasificación. De cualquier forma, por la escala de trabajo, pocas áreas de esa categoría serían efectivamente cartografiables, pues, por el conocimiento de la zona, sabemos que su reducción ha sido significativa.

Las imágenes fueron superpuestas mediante el comando *Overlay* y las resultantes fueron reclasificadas con la generación de tres grupos de imágenes, una de áreas estables y dos de áreas dinámicas, aquellas que presentaron tendencia a la extensificación de la ocupación y aquellas con características de intensificación. Tal separación se procesó para mejorar la visualización de las categorías, ya que, tratándose de un número elevado de clases, la leyenda podría quedarse confusa dificultando la lectura de los mapas de cambios.

En la Tabla V.16, está representado el resultado de la tabulación cruzada de los mapas de ocupación de los años 1971 y 1988. Pero, antes de iniciar la evaluación de los datos, sería importante reafirmar algunos puntos que consideramos importantes para la discusión de los resultados obtenidos.

Como vimos en la descripción metodológica, en la clasificación digital de las imágenes de satélite, se generó un número de píxeles que no fueron clasificados por el algoritmo, quedando así, sin valor temático. Los agrupamos con un determinado valor digital, y en los procesos de superposición de los ficheros raster, esos píxeles siempre fueron considerados como predominantes en las posteriores reclasificaciones para edición de los mapas resultantes. En todos los mapas de resultados en que ocurrieron, esos píxeles son presentados con un tono claro.

Tabla V.16. Matriz de cambios de ocupación en la Cuenca del *Ribeirão Jardim* entre 1971 y 1988.

Categorías temáticas		1988							
		Cultivos de regadío	Caña de azúcar	Cultivos indifer.	Pastizales	Bosques	Láminas de agua	Áreas urbanas	Total
1971	Cultivos de secano	704	1.062	8.880	1.605	110	22	75	12.458
	Pastizales	349	1.231	6.567	1.677	177	68	172	10.242
	Bosques	75	109	1.499	317	511	1	-	2.512
	Láminas de agua	-	1	37	7	2	34	1	82
	Áreas urbanas	-	-	4	-	-	-	226	231
	Várzeas	54	116	1.798	602	409	196	2	3.178
	Total	1.183	2.520	18.786	4.209	1.209	321	476	28.703

Nota: Los valores se expresan en hectáreas. Las columnas representan las categorías del año 1988 y las líneas las de 1971. Celdas destacadas corresponden a las categorías estables. La diferencia de superficie total para el mapa de ocupación es debida a los **pixeles** sin clasificar, no incluidos en la presentación de la matriz de cambios.

A pesar de la agregación de categorías antes comentada, en la superposición de las imágenes se generó un número relativamente elevado de combinaciones que fueron evaluadas en su representatividad y lógica de los cambios resultantes.

En nuestro caso, se generaron determinadas combinaciones con un número reducido de pixeles. Se estipuló que combinaciones con número menor que 100 pixeles (lo que equivale a 9 hectáreas, o 0,03% del área de la cuenca y el 0,007% del municipio), serían editados en el módulo *Grid Analyst* y sus valores originales asignados para las categorías temáticas lindantes.

Además, conforme ya mencionamos, las categorías temáticas no son exactamente las mismas en las dos fechas, lo que nos ha impuesto algún tipo de generalización para los análisis multitemporales. Tal hecho, impide el empleo de algunos tests estadísticos a las matrices resultantes, como por ejemplo el Índice Kappa, aplicado en la evaluación de la fiabilidad de las clasificaciones digitales, y también utilizado en las matrices de cambio.

Los problemas son debidos a dos causas principales, por un lado la no identificación de algunas categorías en la clasificación digital y, por otro, la imposibilidad de diferenciar los sistemas de cultivo con un análisis monoestacional. Así que, por ejemplo, al confrontar los cultivos de secano de 1971 y cultivos indiferenciados de 1988 y 1998, tenemos que ser conscientes de que la última clase no es exclusiva del secano, abarcando algunas áreas de cultivo de regadío. A pesar de ello, hemos considerado como áreas

estables los cruces entre cultivos de secano y cultivos indiferenciados, lo que ha supuesto una pérdida de información por la generalización temática.

En el mismo sentido, las *várzeas* no aparecen como una categoría en 1988 y 1998 por las dificultades ya apuntadas en la clasificación digital, siendo una cubierta que erróneamente se podría considerar como desaparecida en la matriz de cambios. En los mapas de 1988 y 1998 se encuentra ocupada por distintas categorías. Entre ellas, posiblemente los bosques ocupen una parte significativa de la superficie, ya que presentan una ganancia de tierras. Tal hecho, puede ser debido a que, por la fecha de la toma de las imágenes, parte de la vegetación arbustiva de ribera, característica de las *várzeas*, presentaba una fisonomía poco vigorosa, confundiéndose con la vegetación de bosque galería, compuesto en gran parte por especies arbóreas semicaducifolias.

Lo mismo pudo pasar con la vegetación herbácea de gramíneas, que se desarrolla plenamente con la humedad aportada por la proximidad de los ríos y, estando con vigor, pudieran ser clasificadas como regadío o cultivos indiferenciados.

V.2.1.1. Áreas estables de ocupación entre 1971 y 1988

Pasamos ahora a la discusión de los resultados del análisis multitemporal, comenzando por las áreas estables, presentadas en la Figura V.10. Las estadísticas de las superficies de ocupación de las categorías son presentadas en la Tabla V.17.

Tabla V.17. Superficies de las categorías estables de ocupación en la Cuenca del *Ribeirão Jardim* entre 1971 y 1988.

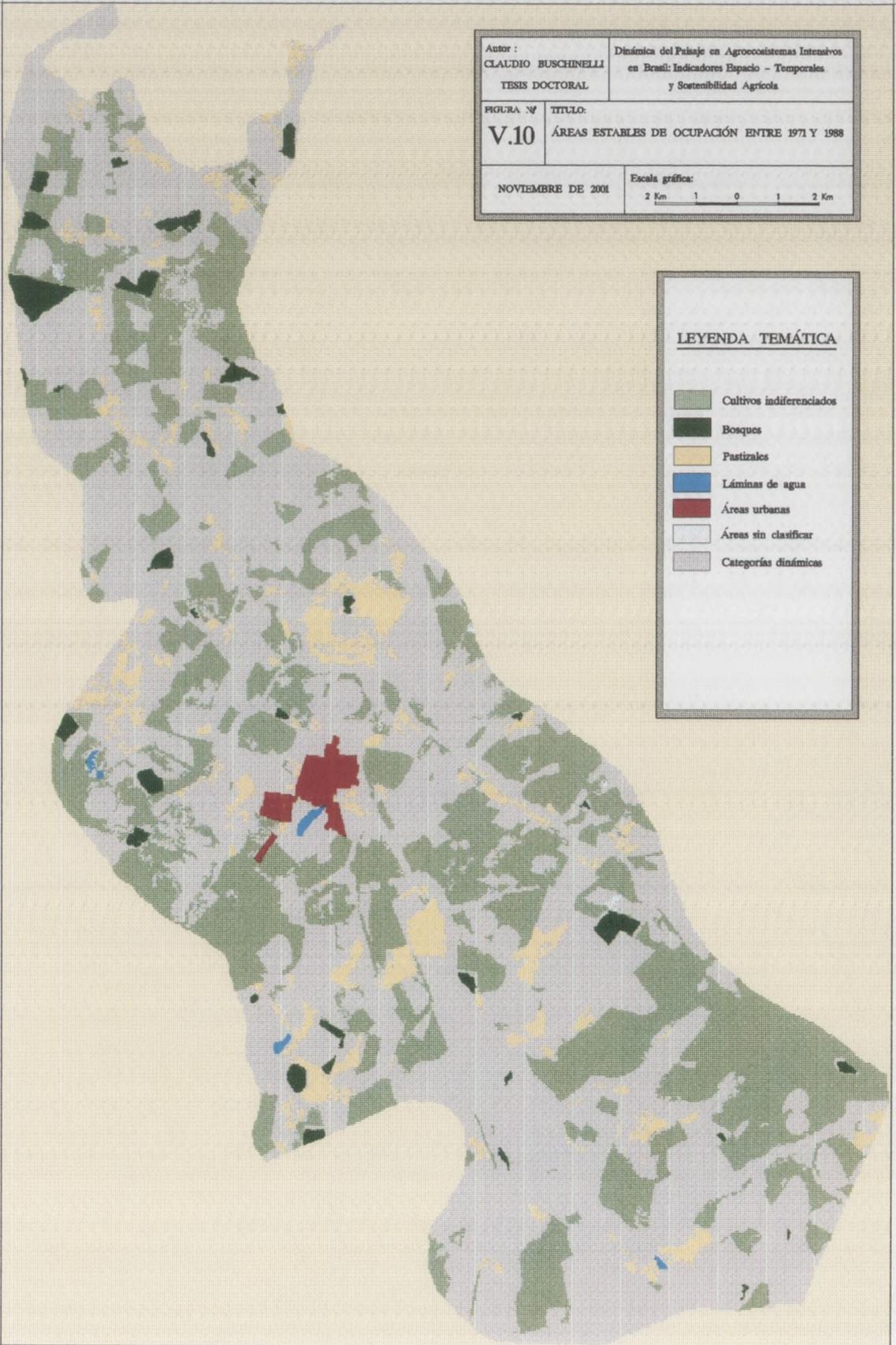
Categorías temáticas	Número de píxeles	Hectáreas	Porcentaje
Cultivos indiferenciados	98.872	8.880	30,70
Pastizales	18.674	1.677	5,80
Bosques	5.695	511	1,77
Láminas de agua	505	45	0,16
Áreas urbanas	2.595	233	0,81
<i>Sin clasificar</i>	2.476	222	0,77
Categorías dinámicas	193.246	17.356	60,00
Total – Cuenca	322.063	28.926	100
<i>Fondo</i>	466.730	-	-
<i>Total</i>	788.793	-	-

Nota: La diferencia de valor de las superficies de ocupación con la matriz de cambios es debida a la reclasificación de las categorías con número de píxeles inferior a 100 píxeles o 9 Ha.

Autor : CLAUDIO BUSCHINELLI TESIS DOCTORAL		Dinámica del Paisaje en Agroecosistemas Intensivos en Brasil: Indicadores Espacio - Temporales y Sostenibilidad Agrícola	
FIGURA Nº V.10	TÍTULO: ÁREAS ESTABLES DE OCUPACIÓN ENTRE 1971 Y 1988		
NOVIEMBRE DE 2001		Escala gráfica: 2 Km 1 0 1 2 Km	

LEYENDA TEMÁTICA

-  Cultivos indiferenciados
-  Bosques
-  Pastizales
-  Láminas de agua
-  Áreas urbanas
-  Áreas sin clasificar
-  Categorías dinámicas



Como consecuencia de la importancia de las tierras de labrantío en *Guaira*, era esperado que, entre las clases estables, los cultivos indiferenciados se destacasen, seguidos por pastizales, bosques, áreas urbanas y láminas de agua.

De hecho, del total de áreas estables los cultivos indiferenciados ocupan el 78%, aportando al mapa un significativo predominio del color verde claro aplicado a esta categoría temática (Figura V.10). Están distribuidos por toda la cuenca como manchas de formato y tamaño variados, de las cuales destacamos la más continua de ellas, ubicada en el extremo sudeste de la cuenca y ocupando unas 1.800 hectáreas.

La fragmentación de las demás clases está plasmada en el mapa, donde destacamos las pequeñas manchas residuales de bosques, que están verdaderamente aisladas, como consecuencia del avance indiscriminado de los cultivos y la consecuente roturación de las parcelas arboladas. De las manchas de bosques restantes, llama la atención la de forma triangular ubicada en el cuadrante noreste de la cuenca, con un área de cerca de 85 hectáreas.

Las áreas de pastizales, conforme hemos dicho, están aparentemente en retroceso en *Guaira* por la mejora del sistema de producción, fuertemente dominado por el régimen de estabulación del ganado para su rápido engorde; no habiendo tanta necesidad de grandes extensiones de áreas de pastoreo como en el pasado, y sí de tierras de cultivo de granos para producción de piensos. De cualquier manera, la segunda mayor cubierta en extensión territorial de la cuenca que se ha mantenido estable, distribuida por toda la cuenca, pero con manchas poco mayores en su porción central.

Las láminas de agua que permanecieron estables ocupan solamente 45 Ha y seguramente han necesitado de frecuente mantenimiento, para evitar los problemas causados por la colmatación con sedimentos arrastrados por las aguas, que retornan como excedente del riego o de las lluvias.

En definitiva, no se puede decir que la zona de estudio presente una tendencia al estancamiento productivo. Por el contrario, observamos que, desde el punto de vista de superficie, las áreas estables representan el 39% del total de la cuenca, mientras que, las categorías dinámicas dominan el paisaje agrario y las envuelven, y de alguna manera, apretando el cerco a las tierras con baja productividad y a los pocos hábitats naturales restantes.

V.2.1.2. Áreas dinámicas de ocupación entre 1971 y 1988

Para facilitar la representación cartográfica separamos las tierras cambiantes en dos mapas, buscando una selección de colores que representase las tendencias de los cambios de ocupación, de acuerdo con la tendencia de intensificación o extensificación de la

actividad presente.

Iniciaremos el comentario por las áreas de extensificación, visualizadas en el Mapa 4. Aplicamos, cuando posible, una gama de colores fríos a esas categorías, según la naturaleza temática del cambio. Las áreas estables se representan con un color neutro y las demás zonas de intensificación se dibujan con un color de transición hacia los cálidos.

Creemos haber alcanzado el objetivo de retratar, a través de los colores, las tendencias de la intensa y dinámica actividad productiva, ya que el mapa está prácticamente tomado por el color lila -aplicado a las categorías intensivas-, estando las zonas de extensificación muy fragmentadas.

Presentamos en la Tabla V.18, las estadísticas de las categorías dinámicas de la matriz de cambio, donde comprobamos que del total de esas áreas, el conjunto de las categorías con tendencia a la extensificación (sombreados en la tabla) no alcanza un 9% del total de la cuenca, con una superficie de 2.587 Ha.

De las categorías con tal tendencia, los cambios con destino a los pastizales son predominantes, y de su total, más del 60% son tierras de cultivos de secano que pasaron a pastizales, lo que no representaría una extensificación muy fuerte, como comentaremos a continuación. En el Mapa 4, comprobamos cómo esa categoría domina las demás, situándose, en general, en los interfluvios, en manchas de formatos regulares.

La siguiente cubierta en importancia se refiere al total de áreas boscosas, ubicadas preferentemente en las vegas y totalizando cerca de 700 Ha, o solamente el 2,4% del área de la cuenca. Tal hecho, por un lado puede estar relacionado, conforme hemos mencionado en la descripción del área de estudio, al establecimiento en *Guaira* de la reforestación a partir de finales de los años 70 y de ahí, su ubicación en tierras originalmente ocupadas por cultivos de secano o pastizales. Y por otra parte, la errónea clasificación de algunas áreas de vegetación de ribera como siendo bosques galería, de acuerdo con las observaciones ya presentadas. Tal hecho puede ser la consecuencia de la elevada proporción del cambio de *várzeas* a bosques, conforme los datos presentados en la Tabla V.18.

En cuanto a las láminas de agua, que presentaron una significativa ganancia de 286 hectáreas en el total, se establecieron principalmente en las áreas topográficamente más favorables, como lo son las *várzeas*. Este aumento está relacionado con el fenómeno del riego, fundamentalmente dependiente de las aguas superficiales. Además, se observa un aumento del área inundada en el límite norte de la cuenca, motivado por la subida de nivel de los Ríos Grande y *Sapucaí*, como consecuencia del cierre del Pantano de *Águas Vermelhas*, conforme se ha comentado en el Capítulo III (Área de Estudio).

Tabla V.18. Superficies de las categorías dinámicas de ocupación en la Cuenca del *Ribeirão Jardim* ente 1971 y 1988.

Categorías temáticas 1971	Categorías temáticas 1988	Número de píxeles	Hectáreas	Porcentaje
Cultivos de secano	Cultivos de regadío	7.839	704	2,43
	Caña de azúcar	11.826	1.062	3,67
	Pastizales	17.873	1.605	5,55
	Bosques	1.222	110	0,38
	Láminas de agua	241	22	0,07
	Áreas urbanas	838	75	0,26
Pastizales	Cultivos de regadío	3.890	349	1,21
	Caña de azúcar	13.711	1.231	4,26
	Cultivos indiferenciados	73.123	6.567	22,70
	Bosques	1.968	177	0,61
	Láminas de agua	762	68	0,24
	Áreas urbanas	1.913	172	0,59
Bosques	Cultivos de regadío	839	75	0,26
	Caña de azúcar	1.216	109	0,38
	Cultivos indiferenciados	16.688	1.499	5,18
	Pastizales	3.534	317	1,10
Várzeas	Cultivos de regadío	599	54	0,19
	Caña de azúcar	1.297	116	0,40
	Cultivos indiferenciados	20.024	1.798	6,22
	Pastizales	6.699	602	2,08
	Bosques	4.559	409	1,42
	Láminas de agua	2.178	196	0,68
Láminas de agua	Cultivos indiferenciados	407	37	0,13
Categorías estables		126.341	11.347	39,23
<i>Sin clasificar</i>		2.476	222	0,77
Total - Cuenca		322.063	28.926	100
<i>Fondo</i>		466.730	-	-
<i>Total</i>		788.793	-	-

Nota: Las celdas destacadas representan las categorías con tendencia a la extensificación.

En resumen, podríamos considerar que existe una cierta gradación en los tipos de extensificación de la ocupación de las tierras en el año 1988. En un extremo estaría el cambio a los espacios arbolados, cuando se destina una parcela de tierra productiva a un tipo de uso más conservacionista de los recursos naturales. En el otro, ubicaríamos por ejemplo los pastizales, ya que es un tipo de ocupación generalmente transitorio debido al

sistema de rotación de cultivos adoptado en la región, además de imponer una cierta tecnificación desde el punto de vista de semillas, fertilizantes y tratos culturales, con lo cual podríamos considerar muchas de las áreas como praderas.

En situación intermedia estaría el cambio a láminas de agua. Su consideración como extensificación sería discutible, pues la transformación significa una ocupación permanente y destinada casi exclusivamente al riego y no al ocio. Además, necesita de constante dragado por el excesivo arrastre de sedimentos por la densa red de drenaje.

Pasemos ahora a comentar los cambios con naturaleza de intensificación de la ocupación.

Como se puede comprobar en el Mapa 5, observamos la elevada fragmentación del paisaje por la diversidad de categorías. Buscamos, cuando fue posible, seleccionar colores cálidos con determinada lógica y similitud de tonos a los destinos de los cambios. Así que, para las nuevas áreas urbanas, tierras con regadío, caña de azúcar, cultivos indiferenciados y pastizales, aplicamos tonos del rojo, verde, naranja, marrón y amarillo, respectivamente.

Las áreas con intensificación más significativas, como se puede comprobar por los datos de la Tabla V.18, son las que congregan los cultivos indiferenciados, ocupando una superficie total de cerca de 9.900 Ha. Prácticamente se han duplicado en el periodo, situándose principalmente en las tierras de pastoreo, *várzeas* y bosques. Además, destacamos la implantación de la caña de azúcar y de los cultivos de regadío de manera bastante expresiva.

El avance de la caña de azúcar ha sido sorprendente, tratándose de un monocultivo. Se encuentra ubicada principalmente sobre tierras destinadas antes a pastizales y cultivos de secano. La caña ganó más de 2.500 Ha en total, siendo la mayor parte sobre tierras de ganadería y de cultivos de secano. Hecho que se podría explicar, por ser la caña de azúcar una planta relativamente poco exigente desde el punto de vista de fertilidad del suelo. Hay que destacar, además, el arrendamiento de esas tierras, ya desgastadas, por las agroindustrias alcohol-azucarera que se han implantado en la zona, ofreciendo una alternativa muy rentable a los propietarios rurales.

Destacamos que la caña de azúcar ha sido un cultivo altamente incentivado por el Programa Nacional del Alcohol (*PROALCOOL*), criado en 1975, como forma de disminuir la dependencia externa de combustible carburante para automotores. Gran cantidad de unidades de producción de alcohol teniendo la caña de azúcar como materia prima fueron implantadas en todo país, igualmente incentivadas por el programa gubernamental, que perdura hasta los días de hoy. En el municipio existen dos de éstas unidades, que procesan las cosechas de la región.

Los cultivos de regadíos ocupan cerca de 1.190 Ha, y su ubicación ocurrió principalmente sobre tierras tradicionales de secano, probablemente más fértiles y

tecnificadas ahora, ya que los cultivos son mucho más exigentes. En lo que se refiere a la conformación espacial están, en cierto modo, dispersos por toda la cuenca, pero se puede notar una mayor concentración en la porción sur de la misma.

El caso de los pastizales es bastante típico del dinamismo de las tierras en zonas de agricultura tecnificada en Brasil, una vez que se observa al mismo tiempo un avance y una pérdida de tierras destinadas a la ganadería. En realidad lo que ocurre es la constante rotación, tanto de parcelas como de cultivos que pasan cada cierto tiempo a ser destinadas para el pastoreo.

Pero quizá el hecho más significativo de todos los cambios sea la pérdida de las áreas boscosas que han reducido a la mitad su superficie, cediendo espacio principalmente a los cultivos indiferenciados y en menor grado, a los pastizales, caña de azúcar y regadío (Tabla V.18). Tendencia ésta muy típica en áreas de intensificación de la actividad agrícola en países en desarrollo (Dean, 1996; Machado, 1995; Monteiro, 1981).

El aumento del núcleo urbano, ocurrió principalmente sobre áreas de pastizales y de cultivos de secano, extendiéndose tanto hacia el sudoeste como hacia el nordeste mediante la construcción de nuevos barrios residenciales para atender a la creciente población, la cual, siguiendo una tendencia generalizada, pasa a concentrarse en las ciudades, conforme hemos presentado en el Capítulo III (Área de Estudio).

En resumen, se puede considerar que el área de la Cuenca del *Ribeirão Jardim* experimentó en el periodo de 17 años un rápido y significativo cambio de ocupación de las tierras, donde la intensificación de los procesos productivos ha sido la tónica.

Pasemos ahora a la siguiente evaluación de los cambios de ocupación en la Cuenca del *Ribeirão Jardim*, teniendo el año de 1998 como referencia final.

V.2.1.3. Áreas estables de ocupación entre 1971 y 1998

En la presente evaluación, seguimos el mismo procedimiento antes mencionado y los comentarios generales son igualmente válidos.

En la Tabla V.19, está representada la matriz de cambios de ocupación en el periodo de 1971 y 1998. La distribución espacial de las categorías estables se puede consultar en la Figura V.11 y sus superficies de ocupación, en la Tabla V.20.

Lógicamente, observamos la misma tendencia general de ocupación antes comentada hasta el año 1988, ya que el lapso de tiempo no es tan largo. Pero, con algunas diferencias interesantes que comentaremos a continuación.

Evaluándose las categorías estables y dinámicas en conjunto, observamos en ese periodo una pequeña reducción de las superficies estables, y, por consiguiente, un ligero aumento de las áreas dinámicas de ocupación.

Destacamos por ejemplo, de la Tabla V.19, la menor superficie de ocupación de los cultivos indiferenciados estables (8.265 Ha contra 8.880 Ha en 1988, Tabla V.17), que aparecen en la Figura V.11 un poco más fragmentados y con manchas menores.

Aunque con menor intensidad, la misma tendencia se puede observar para los bosques y láminas de agua. Para el caso de los espacios arbolados, notamos la reducción de algunas manchas, dibujadas en color verde oscuro, fácilmente identificadas por estar envueltas por tonos claros, aplicados a las categorías dinámicas en el mapa de áreas estables (Figura V.11).

Por el contrario, las áreas estables de pastizales presentaron un pequeño aumento con relación al periodo de 1971-1988, pasando de 1.677 a 1.766 hectáreas. A pesar de ello, se presentan mucho más fragmentadas, como se puede observar en la Figura V.11.

Tabla V.19. Matriz de cambios de ocupación en la Cuenca del *Ribeirão Jardim* entre 1971 y 1998.

Categorías temáticas		1998							
		Cultivos de regadío	Caña de azúcar	Cultivos indifer.	Pastizales	Bosques	Láminas de agua	Áreas urbanas	Total
1 9 7 1	Cultivos de secano	430	2.041	8.265	1.315	160	36	122	12.368
	Pastizales	356	1.379	6.052	1.766	283	79	237	10.152
	Bosques	79	564	1.148	241	456	1	3	2.491
	Láminas de agua	-	-	22	15	7	28	4	77
	Áreas urbanas	-	-	2	1	-	-	224	228
	Várzeas	55	149	1.397	856	469	176	11	3.113
	Total	920	4.133	16.887	4.194	1.375	319	601	28.430

Nota: Los valores se expresan en hectáreas. Las columnas representan las categorías del año 1998 y las líneas las de 1971. Las celdas destacadas corresponden a las categorías estables. La diferencia de superficie total para el mapa de ocupación es debida a los píxeles sin clasificar, no incluidos en la presentación de la matriz de cambios.



CUENCA HIDROGRÁFICA DEL "RIBEIRÃO JARDIM"



INSTITUTO DE ECONOMIA Y GEOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA

Autor : CLAUDIO BUSCHINELLI	Dinámica del Paisaje en Agroecosistemas Intensivos en Brasil: Indicadores Espacio - Temporales y Sostenibilidad Agrícola
TESIS DOCTORAL	
FIGURA Nº V.11	TÍTULO: ÁREAS ESTABLES DE OCUPACIÓN ENTRE 1971 Y 1998
NOVIEMBRE DE 2001	Escala gráfica: 2 Km 1 0 1 2 Km

LEYENDA TEMÁTICA

-  Cultivos indiferenciados
-  Bosques
-  Pastizales
-  Láminas de agua
-  Áreas urbanas
-  Áreas sin clasificar
-  Categorías dinámicas

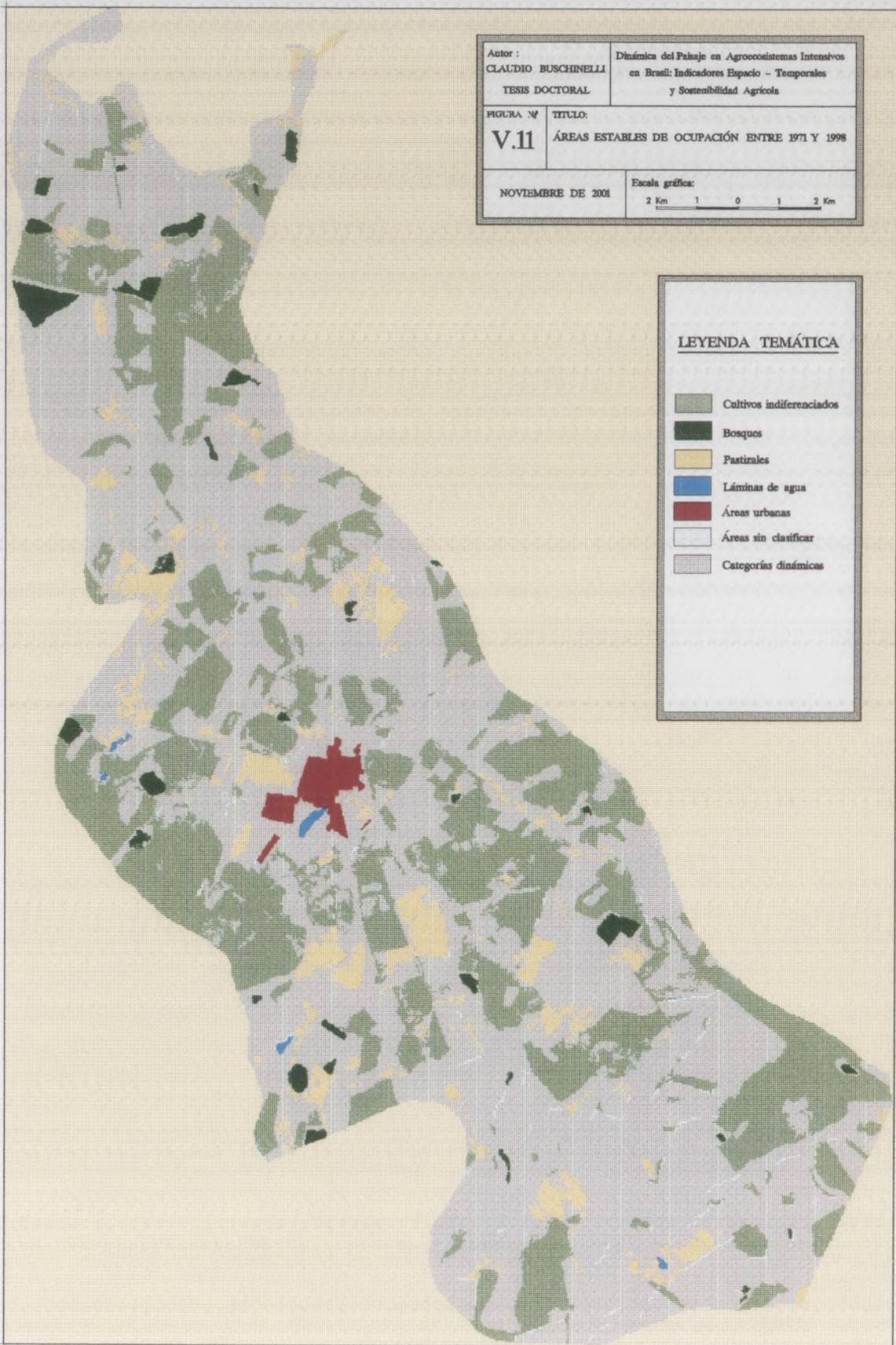


Tabla V.20. Superficies de las categorías estables de ocupación en la Cuenca del *Ribeirão Jardim* entre 1971 y 1998.

Categorías temáticas	Número de pixeles	Hectáreas	Porcentaje
Cultivos indiferenciados	92.027	8.265	28,57
Pastizales	19.668	1.766	6,11
Bosques	5.119	460	1,59
Láminas de agua	437	39	0,14
Áreas urbanas	2.657	239	0,82
Sin clasificar	5.525	496	1,72
Categorías dinámicas	196.630	17.660	61,05
Total – Cuenca	322.063	28.926	100
Fondo	466.730	-	-
Total	788.793	-	-

Nota: La diferencia de valor de las superficies de ocupación con la matriz de cambios es debida a la reclasificación de las categorías con número de **pixeles** inferiores a 100 pixeles o 9 Ha.

Por ahora, esos datos no indican claras conclusiones de las tendencias de los cambios más recientes en la cuenca, tampoco se puede decir que el ritmo de sustitución de las tierras ha disminuido, si comparamos los resultados de las matrices de cambios en los dos periodos evaluados hasta ahora (Tablas V.16 y V.19).

De cualquier manera, es patente que las superficies ocupadas por las tierras de labor (cultivos y pastizales), siguen teniendo gran significado en la cuenca, representando cerca del 35% de su superficie total.

Pasemos a la evaluación de las áreas dinámicas de ocupación, que parecen haber aumentado en superficie cuando son comparadas con el periodo anterior.

V.2.1.4. Áreas dinámicas de ocupación entre 1971 y 1998

En los Mapas 6 y 7, presentamos los resultados cartográficos de las áreas con tendencia a la extensificación e intensificación, respectivamente. Las superficies de ocupación de esas categorías pueden ser consultadas en la Tabla V.21.

En su conjunto, las categorías temáticas con tendencia a la extensificación (Mapa 6) siguen teniendo poca representatividad en la cuenca (8,7% del total), con nítido predominio en la imagen del color lila, asignado al conjunto de las categorías con intensificación.

Las tierras que cambiaron a pastizales siguen teniendo mayor importancia de entre las categorías con extensificación, pero observamos una reducción de sus superficies con relación al periodo anterior, pasando en el total de 1.605 hectáreas entre 1971 y 1988 (Tabla V.18) a 1.313 hectáreas entre 1971 y 1998. En el Mapa 6, vemos que se

encuentran dispersas por toda la cuenca en manchas aisladas, con clara preponderancia del color amarillo claro, asignado al cambio de los cultivos de secano a pastizales.

Los espacios arbolados, siguen representando la segunda cubierta en importancia territorial de entre las categorías con extensificación. Al contrario del periodo anterior, han aumentado su superficie, pasando en el total de las 696 hectáreas entre 1971 y 1988 (Tabla V.18) a 916 hectáreas ahora. Su incremento se ha producido principalmente sobre las *várzeas* y las tierras de pastoreo, valiendo para la primera situación los comentarios antes destacados en la clasificación digital.

En el caso de las superficies acuáticas, los valores en el presente periodo son muy semejantes al periodo anterior (290 Ha en 1988 y 286 Ha ahora). Nuevas áreas de láminas de agua aparecen, principalmente, sobre tierras antes ocupadas por las *várzeas* y, en menor grado, por pastizales y cultivos de secano.

Señalamos la presencia de una nueva categoría en este periodo; se trata de la ocurrencia de pastizales en tierras anteriormente ocupadas por láminas de agua, aunque con muy pequeña extensión territorial (15 Ha). Hecho no tan insólito, como puede parecer al principio, si consideramos que la colmatación de los embalses es verdaderamente intensa en la zona, quedando así, muchos estanques abandonados a su propia suerte. Por otro lado, se puede argumentar que estamos delante de otro ejemplo de los errores en la clasificación digital, ya que las características espectrales de las parcelas de pastoreo fueron bastante variables, conforme comentarios anteriores.

De los datos, se puede adelantar que ha ocurrido una relativa retracción de las superficies de ocupación de las tierras destinadas a la producción agrícola, como los cultivos de regadío, cultivos indiferenciados y pastizales, cuando hemos comparado con los resultados de 1988 (Tabla V.18). Igual que en el periodo anterior, la excepción de entre las tierras productivas, es el aumento muy pronunciado de la caña de azúcar, que ha doblado su superficie en comparación al año 1988.

Pasemos ahora a la discusión de los resultados de las superficies de ocupación con tendencia a la intensificación en el periodo 1971 y 1998 (Mapa 7).

Como se puede comprobar por los datos de la Tabla V.21, esas categorías están totalmente dominadas por los cambios a cultivos indiferenciados, totalizando cerca de 8.620 hectáreas, de las cuales, la mayor parte estaba ocupada por pastizales en 1971 (6.052 Ha). Pero, no deja de ser significativa su implantación sobre áreas de bosques, con una superficie cercana a 1.150 Ha.

Tabla V.21. Superficies de las categorías dinámicas de ocupación en la Cuenca del *Ribeirão Jardim* entre 1971 y 1998.

Categorías temáticas 1971	Categorías temáticas 1998	Número de píxeles	Hectáreas	Porcentaje
Cultivos de secano	Cultivos de regadío	4.787	430	1,49
	Caña de azúcar	22.725	2.041	7,06
	Pastizales	14.637	1.315	4,54
	Bosques	1.781	160	0,55
	Láminas de agua	398	36	0,12
	Áreas urbanas	1.355	122	0,42
Pastizales	Cultivos de regadío	3.961	356	1,23
	Caña de azúcar	15.358	1.379	4,77
	Cultivos indiferenciados	67.384	6.052	20,92
	Bosques	3.149	283	0,98
	Láminas de agua	876	79	0,27
	Áreas urbanas	2.639	237	0,82
Bosques	Cultivos de regadío	880	79	0,27
	Caña de azúcar	6.275	564	1,95
	Cultivos indiferenciados	12.779	1.148	3,97
	Pastizales	2.685	241	0,83
Várzeas	Cultivos de regadío	614	55	0,19
	Caña de azúcar	1.664	149	0,52
	Cultivos indiferenciados	15.559	1.397	4,83
	Pastizales	9.529	856	2,96
	Bosques	5.223	469	1,62
	Láminas de agua	1.957	176	0,61
Láminas de agua	Cultivos indiferenciados	247	22	0,08
	Pastizales	168	15	0,05
Categorías estables		119.908	10.769	37,23
<i>Sin clasificar</i>		5.525	496	1,72
Total – Cuenca		322.063	28.926	100
<i>Fondo</i>		466.730	-	-
<i>Total</i>		788.793	-	-

Nota: Las celdas destacadas representan las categorías con tendencia a la extensificación.

De todos modos, llama la atención la reducción de ocupación territorial del conjunto de las tierras que cambiaron a cultivos indiferenciados con relación al periodo 1971 y 1988 (9.901 Ha contra 8620 Ha, Tabla V.18).

Las nuevas áreas de caña de azúcar se imponen, en conjunto, como la segunda categoría en extensión territorial de la cuenca, con una superficie total de cerca de 4.130 Ha, ocupando principalmente las antiguas tierras de cultivos de secano (2.041 Ha) y pastizales (1.379 Ha). Es importante asimismo, su implantación sobre las áreas boscosas

sobre las tierras de cultivos de secano y pastizales y, con menor importancia, sobre los bosques y las várzeas. Aquí, también, observamos una reducción de la ocupación por los cultivos de regadío en comparación con el año 1988 (1.183 Ha, Tabla V.18)

Por ahora, no vamos a detenernos mucho más en el análisis de los cambios en el periodo de 1988 y 1998, ya que lo evaluamos en el ámbito de todo el municipio y aportaremos esos resultados a continuación.

En resumen, en la Figura V.12, se ilustran las tendencias de los cambios presentados que confirman, de forma general, los comentarios hechos para el ámbito de la Cuenca del *Ribeirão Jardim*.

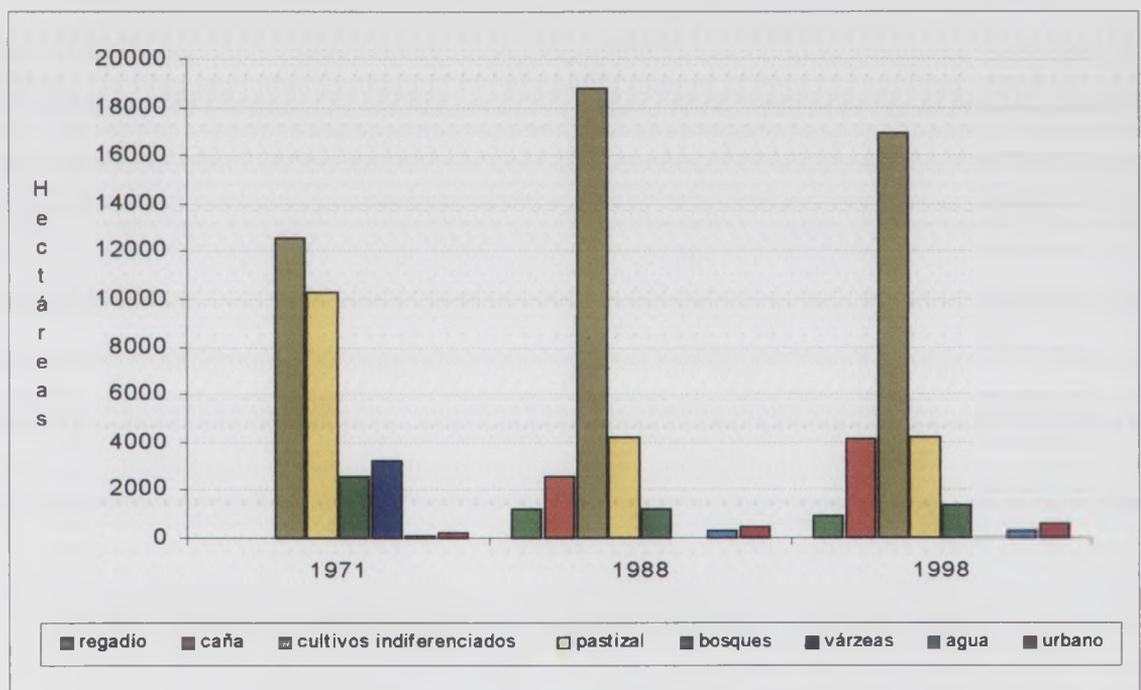


Figura V.12. Cambios de ocupación en la Cuenca del *Ribeirão Jardim* entre 1971 y 1998.

V.2.2. Cambios de ocupación en el Municipio de *Guaira*

Como hemos destacado anteriormente, hicimos una evaluación en el ámbito de todo el municipio en un periodo de tiempo más reciente, entre 1988 y 1998.

En la Tabla V.22 está representada la matriz de cambio del periodo, donde contrariamente a las matrices de cambios antes presentadas, ésta es perfectamente bilateral,

V.2.2. Cambios de ocupación en el Municipio de *Guaira*

Como hemos destacado anteriormente, hicimos una evaluación en el ámbito de todo el municipio en un periodo de tiempo más reciente, entre 1988 y 1998.

En la Tabla V.22 está representada la matriz de cambio del periodo, donde contrariamente a las matrices de cambios antes presentadas, ésta es perfectamente bilateral, es decir similar.

Tabla V.22. Matriz de cambios de ocupación en el Municipio de *Guaira* entre 1988 y 1998.

Categorías temáticas		1998							
		Cultivos de regadío	Caña de azúcar	Cultivos indifer.	Pastizales	Bosques	Láminas de agua	Áreas urbanas	Total
1 9 8 8	Cultivos de regadío	707	271	2.767	208	68	-	-	4.021
	Caña de azúcar	65	5.592	5.896	251	71	-	-	11.875
	Cultivos indifer.	2.026	17.009	50.030	8.241	1.705	415	100	79.527
	Pastizales	234	2.105	10.237	5.017	149	40	61	17.844
	Bosques	32	199	1.122	149	2.489	39	-	4.031
	Láminas de agua	-	18	469	78	20	938	-	1.509
	Áreas urbanas	-	-	-	-	-	-	466	466
	Total	3.064	25.194	70.522	13.944	4.503	1.419	627	119.286
Índice Kappa = 19,1%				Fiabilidad Global = 73,2%					

Nota: Los valores se expresan en hectáreas. Las columnas representan las categorías del año 1998 y las líneas las de 1988. Celdas destacadas corresponden a las categorías estables. La diferencia de superficie total para el mapa de ocupación es debida a los **pixeles** sin clasificar, no incluidos en la presentación de la matriz de cambios.

Por tratarse de una matriz simétrica, ya que las categorías temáticas son las mismas en las dos fechas, pudimos aplicar el test estadístico de Kappa para evaluar el grado de cambio multitemporal, el cual expresa mayor estabilidad cuanto más elevado sea su valor, de acuerdo con lo indicado en el Capítulo IV (Materiales y Métodos).

Tenemos conciencia de que comparaciones entre dos ámbitos geográficos solamente son válidas si éstos presentan ciertas similitudes ambientales (sociales, económicas y ecológicas), lo que creemos ser verdadero en nuestro caso; ya que la Cuenca del *Ribeirão Jardim* ha sido estimada como representativa del Municipio de *Guaira* (Silva et al., 1994).

Así que, el presente análisis demuestra semejanzas y diferencias importantes cuando se compara con las evaluaciones anteriores.

A continuación, discutimos los resultados de la estabilidad y dinámica del paisaje

en el ámbito municipal.

V.2.2.1. Áreas estables de ocupación entre 1988 y 1998

En la Figura V.13, observamos el mapa de las categorías temáticas que permanecieron estables en el periodo de 1988 y 1998. Las respectivas superficies de ocupación, pueden ser consultadas en la Tabla V.23.

La primera constatación es la menor representatividad de las categorías dinámicas, cuando es comparado con los mapas de áreas estables de la cuenca (Figuras V.10 y V.11), en los cuales el color lila sobresale nítidamente.

El cálculo del Índice de Kappa para la matriz de cambios (Tabla V.22), con un valor del 19,1%, confirma la predominancia de categorías dinámicas frente a las estables, ya que cuanto más cercano al 100%, mayor sería la estabilidad de los cambios ocurridos entre las fechas evaluadas. Es importante destacar que, para los cálculos, utilizamos los datos originales de la matriz, o sea, fueron incluidos los **pixeles** sin clasificar, siguiendo el mismo procedimiento, antes adoptado, para los cálculos estadísticos de las matrices de error de las clasificaciones digitales.

Tabla V.23. Superficies de las categorías estables del mapa de cambios de ocupación del Municipio de *Guaira* entre 1988 y 1998.

Categorías temáticas	Número de pixeles	Hectáreas	Porcentaje
Cultivos de regadío	7.867	707	0,58
Caña de azúcar	62.257	5.592	4,58
Cultivos indiferenciados	557.043	50.030	40,96
Pastizales	55.860	5.017	4,11
Bosques	27.718	2.489	2,04
Láminas de agua	10.444	938	0,77
Áreas urbanas	5.185	466	0,38
<i>Sin clasificar</i>	31.966	2.871	2,35
Categorías dinámicas	601.955	54.064	44,26
Total – Municipio	1.360.112	122.157	100
<i>Fondo</i>	1.179.688	-	-
<i>Total</i>	2.539.800	-	-

Nota: La diferencia de valor de las superficies de ocupación con la matriz de cambios es debida a la reclasificación de las categorías con número de **pixeles** inferiores a 100 **pixeles** \approx 9 Ha.

MUNICIPIO DE GUAÍRA



LEYENDA TEMÁTICA

- Cultivos de regadío
- Caña de azúcar
- Cultivos indiferenciados
- Bosques
- Pastizales
- Léminas de agua
- Áreas urbanas
- Áreas sin clasificar
- Categorías dinámicas

Autor :
CLAUDIO BUSCHINELLA
Tesis Doctoral
Dinámica del Paisaje en Agroecosistemas Intermitentes
en Brasil: Indicadores Espacio - Temporales
y Sostenibilidad Agrícola

FIGURA Nº
V.13
TÍTULO:
ÁREAS ESTABLES DE OCUPACIÓN ENTRE 1988 Y 1998

Escala gráfica:

Otra evaluación importante de la matriz de cambios es el cálculo de su fiabilidad final, o el producto de las exactitudes individuales de las clasificaciones de las dos fechas. En nuestro caso, la fiabilidad global de la matriz es de 0.732 (0.839 x 0.872) o el 73,2%, lo que nos parece un valor razonable y de buena calidad para los objetivos propuestos en el trabajo.

Pasemos ahora a la discusión de los resultados de las categorías individuales y de sus significados dentro del ámbito municipal.

A semejanza de los resultados obtenidos para la cuenca, observamos la importancia de las tierras de labor, como cubierta dominante en el espacio y tiempo del paisaje agrario del municipio, el cual está prácticamente tomado por los cultivos indiferenciados, representados en tonos de verde y ocupando cerca de 50.000 Ha, o casi 41% del total municipal (Figura V.13).

La caña de azúcar es la siguiente categoría estable en importancia, ocupando cerca del 5% del territorio municipal, valor bastante significativo por tratarse de un monocultivo. Como se puede notar en el mapa de la Figura V.13, está dispersa en manchas regulares por todo el municipio, pero con relativa concentración por la zona sur y este del territorio, exactamente donde se localizan las dos agroindustrias productoras de alcohol y azúcar.

Las áreas estables de pastizales, que todavía están presentes con relativa importancia (4,11%), también se encuentran dispersas por todo el territorio, casi siempre en grandes parcelas de formato regular y cercanas a los cursos de agua o estanques.

Los espacios arbolados estables vienen en el cuarto puesto, con cerca de 2%. Se encuentran en general dispersos y entremetidos en las cubiertas que reúnen las tierras de labor. En algunos casos, notamos su distribución lineal a lo largo de los ríos, tratándose, posiblemente de los bosques galería anteriormente citados; en otros casos, se reconocen manchas de tamaños variables pero tendiendo a las pequeñas y muy dispersas, como las vistas en la porción noroeste de la zona (Figura V.13).

De las demás categorías temáticas, con superficies de ocupación inferiores a las 1.000 hectáreas, los cultivos de regadío siguen destacándose visualmente, por la forma circular muy característica de los pivotes y ocupando unas 700 hectáreas (0,6%); superficie esta mayor que la mancha urbana de *Guaira* con 466 hectáreas, pero menor que el total del área inundada en el municipio (938 Ha).

No fue posible aplicar el Índice Kappa en las matrices de cambio de la cuenca, ya que tenían número y calificativos distintos en las fechas evaluadas. Pero de cualquier manera, se puede constatar, por los valores porcentuales, la mayor representatividad territorial de las categorías estables en el municipio en tiempos más recientes, cuando es comparada con los datos de la cuenca. En ésta, el total de áreas estables siempre estuvo por debajo del 39% (Tablas V.18 y V.21), mientras que ahora estas categorías ocupan el

53% del total municipal. Se puede decir que los cambios en el ámbito de Cuenca del *Ribeirão Jardim* fueron más representativos y por qué no, más intensivos que en el municipio como un todo.

Tal hecho nos remite al análisis de las categorías cambiantes para certificar de sus dinámicas de ocupación.

V.2.2.2. Áreas dinámicas de ocupación entre 1988 y 1998

Los Mapas 8 y 9 ilustran la distribución espacial de las categorías temáticas que presentaron carácter de extensificación e intensificación, respectivamente. En la Tabla V.24, se puede consultar las respectivas estadísticas de los mapas.

Ahora si que se pueden comprobar las diferentes tendencias de evolución presentadas por las categorías que representan el conjunto de las tierras de labor.

En el conjunto de estas categorías (regadío, caña de azúcar, cultivos indiferenciados y pastizales), no se aprecia una diferencia muy grande entre las dos fechas (543 Ha). Pero, si las evaluamos por separado, notamos que los cultivos indiferenciados perdieron más de 9.000 hectáreas, los pastizales casi 4.000 hectáreas y los cultivos de regadío unas 540 Ha entre 1988 y 1998.

Estas pérdidas son compensadas por el avance de la caña de azúcar, que en el periodo de 10 años más que duplicó su superficie, pasando a ocupar principalmente las tierras antes destinadas a los cultivos indiferenciados y en menor grado, por pastizales.

Otras categorías que han experimentado una evolución territorial son los bosques y las áreas urbanas, mientras que las superficies inundadas se han reducido en el periodo.

Pasemos ahora a la discusión del carácter de los cambios en cuanto a su extensificación e intensificación de ocupación de las tierras.

En el Mapa 8, se puede observar que del total de las áreas que presentaron características de extensificación (cerca de 20.000 Ha, Tabla V.24), sobresalen los tonos del amarillo y naranja, aplicados respectivamente, a los pastizales y cultivos indiferenciados, con superficies semejantes de cerca de 8.800 Ha. Las áreas boscosas con casi 2.000 hectáreas de avance van en el lugar siguiente, dibujadas en tono verde en el mapa.

Evaluando esos cambios de ocupación con más detalle (Tabla V.24), constatamos que, para el primer caso, las nuevas tierras de pastoreo estaban ocupadas principalmente por cultivos indiferenciados en 1988 y con, mucho menor intensidad, por cultivos de regadío y por la caña de azúcar. Hecho que puede significar la frecuente rotación de cultivos y pastizales antes comentada.

Tabla V.24. Superficies de las categorías dinámicas de ocupación del Municipio de Guaira.

Categorías temáticas 1988	Categorías temáticas 1998	Número de pixeles	Hectáreas	Porcentaje
Cultivos de regadío	Caña de azúcar	3.013	271	0,22
	Cultivos indiferenciados	30.813	2.767	2,27
	Pastizales	2.321	208	0,17
	Bosques	754	68	0,06
Caña de azúcar	Cultivos de regadío	726	65	0,05
	Cultivos indiferenciados	65.649	5.896	4,83
	Pastizales	2.791	251	0,21
	Bosques	790	71	0,06
Cultivos indiferenciados	Cultivos de regadío	22.556	2.026	1,66
	Caña de azúcar	189.385	17.009	13,93
	Pastizales	91.751	8.241	6,75
	Bosques	18.987	1.705	1,40
	Láminas de agua	4.623	415	0,34
	Áreas urbanas	1.117	100	0,08
Pastizales	Cultivos de regadío	2.610	234	0,19
	Caña de azúcar	23.441	2.105	1,72
	Cultivos indiferenciados	113.979	10.237	8,38
	Bosques	1.660	149	0,12
	Láminas de agua	449	40	0,03
	Áreas urbanas	678	61	0,05
Bosques	Cultivos de regadío	354	32	0,03
	Caña de azúcar	2.221	199	0,16
	Cultivos indiferenciados	12.492	1.122	0,92
	Pastizales	1.659	149	0,12
	Láminas de agua	437	39	0,03
Láminas de agua	Caña de azúcar	201	18	0,01
	Cultivos indiferenciados	5.220	469	0,38
	Pastizales	870	78	0,06
	Bosques	225	20	0,02
Categorías estables		726.374	65.238	53,41
Sin clasificar		31.966	2.871	2,35
Total - Municipio		1.360.112	122.157	100
Fondo		1.179.688	-	-
Total		2.539.800	-	-

Nota: Las celdas destacadas representan las categorías con tendencia a la extensificación.

Para el caso de las nuevas tierras de cultivos indiferenciados, observamos que la mayor parte de ellas (cerca de 5.900 Ha), se instalaron sobre tierras cultivadas con caña de azúcar en 1988, y solamente unas 2.800 hectáreas sobre antiguas tierras de regadío. Estos resultados confirman, en cierta forma, lo observado anteriormente, ya que se supone que las áreas de regadío presentan mejores condiciones de fertilidad para los cultivos,

además de tener ciertas condiciones topográficas y de infraestructura favorables.

En lo que se refiere al avance de las áreas boscosas en 1998, la mayor parte se instalaron sobre las tierras de cultivos indiferenciados (1.700 Ha). Con menor intensidad, observamos su implantación sobre las parcelas de pastizales (cerca de 150 Ha); además de las tierras de cultivos indiferenciados y de regadío, con cerca de 70 Ha para cada una de las categorías. Tal hecho, posiblemente ha ocurrido por el aumento de la reforestación en el municipio, o por la errónea clasificación de áreas de cultivos en estado fenológico avanzado, conforme hemos comentado anteriormente.

Destacamos que, según comprueban los datos censales de la producción agrícola municipal presentados en la Tabla III.10 (Capítulo III. Área de Estudio), la actividad de reforestación es muy poco significativa en *Guaíra*, cuando se registra a partir de 1995 una superficie total de 30 Ha de *Hevea brasiliensis*. Árbol importante desde un punto de vista productivo de la cual se extrae el látex o goma natural, y así, representa mucho más otro cultivo de interés económico, que lo representaría la implantación de reservas boscosas con carácter conservacionista.

Finalmente, pocas áreas de láminas de agua fueron implantadas en 1998, totalizando unas 500 hectáreas, de las cuales la gran mayoría sobre tierras antes utilizadas para cultivos indiferenciados, y con menor presencia, sobre tierras de pastizales (40 Ha).

En lo que se refiere a las áreas que presentaron un comportamiento de intensificación (Mapa 9 y Tabla V.24), hay que destacar nuevamente el cultivo de caña de azúcar, toda vez que representa el 57% del total de las categorías intensivas. Su implantación se ha dado principalmente sobre áreas ocupadas en 1988 por cultivos indiferenciados (17.000 Ha), y en menor grado sobre antiguas tierras de pastoreo (2.105 Ha), de bosques (199 Ha) y láminas de agua (18 Ha).

Su distribución espacial aparenta no estar influida por las dos agroindustrias, ya que están diseminadas por todo el municipio en grandes parcelas (Mapa 9).

Como hemos comentado, el cultivo de la caña de azúcar ha percibido incentivos gubernamentales por el *PROALCOOL*, y por consiguiente, la agroindustria de ese rubro se implanta en *Guaíra* para atender la creciente producción.

La siguiente categoría en importancia territorial se refiere a los cultivos indiferenciados, que comprenden el 35% del total de las áreas intensivas, o cerca de 12.000 Ha. Su implantación se ha dado básicamente en tierras de pastoreo en 1988, con unas 10.000 hectáreas, reflejando la frecuente rotación de cultivos intensivos y pastizales. Es importante subrayar también, la sustitución de por lo menos 1.100 hectáreas de bosques por esos cultivos, lo que nos remite a los comentarios de que las áreas boscosas son "guardadas" en las propiedades como reservas estratégicas, para luego entrar en la dinámica de roturación y siembra de cultivos con mayor valor en el mercado.

Las nuevas áreas de riego, que suman unas 2.400 hectáreas o cerca del 7% del total de las categorías intensivas, se implantaron preferentemente en tierras de cultivos indiferenciados, ya que estas suman cerca de 2.000 Ha. El resto de los nuevos espacios de regadío, se implantó principalmente sobre los pastizales (234 Ha) y, en mucho menor intensidad, sobre caña de azúcar (65 Ha) y bosques (32 Ha).

Finalmente, destacamos que las áreas de intensificación referentes a los pastizales, que suman solamente unas 220 hectáreas, se han producido preferentemente sobre las tierras arboladas (149 Ha) y, en menor grado, sobre las láminas de agua (78 Ha)

Por el conocimiento *in situ* de la zona y por el análisis de los mapas de cambios de la cuenca y del municipio, no se observa una clara preocupación de los propietarios o del gobierno con el planeamiento de usos conservacionistas del territorio, como por ejemplo la preservación de los bosques galería o de las *várzeas*, vitales para la manutención de corredores ecológicos y adecuada calidad de las aguas de los ríos, ya que tales formaciones sirven como sistemas amortiguadores (*buffer effects*) para el excedente del drenaje superficial que arrastra gran cantidad de sedimentos. En las ortoimágenes del año 1988 y 1998 de *Guaira* (Figuras IV.6 y IV.7, Capítulo Materiales y Métodos) vimos cómo muchos embalses y ríos principales se presentaban con un color marrón en distintos tramos, como consecuencia de la fuerte erosión de los suelos.

Las áreas de *Cerrados* tampoco fueron conservadas, restando pocas manchas dispersas y totalmente descaracterizadas. El paisaje típico de la región, formado por tierras llanas ocupadas ahora por las distintas formaciones del *Cerrado*, o por campos de cultivos o pastizales, fue drásticamente alterado por un paisaje prácticamente homogéneo, donde predominan los monocultivos de caña de azúcar y las áreas de cultivos de secano de granos (maíz, soja y sorgo), en medio de la cuales, se insertan los pivotes que constantemente están bajo intenso cultivo.

El ideal de desarrollo económico de la gran mayoría de los productores se puede inferir claramente, y con seguridad se trata de promover el cambio apuntado en los párrafos anteriores, sin la debida preocupación por los efectos indeseables de tal modelo de ocupación territorial.

Por la experiencia documentada en otras zonas de igual o menor intensidad de ocupación y uso del territorio (conforme hemos apuntado en el Capítulo II Antecedentes), los problemas de degradación de los recursos naturales y el comprometimiento del propio sistema productivo, acaban por demostrar la no sustentabilidad de la actividad agrícola, que al final tendrá que imponerse y promover el replanteamiento del modelo de explotación actual para que el agroecosistema siga produciendo de manera satisfactoria. En caso contrario, hay que abandonar el área y buscar otro sitio todavía no intensivamente explotado para instalarse.

Ésta última actitud desgraciadamente, es bastante común en Brasil por la gran oferta de tierras y mecanismos de apoyo gubernamental para el desarrollo de regiones deprimidas. Además, es más práctica y menos costosa, en un primer momento, que invertir en sistemas agrícolas conservacionistas. Con los ingresos de la venta de pocas hectáreas en la valorizada región de *Guaira*, se puede comprar el doble o el triple de tierras en la llamada frontera agrícola del Brasil Central.

Podríamos caracterizar ese fenómeno como la versión moderna de la agricultura itinerante practicada por los indígenas o pequeños productores tradicionales de Brasil u otras áreas tropicales, que queman un área de bosque para sembrar su maíz o yuca por dos o tres años hasta que la tierra ya no produzca lo suficiente para la tribu o familia, abandonando la tierra para su regeneración y buscando otra área propicia para reanudar el ciclo. Tal hecho, como bien apunta Dean (1996), estaba perfectamente de acuerdo con los recursos tecnológicos disponibles por esos primitivos agricultores y por la inmensidad de tierras a explotar antes de la colonización europea. Aún, en muchas zonas de Brasil, tal estrategia de supervivencia sigue siendo aplicada hoy en día, como pudimos observar en el Capítulo II Antecedentes

Puede parecer un poco exagerada la comparación, pero efectivamente tal fenómeno ocurre, y es cada vez más intenso a medida que se agota la fertilidad natural de las tierras, no por el uso del fuego, mas sí por el inadecuado uso de los recursos naturales y tecnológicos.

A continuación aportamos y discutimos los resultados obtenidos en la evaluación temporal de la adecuación de la ocupación de las tierras a las condiciones biofísicas en los dos ámbitos geográficos del estudio.

V.3. Capacidad de uso de tierras a las condiciones biofísicas

Como presentado en el capítulo anterior (Materiales y Métodos), en el Mapa de Capacidad de Uso de las Tierras elaborado por IPT (1995), las 9 clases de capacidad de uso son establecidas de acuerdo con el potencial biofísico del territorio. Tales clases, constituyen una jerarquía de usos con creciente limitación a medida que las condiciones de soporte a la actividad agrícola se muestran más severas,.

Así que, la clase de capacidad de uso I, representa el mayor espectro de usos agrícolas, mientras que la clase VI está apta solamente para pastizales o reforestación. El carácter restrictivo que define la potencialidad de uso se refiere fundamentalmente, a las condiciones de fertilidad (s) y escorrentía (e) del local, estableciendo de esa manera, las subclases de capacidad de uso ilustradas en la Tabla IV.5 (Materiales y Métodos).

Tabla V.25. Superficies de ocupación del Mapa de Capacidad de Uso de las Tierras (IPT, 1995).

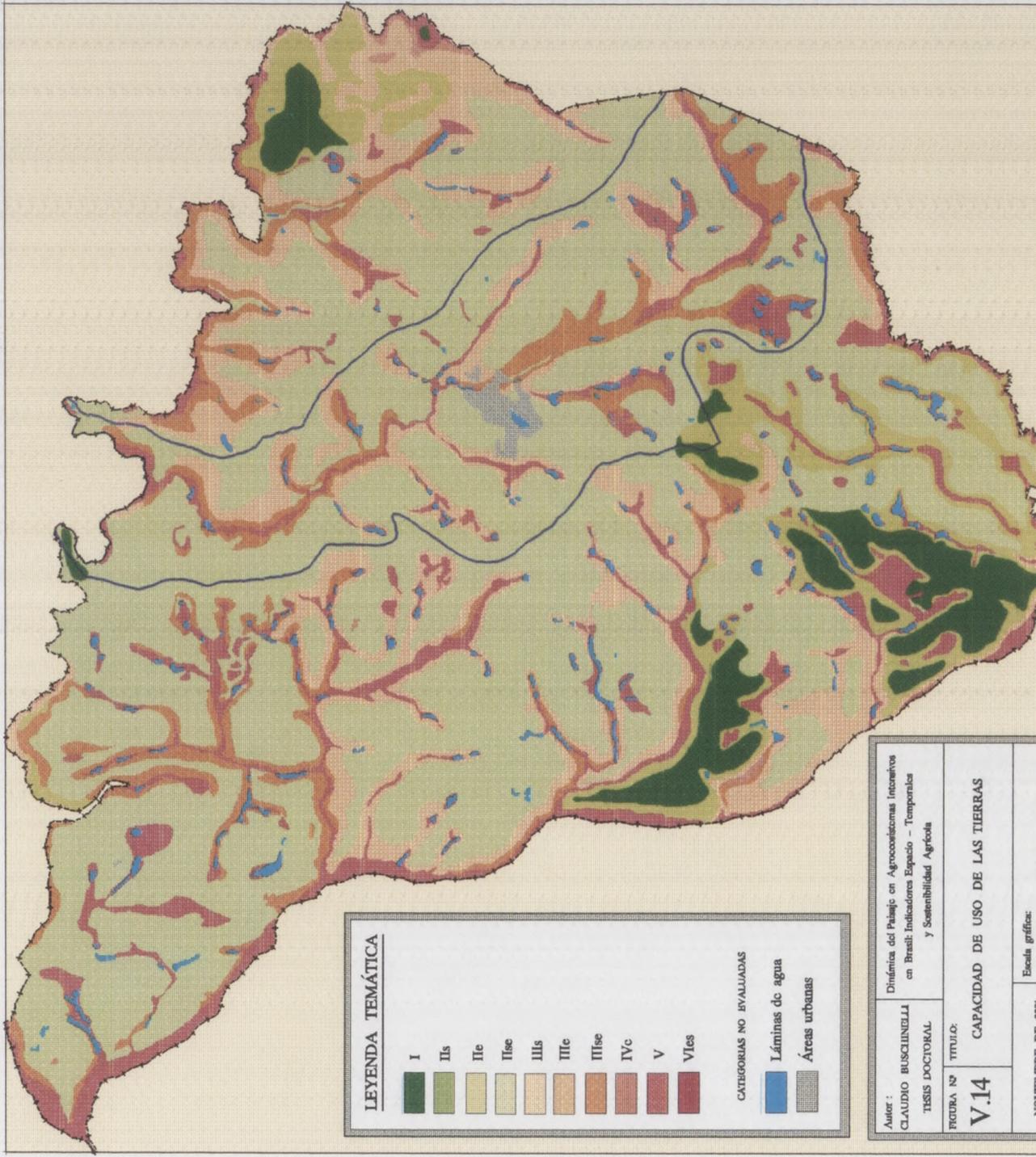
Categorías temáticas		Cuenca			Municipio		
		Nº de píxeles	Hectáreas	Porcentaje	Nº de píxeles	Hectáreas	Porcentaje
Clases de Capacidad de Uso	I	1.237	111	0,38	61.561	5.529	4,53
	II s	182.892	16.426	56,79	623.429	55.993	45,84
	II e	1.384	124	0,43	89.220	8.013	6,56
	II se	21.636	1.943	6,72	117.376	10.542	8,63
	III s	40.249	3.615	12,50	168.692	15.151	12,40
	III e	495	44	0,15	26.549	2.384	1,95
	III es	9.769	877	3,03	35.621	3.199	2,62
	III se	22.774	2.045	7,07	60.254	5.412	4,43
	IV e	140	13	0,04	3.288	295	0,24
	V	29.197	2.622	9,07	144.481	12.976	10,62
	VI es	-	-	-	540	49	0,04
No evaluadas	L. de agua	5.926	532	1,84	22.680	2.037	1,67
	Á. urbanas	6.364	572	1,98	6.421	577	0,47
Total – Categorías		322.063	28.926	100	1.360.112	122.157	100
Fondo		466.730	41.919	-	1.179.688	105.953	-
Total general		788.793	70.845	-	2.539.800	228.110	-

Notas: Valores referentes al polígono de 1091 líneas y 723 columnas que enmarca la cuenca, y al polígono de 1530 líneas y 1660 columnas que enmarca la totalidad del municipio.

La Figura V.14, recoge la distribución espacial de las clases de capacidad de uso, y la Tabla V.25, sus respectivas superficies de ocupación. Esos resultados se refieren al mapa original de IPT (1995), lo cual digitalizamos y procedemos a los tratamientos necesarios para su utilización como referencia en el estudio de conflictos de ocupación en los distintos ámbitos evaluados.

De los datos presentados, cabe subrayar que el Municipio de *Guaira* como un todo se presenta con un gran potencial de tierras aptas para la agricultura intensiva. Pocas áreas tienen limitaciones severas, debido a problemas de fertilidad de los suelos, a una ligera pendiente que podría significar riesgos de erosión hídrica, o a la combinación de los dos factores. Esos datos confirman lo que hemos afirmado anteriormente al grado de desarrollo agrícola de la región del entorno de *Guaira*, y de su elección por parte de instituciones gubernamentales para la implantación de infraestructuras adecuadas a la agricultura de riego.

MUNICIPIO DE GUAÍRA



LEYENDA TEMÁTICA

I	IIa	IIe	IIse	IIIa	IIIe	IIIse	IVc	V	Vies
---	-----	-----	------	------	------	-------	-----	---	------

CATEGORÍAS NO EVALUADAS

Área de agua	Áreas urbanas
--------------	---------------

Autor :
CLAUDIO BUSCHINELLI
 TESIS DOCTORAL
 Dinámica del Paisaje en Agroecosistemas Interactivos
 en Brasil: Indicadores Espacio - Temporales
 y Sostenibilidad Agrícola

FIGURA Nº
V.14
 TÍTULO:
CAPACIDAD DE USO DE LAS TIERRAS

Escala gráfica:

De hecho, menos del 11% (cerca de 13.000 Ha) del territorio municipal son tierras con elevada limitación a la agricultura (clases V - Pastizales o reforestación, sin riesgo de erosión, pero con problemas de encharcamiento del suelo; y VI - Pastizales con uso moderado o reforestación, serios problemas de erosión y fertilidad), estando principalmente localizadas en las vegas de los ríos y corresponden a las "várzeas". En la cuenca, estas mismas clases ocupan unos 2.600 hectáreas (9%), siguiendo la misma tendencia presentada en el municipio, como se puede observar en la Figura V.14.

La clase IV (Cultivos perennes de limitada extensión, serios problemas de erosión hídrica), ocupa solamente 49 Ha del Municipio de *Guaira* y se presenta dispersa en su porción norte, siendo casi imperceptible en la Figura V.14. Tal clase no ocurre en la Cuenca del *Ribeirão Jardim*.

La siguiente clase con impedimentos a la actividad agrícola (III – Cultivos anuales intensivos, problemas complejos de fertilidad y/o erosión hídrica) ocupa en conjunto cerca del 22% tanto de la cuenca como del municipio, estando en las dos situaciones, formada principalmente por la subclase IIIs, que presenta problemas complejos de fertilidad de los suelos, (exactamente por situarse en las zonas topográficamente más baja y sujetas a frecuentes encharcamiento, las "várzeas").

De todas las clases de capacidad de uso, la que mayor extensión ocupa es la clase II (Cultivos anuales intensivos, problemas simples de fertilidad y erosión hídrica), que en su conjunto se establece en cerca del 1/3 del territorio del municipio y de la cuenca (Tabla V.25). La subclase de mayor importancia es la que presenta limitaciones a la fertilidad de los suelos (IIs), %, extendiéndose por las áreas de los interfluvios y delimitadas por la clase III, conforme se puede constatar en la Figura V.14.

Finalmente se observa que las tierras que no presentan ningún tipo de restricciones, clase I, no llegan a ser significativas en superficie en la cuenca, por ocupar solamente unas 111 Ha, estando situadas en su extremo noroeste y sudoeste (Figura V.14). Por otra parte, en el ámbito del municipio, éstas tierras representan cerca del 4,5% del territorio (5.500 Ha), estando situados principalmente en la porción sudoeste y nordeste del territorio municipal.

A continuación, presentamos y discutimos los resultados obtenidos en la evaluación multitemporal de la adecuación de ocupación del territorio en los distintos ámbitos estudiados.

V.4. Dinámica de la adecuación de la ocupación de las tierras a las condiciones biofísicas

Como una medida indirecta de la sostenibilidad agrícola del área de estudio, buscamos identificar el grado de adecuación de la ocupación de las tierras en las tres fechas y en los dos ámbitos geográficos, teniendo como base el mapa de la capacidad de uso, antes mencionado.

Inicialmente, presentamos y discutimos los resultados obtenidos para la Cuenca del *Ribeirão Jardim*, y posteriormente, nos ocuparemos del ámbito municipal de *Guaira*.

V.4.1. Cuenca del *Ribeirão Jardim*

En el ámbito de la cuenca hidrográfica, hemos evaluado la adecuación en la escala temporal más larga del estudio, de 1971 hasta 1998.

V.4.1.1. Adecuación de la ocupación en 1971

Los resultados generales de la evaluación, referentes al año 1971, son presentados en el Mapa 10 y en la Tabla V.26.

Antes de comentar los resultados, nos parece oportuno hacer algunas aclaraciones de los criterios utilizados para la reclasificación de las combinaciones de la tabulación cruzada (Tabla V.26). En ese procedimiento, se tubo en cuenta el grado de adecuación de la ocupación a la recomendación expresada, para cada una de las clases y subclases, en el Mapa de Capacidad de Uso (Tabla IV.5, Capítulo IV. Materiales y Métodos), además de criterios subjetivos, considerando una estrategia más conservacionista que productivista y, por supuesto, el conocimiento de los principales sistemas de producción del área de estudio.

Algunas combinaciones son de fácil clasificación (Tabla V.26) como, por ejemplo, la coincidencia de la ocupación por *várzeas* en 1971 con la clase V de capacidad de uso (recomendada para pastizales y reforestación – Tabla IV.5, Materiales y Métodos). Esta combinación fue reclasificada como ausente entre las categorías de conflictos (Tabla V.26).

Otras combinaciones presentan algunas complicaciones a la hora de reclasificarlas. Por ejemplo, el caso de la combinación de pastizales con la clase V de capacidad de uso, lo consideramos como grado moderado de conflicto, a pesar de la coincidencia aparente entre ocupación y clase de capacidad de uso. Para tomar esta decisión nos guiamos por la ubicación de la clase V (en las áreas cercanas a los ríos, las *várzeas*) y por la elevada

rotación entre los cultivos intensivos y pastizales, conforme hemos comentado anteriormente, así como por el hecho de que las áreas de pastizales reciben frecuentes tratamientos agrícolas -labranza, quema y aplicación de abonos-, tratándose, pues, de parcelas de uso temporalmente dinámico y de manejo relativamente intensivo, ubicadas en áreas ecológicamente frágiles. Otro ejemplo, al cual valen los mismos comentarios, es la combinación de pastizales con la clase III de capacidad de uso, menos restrictiva en términos de uso por aceptar cultivos intensivos, pero con problemas complejos de escorrentía y fertilidad de los suelos; de tal manera que, igualmente, la consideramos como grado moderado de conflicto de ocupación.

En lo que se refiere a los resultados de la evaluación de la adecuación de ocupación de la Cuenca Hidrográfica del *Ribeirão Jardim* en 1971 (Mapa 10 y Tabla V.26), a pesar de que la actividad agrícola estaba relativamente diseminada en la zona, se puede notar que, en general, no había grandes problemas relativos a la inadecuada ocupación de las tierras, o en otras palabras, conflictos entre la explotación agrícola y la conservación del territorio.

Tabla V.26. Superficies de las categorías del Mapa de Conflictos de Ocupación de las Tierras en la Cuenca del *Ribeirão Jardim* en 1971.

Categorías temáticas		Combinaciones (Tabulación cruzada)*			Mapa Final (Reclasificación)	
		Ocupación 1971	Capacidad de uso	Subtotal	Hectáreas	Porcentaje
Conflictos de ocupación	Ausente	pastizal	IIs	5.912	11.475	39,67
		várzea	V	1.873		
		bosque	IIs	1.810		
	Ligero	cultivos de secano	IIs	8.537	9.690	33,50
		pastizal	IIse	1.100		
	Moderado	cultivos de secano	IIIs	1.900	6.366	22,01
		pastizal	IIIs	1.207		
		pastizal	IIIse	1.181		
		cultivos de secano	IIIse	1.043		
		cultivos de secano	IIse	555		
Elevado	cultivos de secano	V	237	237	0,82	
Categorías no evaluadas	L. de agua	-	-	-	571	1,98
	Á. urbanas	-	-	-	586	2,03
Total - Cuenca		-	-	-	28.926	100
Fondo		-	-	-	41.919	-
Total		-	-	-	70.845	-

Nota: * En las columnas de la tabulación cruzada presentamos solamente las principales combinaciones registradas, lo que explica la no coincidencia de valores entre los subtotales y el total de cada una de las categorías de conflicto de ocupación.

Para los mapas de conflictos de ocupación, definimos una paleta de color que partiendo del verde intenso (ausencia de conflicto) va creciendo hasta alcanzar el tono

naranja intenso, que representa la categoría de elevado conflicto de ocupación del territorio.

Visualmente se observa el predominio del color verde, donde la ausencia de conflictos representa cerca del 40% de la cuenca o 11.475 Ha (Tabla V.26). Si la desglosamos, vamos a encontrar un fuerte predominio de la combinación de las parcelas de pastoreo y la clase de capacidad de uso IIs, que se refiere a las tierras de cultivos intensivos con problemas simples de erosión, sumando poco más de 5.900 hectáreas.

Otras combinaciones dentro de esta categoría –ausencia de conflictos– son las *várzeas* con la clase V (recomendada para pastizales o reforestación, sin riesgo de erosión, pero con problemas de encharcamiento del suelo) y los bosques con la clase IIs, que ocupan cerca de 1.800 hectáreas cada una. Es importante destacar que la correspondencia entre tierras de cultivo de secano y la clase I del mapa de capacidad de uso, solamente ocurrió en una única combinación, con una superficie muy pequeña (37 Ha). Las demás combinaciones casi siempre abarcaron tierras de bosques o de *várzeas*, coincidiendo con zonas de capacidad restringida de uso, no representando problemas de inadecuación de ocupación por su uso poco intensivo como comentamos anteriormente.

La siguiente categoría temática, en importancia territorial, se refiere al grado de ligero conflicto de ocupación, la cual ocupa unas 9.700 hectáreas. En el Mapa 10, se la visualiza en el color verde amarillento, ocupando preferentemente la porción centro sur de la cuenca. Tal categoría está formada, casi exclusivamente, por la combinación de los cultivos de secano y la clase IIs, ya que comprende el 88% del total de las áreas de ligero conflicto. El carácter de grado ligero se debe a los problemas de fertilidad de los suelos que la componen, donde la asociación de elevada acidez y reducida disponibilidad de nutrientes limitan usos agrícolas más intensivos.

Otra combinación incluida en esa categoría temática, con cerca de 1.100 hectáreas, está formada por pastizales instalados en tierras de la clase IIse, siendo el factor limitante un poco más severo, por incluir, además de los problemas de fertilidad, la potencial erosión hídrica de los suelos; este hecho nos puede indicar su ubicación en las tierras de mayor pendiente.

En el caso de la categoría temática de moderado conflicto de ocupación, que ocupa cerca de 6.400 hectáreas (Tabla V.26), observamos la existencia de una cierta semejanza en la proporción de ocupación de las combinaciones temáticas, involucrando tanto los cultivos de secano como los pastizales, pero siempre implantados sobre las clases IIIs y IIIse. En este caso, se intensifican los problemas de fertilidad y erosión de los suelos, hecho que capacita a las tierras para cultivos temporales con necesidad de adoptar técnicas más complejas de conservación del suelo. Desde el punto de vista de su disposición espacial, ya se observa una mayor vinculación con la red de drenaje, estando

así, preferentemente localizada a lo largo de los ríos (en color amarillo en el Mapa 10).

Finalmente, las áreas que presentaron elevado grado de conflicto, son muy poco representativas en 1971 por ocupar tan solo 240 Ha. Se las representa en el Mapa 10 en color naranja, estando localizadas principalmente en la porción sur de la cuenca, más exactamente en las cercanías de los ríos y en el límite entre las clases de conflictos moderado y ausente. Está compuesta exclusivamente por los cultivos de secano instalados en la clase V, donde la limitación se refiere principalmente a los problemas de inundación y escaso drenaje, características de los suelos aluviales, y de ahí, su localización determinada por este rasgo paisajístico.

Podemos resumir que la Cuenca del *Ribeirão Jardim*, al principio de la década de los 70, presentaba un modelo de desarrollo agrícola sostenido bajo el que se apreciaba una elevada adecuación entre la ocupación agrícola y la capacidad biofísica del territorio, habiendo solamente algunas pocas áreas con serios problemas potenciales de degradación de los suelos por el riesgo de erosión y la consecuente depreciación de los recursos hídricos anexos a estas áreas.

V.4.1.2. Adecuación de la ocupación en 1988

Los resultados de la evaluación en el año 1988, están representados en el Mapa 11 y en la Tabla V.27.

Nos parece oportuno recordar que el trabajo se realizó en dos ámbitos geográficos distintos, la Cuenca Hidrográfica del *Ribeirão Jardim* y el Municipio de *Guaira*. Para el ámbito de la cuenca, la fecha de inicio fue el año de 1971, resultados que acabamos de discutir en el ítem anterior. Para el ámbito del municipio, la fecha de inicio de evaluación fue 1988, siendo la fecha final el año 1998 en las dos situaciones.

Tal aclaración es importante, pues los mapas referentes al ámbito de la cuenca hidrográfica (Mapas 11 y 12), están enmarcados por una línea que recorre su límite dentro del ámbito del Municipio de Guaira.

Así que, en el Mapa 11 se pueden observar cambios importantes con relación a la fecha anterior, tanto en la proporción relativa de las categorías temáticas, como en su disposición espacial. Llama la atención que el predominio del color verde intenso del mapa de 1971 ya no ocurre en 1988, estando éste ahora mucho más fragmentado y disperso entre la categoría de ligero conflicto, representado en tono verde amarillento.

De hecho, las tierras con adecuada ocupación se han reducido significativamente, representando solamente un 12% de la cuenca o cerca de 3.400 Ha. Se refieren principalmente a las superficies de la clase IIs ocupadas por pastizales, que ocupan unas 2.100 hectáreas, y en menor proporción por la presencia de bosques, independientemente

de la clase de capacidad de uso presente. La morfología es variable en el mapa, compacta en algunas zonas y dispersa en otras, entremezcladas principalmente con las áreas de ligero conflicto.

Tabla V.27. Superficies de las categorías del Mapa de Conflictos de Ocupación de las Tierras en la Cuenca del *Ribeirão Jardim* en 1988.

Categorías temáticas		Combinaciones (Tabulación cruzada)*			Mapa Final (Reclasificación)	
		Ocupación 1988	Capacidad de uso	Subtotal	Hectáreas	Porcentaje
Conflictos de ocupación	Ausente	pastizal	IIs	2.104	3.388	11,71
		bosque	V	523		
		bosque	IIs	305		
	Ligero	cultivos indiferenciados	IIs	11.091	14.118	48,81
		caña de azúcar	IIs	799		
		cultivos de regadío	IIs	1.765		
		pastizal	IIse	348		
	Moderado	cultivos indiferenciados	IIIIs	2.622	8.229	28,45
		cultivos indiferenciados	IIIse	1.667		
		cultivos indiferenciados	IIse	1.306		
		pastizal	IIIIs	596		
		pastizal	IIIse	517		
		pastizal	V	503		
	Elevado	caña de azúcar	IIIse	429	1.666	5,76
		cultivos indiferenciados	V	1.514		
Categorías no evaluadas	L. de agua	-	-	-	681	2,36
	Á. urbanas	-	-	-	622	2,15
<i>Sin clasificar</i>		-	-	-	222	0,77
Total – Cuenca		-	-	-	28.926	100
<i>Fondo</i>		-	-	-	41.919	-
Total		-	-	-	70.845	-

Nota: * En las columnas de la tabulación cruzada presentamos solamente las principales combinaciones registradas, lo que explica la no coincidencia de valores entre los subtotales y el total de cada una de las categorías de conflicto de ocupación.

De manera inversa a la que acabamos de comentar, las áreas de conflicto ligero de ocupación aumentaron bastante, pasando a ocupar cerca del 49% del total y transformándose en la categoría dominante de la cuenca, como se puede notar en el Mapa 11. Ocupan las zonas más elevadas y congregan aquellas parcelas de tierras caracterizadas por la clase II, ocupadas por cultivos intensivos. A pesar de la adecuación en cuanto a la presencia de cultivos anuales, existen limitaciones relativas a los factores de erosión y fertilidad, considerados simples desde un punto de vista agronómico, aunque podrían significar riesgos ligeros de explotación intensiva de los recursos.

Las áreas de grado moderado de conflicto también experimentaron un ligero aumento en la cuenca, pasando a representar el 28,5% del total. Corresponden a las zonas de la clase III en general, ocupadas por cultivos intensivos, y coinciden con las tierras un poco más elevadas que las *várzeas*, como se puede observar en el Mapa 11. Los impedimentos están relacionados con problemas complejos de fertilidad de los suelos, riesgos de erosión y los dos factores a la vez. Lo consideramos como un conflicto moderado por la posibilidad de solucionarse los problemas con técnicas modernas de conservación de los suelos, como por ejemplo la siembra directa, laboreo mínimo y rotación de cultivos (gramíneas – leguminosas).

En lo que se refiere a las tierras con elevado grado de conflicto, observamos un brutal aumento en comparación al año 1971, ya que totalizan unas 1.670 Ha (cerca del 6%) cuando anteriormente ocupaban solamente el 0,82% (Tabla V.26). Son áreas de agricultura intensiva dominadas por cultivos indiferenciados y, en menor proporción, por caña de azúcar y regadío, coincidiendo con la clase V, que presenta impedimentos a los cultivos intensivos por problemas relativos al encharcamiento del suelo. De ahí, su ubicación mayoritaria en las zonas cercanas a las *várzeas*, como se puede comprobar en el Mapa 11.

V.4.1.3. Adecuación de la ocupación en 1998

La evaluación en el ámbito de la Cuenca del *Ribeirão Jardim* en 1998, está representada en el Mapa 12 y sus superficies de ocupación son presentadas en la Tabla V.28.

Observamos aquí, la misma proporción de los grados de conflictos de ocupación descritas en la evaluación del año 1988. La diferencia que se puede destacar es una pequeña disminución de las superficies con grado de conflicto elevado, pasando del 5,76% (1.666 Ha) en 1988 al 4,70% (1.360 Ha) en el año 1998.

Así que, observamos en el periodo de 27 años, que las tierras de la cuenca hidrográfica del *Ribeirão Jardim* han experimentado un cambio importante y, desafortunadamente, bastante negativo en lo que se refiere a la idoneidad de su ocupación.

Inicialmente, predominaba una configuración espacial de completa ausencia de conflictos, o cuando esos ocurrían, había una gran proporción de su grado ligero. Pero, en tiempos más recientes, observamos un aumento muy pronunciado de las clases de moderado y elevado conflictos de ocupación, y consecuentemente una igualmente marcada reducción de las tierras con adecuada ocupación.

No obstante, de un análisis temporal comparativo se deduce que el momento de

máxima intensidad de uso y, de forma paralela, de menor sostenibilidad agropecuaria ha sido el año 1988. En la última década se ha suavizado, solo ligeramente, la presión sobre los recursos naturales.

Tabla V.28. Superficies de las categorías del Mapa de Conflictos de Ocupación de las Tierras en la Cuenca del *Ribeirão Jardim* en 1988.

Categorías temáticas		Combinaciones (Tabulación cruzada)*			Mapa Final (Reclasificación)	
		Ocupación 1988	Capacidad de uso	Subtotal	Hectáreas	Porcentaje
Conflictos de ocupación	Ausente	pastizal	IIs	1.947	3.391	11,72
		bosque	IIs	539		
		bosque	V	373		
		bosque	IIIse	185		
	Ligero	cultivos de regadío	IIs	10.244	13.954	48,24
		pastizal	IIse	2.817		
		caña de azúcar	IIs	575		
		cultivos indiferenciados	Ile	204		
	Moderado	cultivos indiferenciados	IIIs	2.194	8.328	28,79
		cultivos indiferenciados	IIIse	1.497		
		cultivos indiferenciados	IIse	1.233		
		pastizal	V	675		
	Elevado	cultivos indiferenciados	V	1.191	1.360	4,70
caña de azúcar		V	132			
Categorías no evaluadas	L. de agua	-	-	-	692	2,39
	Á. urbanas	-	-	-	705	2,44
<i>Sin clasificar</i>		-	-	-	496	1,72
Total - Cuenca		-	-	-	28.926	100
<i>Fondo</i>		-	-	-	41.919	-
<i>Total</i>		-	-	-	70.845	-

Nota: * En las columnas de la tabulación cruzada presentamos solamente las principales combinaciones registradas, lo que explica la no coincidencia de valores entre los subtotales y el total de cada una de las categorías de conflicto de ocupación.

V.4.2. Municipio de *Guaira*

A continuación se analizan las evaluaciones desarrolladas para el territorio del término municipal de *Guaira* en el periodo de 1988 y 1998.

V.4.2.1. Adecuación de la ocupación en 1988

Como se puede comprobar en el Mapa 11 y en la Tabla V.29, los resultados obtenidos para todo el municipio en 1988, siguen en general, una tendencia similar a la

observada en la cuenca, para la referida fecha.

La representación espacial de los resultados demuestra un claro predominio del color verde amarillento, asignado al grado ligero de conflictos, dispuesto principalmente en los interfluvios y envolviendo a las demás categorías temáticas. Y de hecho, tal categoría ocupa cerca de 56.500 Ha (Tabla V.29). Congrega, en gran parte, los cultivos indiferenciados y caña de azúcar localizados en tierras de la clase IIs, seguida por los cultivos indiferenciados instalados sobre la clase IIe. Como hemos mencionado anteriormente, la clase II se refiere a impedimentos suaves a los cultivos intensivos debido a problemas simples de fertilidad y de erosión de los suelos.

La siguiente clase en importancia territorial, ocupando poco más de 35.000 hectáreas, se refiere al grado moderado de conflictos. La asignamos el color amarillo y se dispone en los bordes de los ríos, como manchas de mayor o menor anchura, dependiendo de los factores limitantes ya comentados. Esta categoría está compuesta principalmente por los cultivos indiferenciados que coinciden con distintas clases de capacidad de uso, pero con cierto predominio de la IIIs y en menor grado con la IIse.

Ubicada en general en los interfluvios, vamos a encontrar la categoría con ausencia de conflictos. La dibujamos en el color verde intenso y comprende cerca de 17.600 hectáreas. Preséntase, en algunas zonas, bastante fragmentada y, en otras, formando extensas manchas compactas. Existe una mayor concentración en los sectores sudoeste y noroeste del municipio, aunque también se observa una importante mancha de esta categoría en el extremo nordeste del municipio. Contempla principalmente los pastizales y bosques instalados en la clase IIs y, en menor grado, los cultivos indiferenciados y caña de azúcar implantados en la clase I.

En lo que se refiere a la categoría de mayor inadecuación, o con grado elevado de conflictos, la visualizamos en color naranja intenso y su ubicación está influenciada, en general, por la red de drenaje superficial. Así que la vamos a encontrar espacialmente, casi siempre, rodeada por la categoría de moderado conflicto y más próxima a los ríos, formando manchas fragmentadas de menor tamaño, pero en algunos casos con superficies importantes, como la que vemos en el sudoeste de la zona de estudio. En total, esa categoría ocupa cerca de 8.600 Ha, estando básicamente compuesta por los cultivos indiferenciados sobre la clase V de capacidad de uso.

Por los valores porcentuales de las categorías temáticas de los conflictos de ocupación (Tabla V.29), se pueden notar semejanzas y diferencias respecto a los obtenidos en el estudio de la cuenca (Tabla V.27).

La semejanza entre los dos ámbitos se caracteriza en la categoría con grado moderado de conflicto, con valores cercanos al 28%. Por otro lado, se observan proporciones distintas en las demás categorías, algunas con valores mayores en el término

municipal que en la cuenca, como en las de grado elevado (7,1% y 5,8%, respectivamente) y con ausencia de conflictos (14,4% y 11,7%, respectivamente); mientras que, para el caso del ligero grado de conflicto, su representatividad en el término municipal es poco menor que en la cuenca, 46,2% y 48,8%, respectivamente.

Tabla V.29. Superficies de las categorías del Mapa de Conflictos de Ocupación de las Tierras en el Municipio de *Guaira* en 1988.

Categorías temáticas		Combinaciones (Tabulación cruzada)*			Mapa Final (Reclasificación)	
		Ocupación 1988	Capacidad de uso	Subtotal	Hectáreas	Porcentaje
Conflictos de ocupación	Ausente	pastizal	IIs	7.471	17.581	14,39
		cultivos indiferenciados	I	3.116		
		caña de azúcar	I	1.830		
		bosque	IIs	1.534		
	Ligero	cultivos indiferenciados	IIs	39.056	56.493	46,25
		caña de azúcar	IIs	5.206		
		cultivos indiferenciados	Ile	4.765		
		cultivos de regadío	IIs	2.508		
	Moderado	cultivos indiferenciados	IIIs	11.158	35.075	28,71
		cultivos indiferenciados	IIse	6.812		
		cultivos indiferenciados	IIIse	5.519		
		pastizal	V	2.386		
	Elevado	cultivos indiferenciados	V	7.813	8.625	7,06
		caña de azúcar	V	261		
		cultivos de regadío	V	251		
	Categorías no evaluadas	L. de agua	-	-	-	3.074
Á. urbanas		-	-	-	626	0,51
<i>Sin clasificar</i>		-	-	-	683	0,56
Total – Municipio		-	-	-	122.157	100
<i>Fondo</i>		-	-	-	105.953	-
Total		-	-	-	228.110	-

Nota: * En las columnas de la tabulación cruzada presentamos solamente las principales combinaciones registradas, lo que explica la no coincidencia de valores entre los subtotales y el total de cada una de las categorías de conflicto de ocupación.

Hay que destacar que, en el Mapa de Capacidad de Uso de las Tierras del municipio, aparece una categoría temática que no ocurría en la cuenca; se trata de la clase Vles, con pequeña superficie de ocupación, pero importante por ser bastante restrictiva en su potencial de uso agrícola (Tabla IV.5, Capítulo IV. Materiales y Métodos).

Por los datos obtenidos en 1988 para el Municipio de *Guaira* (Tabla V.29),

podemos comprobar, en líneas generales, que las afirmaciones de IPT (1995)¹ son un poco distintas respecto a los valores de nuestro estudio, si bien sus datos se refieren al año 1992. Además, pudieron utilizar otros criterios de consideración en cuanto a la reclasificación derivada de la tabulación cruzada entre ocupación del suelo y capacidad de uso de las tierras.

Por ejemplo, tratándose de áreas con un potencial de uso intensivo, una zona que estuviera ocupada por alguna cubierta menos intensiva, podría considerarse como una sub-explotación del recurso y, así, caracterizar un conflicto de uso. Se trata de un criterio mucho más productivista que conservacionista y no vamos a discutir la adecuación o no del criterio utilizado por IPT (1995) en su momento; nosotros ahora seguimos una consideración más centrada en criterios conservacionistas.

En nuestra evaluación, las tierras con elevado conflicto totalizaron unas 8.600 Ha (cerca del 7%), coincidiendo con la clase V y cultivos intensivos. Son áreas de agricultura intensiva dominada por cultivos indiferenciados y, en menor proporción, por regadío y caña de azúcar. Geográficamente están localizadas en las zonas de las vegas de los ríos, y se puede notar una mayor concentración de esa categoría en las orillas de los Ríos Pardo y Sapucaí, que enmarcan los límites del municipio. El conflicto se expresa principalmente por problemas de inadecuación de las áreas a los cultivos, pues los suelos se encuentran periódicamente encharcados y coinciden con las "várzeas", ecológicamente frágiles conforme hemos apuntado anteriormente y mucho más valiosas para la diversidad biológica.

V.4.2.2. Adecuación de la ocupación en 1998

Los resultados de la evaluación más reciente de los conflictos de ocupación de tierras en el Municipio de *Guaíra*, pueden ser visualizados en el Mapa 12 y en la Tabla V.30.

Constatamos que la categoría temática de ligero grado de conflicto sigue teniendo la mayor importancia en el municipio, ocupando cerca de 58.000 hectáreas, o el 47% del territorio municipal (Tabla V.30). De las combinaciones temáticas que la componen, la mayor superficie está compuesta por los cultivos indiferenciados y caña de azúcar presentes en la clase IIs. Están principalmente ubicadas en los interfluvios dominando las demás categorías, como se puede observar en el Mapa 12.

La categoría de grado moderado de conflicto viene en segundo puesto en área de

¹ El estudio concluye que solamente el 0,3% del área total presentaba elevado conflicto de uso, coincidiendo con las tierras de mayor pendiente bajo cultivos anuales y con riesgos de erosión hídrica de moderado a alto; el 15,4% del área representaba conflicto medio y el 84,3% presentaba conflicto bajo o ausente.

ocupación, con casi 36.000 Ha o 29% del territorio. En este caso, los cultivos indiferenciados y caña de azúcar presentes en las clases IIIse y IIse se destacan, seguidos de pastizales implantados en la clase V. Aquí los impedimentos se relacionan al potencial riesgo de erosión y baja fertilidad de los suelos, además del problema de su encharcamiento. Condiciones que la ubican preferentemente en las zonas cercanas a los ríos (Mapa 12).

Tabla V.30. Superficies de las categorías del Mapa de Conflictos de Ocupación de las Tierras en el Municipio de *Guaira* en 1998.

Categorías temáticas		Combinaciones (Tabulación cruzada)*			Mapa Final (Reclasificación)	
		Ocupación 1998	Capacidad de uso	Subtotal	Hectáreas	Porcentaje
Conflictos de ocupación	Ausente	pastizal	IIse	4.798	14.944	12,23
		caña de azúcar	I	2.926		
		cultivos indiferenciados	I	2.162		
		bosque	IIs	1.485		
		bosque	V	1.405		
	Ligero	cultivos indiferenciados	IIs	34.118	57.938	47,43
		caña de azúcar	IIs	13.018		
		cultivos indiferenciados	IIe	4.382		
		caña de azúcar	IIe	2.640		
	Moderado	cultivos indiferenciados	IIIse	9.438	35.981	29,45
		cultivos indiferenciados	IIse	6.880		
		pastizal	V	3.101		
		caña de a azúcar	IIIse	2.806		
	Elevado	cultivos indiferenciados	V	6.376	7.451	6,10
		caña de azúcar	V	712		
cultivos indiferenciados		IVe	179			
Categorías no evaluadas	L. de agua	-	-	-	2.901	2,37
	Á. urbanas	-	-	-	711	0,58
<i>Sin clasificar</i>		-	-	-	2.232	1,83
Total – Municipio		-	-	-	122.157	100
<i>Fondo</i>		-	-	-	105.953	-
Total		-	-	-	228.110	-

Nota: * En las columnas de la tabulación cruzada presentamos solamente las principales combinaciones registradas, lo que explica la no coincidencia de valores entre los subtotales y el total de cada una de las categorías de conflicto de ocupación.

Un área algo menor de 15.000 hectáreas, presenta completa ausencia de conflictos de ocupación, lo que equivale al 12% del total municipal. Su conformación espacial es bastante variada tanto en tamaño como en la ubicación pero, en general, se observa una

mayor concentración de las grandes manchas en el sudoeste y nordeste del territorio municipal, mientras que las menores y más dispersas, están ubicadas en la porción central y noroeste del área de estudio (Mapa 12).

Las áreas con elevado grado de conflictos suman cerca de 7.500 hectáreas, estando formada casi exclusivamente por los cultivos indiferenciados presentes en tierras de la clase V, que son bastante ineptas para esos cultivos intensivos. En lo que se refiere su conformación espacial, observamos una variada disposición y formato de las manchas, que se presentan en tamaños pequeños y dispersas, en el interior de la categoría de moderado conflicto y así, cercanas a los ríos, o en manchas mayores, como las visualizadas en la porción sudoeste del municipio, como se puede comprobar en el Mapa 12.

Esos datos en conjunto, no difieren mucho de la evaluación del año 1988 en el ámbito del municipio, lo que implica que las condiciones de ocupación son relativamente semejantes, como lo hemos comentado anteriormente. De todas maneras, constatamos una disminución territorial de las categorías extremas de nuestra leyenda temática -ausencia de conflictos y elevado grado de conflictos-; mientras que las categorías intermedias -ligero y moderado grado de conflictos- se han incrementado ligeramente.

En resumen, podemos afirmar que el año de mayor idoneidad en la ocupación del territorio fue 1971. A pesar de que nuestra evaluación, para ésta fecha, se refiere tan sólo al ámbito de la Cuenca Hidrográfica del *Ribeirão Jardim*, podemos extrapolar tal resultado para todo el municipio, ya que en prácticamente todas evaluaciones de los años 1988 y 1998 los resultados obtenidos son similares en los dos ámbitos geográficos.

Los cambios de ocupación más importantes, y por consiguiente, de su idoneidad a las condiciones biofísicas del territorio, ocurren entre los años 1971 y 1988, periodo en que los sistemas de riego se instalan en *Guaira* como consecuencia natural de su elevado potencial para la actividad agrícola intensiva.

En el estudio de las tendencias de los cambios en éste periodo, observamos un elevado y predominante dinamismo en la ocupación de las tierras, frente aquellas superficies que premanecieron estables. Además, tal dinamismo, está fuertemente caracterizado por la intensificación en la ocupación. Muy pocas áreas presentaron la tendencia de extensificación y, entre éstas, los cambios con destino a pastizales predominan en extensión territorial las demás categorías extensivas (bosques y láminas de agua).

Al comparar esos resultados con el periodo más reciente de nuestra evaluación multitemporal (1988 y 1998), constatamos que la intensificación de la ocupación sigue teniendo gran protagonismo en la distribución de la ocupación del territorio municipal. No obstante, observamos un aumento relativo de las categorías estables. Tal resultado, a

principio, puede inducir a la idea de que la presión antrópica sobre el territorio se ha disminuido; pero, hay que tener en cuenta, que la estabilidad de ocupación es fuertemente dominada, todavía, por actividades agrícolas intensivas, principalmente los cultivos indiferenciados y caña de azúcar.

Tal patrón de cambios de ocupación de las tierras, es seguido por la dinámica de su idoneidad. Cuando en principio, se observa una mayor adecuación de la ocupación, con muy pocas áreas presentando elevado grado de conflictos (cerca de 240 Ha). Mientras que, en 1988 constatamos un aumento de todas las categorías de nuestra escala cualitativa, con excepción de la ausencia de conflictos, que ha disminuido en el periodo. Es sorprendente el incremento de las áreas con elevado conflicto, ya que ocupan en 1988 cerca de 1.700 Ha del territorio de la cuenca.

En 1998, los resultados para el ámbito municipal son similares a los de 1988, con una ligera disminución de las áreas con ausencia de conflictos y de elevado grado de conflictos, mientras que las categorías de grado ligero y moderado se han aumentado.

Nuestros resultados son importantes en si propios, pero si los contemplamos desde una perspectiva paralela e integrada a otros estudios realizados en *Guaíra*, importantes elementos son añadidos para el mejor entendimiento del entorno de *Guaíra*, su inserción el marco de la sostenibilidad de los agroecosistemas y a las conclusiones a que llegamos en nuestra evaluación. Así que, antes de presentar el capítulo final de la Tesis Doctoral, nos parece oportuno comentar los principales resultados de esos trabajos.

V.5. Resultados de otros estudios desarrollados en la zona

Los signos del problema ambiental se expresan de diferentes maneras e intensidades.

Al nivel local, se observa la pérdida de fertilidad y la contaminación química y/o biológica de los suelos intensamente regados, como consecuencia del inadecuado uso de los insumos y técnicas de cultivo que, por la combinación de un exceso de riego, fertilización y monocultivo, acaban por favorecer la proliferación de hongos fitopatógenos que impiden la continuidad del cultivo de uno de los principales productos del área, las alubias, además de reducir la productividad de otros cultivos en general (Frighetto et al., 1998; Valarini et al., 1996).

A nivel un poco más amplio, se observan distintos problemas como consecuencia del inadecuado uso de los recursos y de las técnicas de cultivo. Destacaremos algunos resultados de los proyectos de Embrapa relativos al tema.

Fue detectada, en algunas propiedades de *Guaíra*, la contaminación de alimentos

(tomate para industria) por el fungicida mancozeb (cuyo producto de degradación es cancerígeno) en grado superior al permitido por la OMS (Embrapa, 1999; Zavatti y Abakerli, 1999). La contaminación de las aguas superficiales y del acuífero por plaguicidas fue considerada poco importante en el área (Spadoto et al., 1998), a excepción de un evento esporádico, en el que se cuantificaron en un riachuelo valores superiores a los permitidos en las aguas de varios productos (clorotalonil, endosulfan, captan, diclorobenceno), probablemente debido al lavado de los equipos de (Embrapa, 1999).

Un problema relacionado con los plaguicidas, no sólo restringido al área sino desgraciadamente de amplia magnitud, se refiere a la eficiencia de la aplicación de los equipos. Se trata de un problema técnico, no muy divulgado pero de gran peligro, pues se constató que en aplicaciones normales en alubias y tomate, solamente el 30% del producto quedó retenido en las plantas, el 17% fue para el suelo y el 53% dispersado en la atmósfera (Chaim et al., 1999).

En términos de la dinámica de ocupación de las tierras, la evaluación se refiere a la casi total pérdida de la vegetación boscosa natural en algunas de las microcuencas analizadas frente al avance de las áreas agrícolas, donde los cultivos anuales y la caña de azúcar presentaron la mayor proporción de ocupación (Embrapa, 1999; Miranda et al., 1994).

Esa tendencia de ocupación, donde el sistema de cultivo de granos y hortalizas tradicional de Guáira, aunque intensivo pero en cierta forma diversificado, acaba por ceder espacio a la caña de azúcar, nos parece bastante preocupante. Se trata de un sistema todavía más intensivo en uso de maquinaria, fertilizantes y plaguicidas, con consecuencias indirectas más severas para el medio ambiente regional cuando se considera que en su ciclo de producción y procesamiento están involucradas distintas fases y formas de afección, relativas tanto a la mano de obra y vertidos líquidos, como a la forma de cosecha. Debido a la importancia relativa del cultivo de la caña de azúcar en el área de estudio, dedicaremos algunos párrafos al tema.

En lo que se refiere a los trabajadores reclutados para la cosecha de la caña, necesariamente no tienen que estar tan especializados como los empleados en otros cultivos como el tomate o algodón, hecho que ha caracterizado a *Guáira* como un polo receptor periódico de mano de obra mejor pagada para esta actividad (Casa da Agricultura de *Guáira*, comunicación personal). Por el contrario, la mano de obra empleada en los cultivos de caña debe ser sobretodo resistente, pues las condiciones de trabajo son bastantes duras. Su número es bastante superior al normalmente utilizado en otros cultivos y se concentra en cortos períodos de tiempo, promoviendo conflictos entre los trabajadores y la administración pública local y demás vecinos por la mayor demanda de servicios y recursos.

La práctica muy frecuente de la quema de los cultivos de caña antes de la cosecha, se remonta por lo menos 250 años en la tradición del "Brasil Colonial" (Dean, 1996) y es utilizada para facilitar el corte y eliminar las innumerables serpientes. Ahora está siendo paulatinamente sustituida por sistemas de cosecha más modernos y mecanizados, en consecuencia de las normativas conservacionistas (SAA, 1998), en cierta manera impuestas por la comunidad internacional, temerosa del impacto de la quema de biomasa en el efecto invernadero o calentamiento global.

Otro gran problema asociado al procesamiento de la caña para producción de alcohol, es la generación de residuos líquidos con alto poder contaminante como consecuencia de su elevada carga orgánica (CETESB, 1985; Novaes Jr et al., 1984). Se estima que para cada litro de alcohol producido, son generados de media 10 litros de vertidos, que en general son tirados a los ríos. En los últimos años, las agencias de control ambiental han impuesto fuertes sanciones económicas con base en la legislación, estimulando el aprovechamiento de esos subproductos como abono semilíquido en los propios cultivos, hecho que ha demostrado tener gran influencia en la calidad de los recursos hídricos como también en la productividad de la caña; en contrapartida, otros estudios demuestran que tal práctica puede comprometer la calidad de los acuíferos (Gloeden et al., 1991).

En definitiva, la instalación del monocultivo empresarial de la caña de azúcar en *Guaira* presenta amplios problemas de difícil resolución. Pues de un lado, se trata de una alternativa muy rentable para los productores que se encontraban con un mercado con tendencia negativa para los productos tradicionales de la región (granos y tomate industrial) debido a la competencia de otras áreas productoras, más cercanas a los centros de procesamiento, además de la reducción de la productividad de los suelos por los problemas ya comentados. Por otro lado, el sistema de producción de la caña impone impactos socioculturales y ambientales importantes.

Estos resultados confirman la preocupación sobre el futuro de los agroecosistemas del área, y porque no, de la región, ya que reflejan un sistema de producción orientado casi totalmente a la productividad inmediata, sin considerar las interdependencias de los factores ecológicos en la manutención de la capacidad productiva del sistema como un todo.

La tan buscada sostenibilidad de los sistemas productivos, como apuntamos en el Capítulo II (Antecedentes), no está concretamente presente en *Guaira*. Se podría pensar que tratándose de una región de elevada tecnificación, el nivel de conocimiento y consciencia de los productores igualmente fuera elevado. Pero, la gran mayoría de ellos no guardan el debido respeto a la tierra como un patrimonio a ser preservado en su carácter más fundamental, que es el de soportar y promover el continuo desarrollo en el tiempo de

productos necesarios para la supervivencia. Por el contrario, la miran como un objeto casi inerte que solamente debe cumplir con su papel de soportar cultivo tras cultivo y producir el máximo en el menor tiempo posible.

Los problemas relatados anteriormente son serios signos de que el agroecosistema esta cerca del colapso, y si el modelo de explotación continúa en la misma tendencia observada, los costos para su recuperación serán muy elevados, tanto desde un punto de vista ecológico, como económico y social, puesto que la sostenibilidad es un concepto integral. La productividad disminuye, las tierras se desvalorizan con el tiempo, los productores que pueden se marchan a otras zonas y aquellos que no pueden se empobrecen. Es un ciclo vicioso que se debe romper y el conocimiento y la tecnología deben auxiliar en ese reto.

Las soluciones a los problemas son complejas y de naturaleza distinta, ya que hablamos desde una faceta sociocultural, donde la concienciación de los agricultores se basa fundamentalmente en procesos más conservacionistas, integrados y duraderos, hasta la aplicación inmediata de técnicas y sistemas productivos menos intensivos en términos de abonos y plaguicidas. Lógicamente, esas acciones tienen que estar apoyadas por políticas gubernamentales de incentivos y de un adecuado planeamiento de ocupación y uso de los recursos naturales.

Tales soluciones son, en cierta manera, idealizadas y de largo plazo. Además, dependen fundamentalmente de la continuidad política y administrativa y de una razonable estabilidad económica, que sustente temporalmente las dificultades impuestas por el cambio en el modelo de explotación.

Afortunadamente algunos pocos agricultores pasaron a notar que sus tierras estaban cerca del colapso después de años de intenso uso y promovieron cambios en el sistema de producción, principalmente en la labranza de las tierras y en el sistema de cultivo, ya que la erosión y la infestación con hongos y fitopatógenos promovían demasiados problemas con la consecuente pérdida de productividad de los cultivos más importantes.

Los sistemas de labranza mínima y de siembra directa, que en los últimos años han ganado mucho espacio en Brasil y otros países del MERCOSUR (Sorenson y Montoya, 1989), se implantaron con razonable éxito en *Guaira* a principio de los años 90, principalmente entre los productores de soja y maíz (Casa da Agricultura de *Guaira*, comunicación personal). Sencillamente, el objetivo es el menor número de movimiento de maquinas agrícolas, con objeto de evitar la compactación del suelo². Otro importante resultado, además de la reducción de la erosión, es el aumento de la materia orgánica del

² En general, por debajo de 20 hasta 30 cm, los arados no llegan a mover el suelo y se forma una camada compacta que dificulta la penetración de las raíces y del agua, favoreciendo la erosión.

suelo, que sabidamente tiene gran efecto en la manutención de la micro y mesofauna protectora del suelo y en la productividad de los cultivos.

En lo que se refiere a los ensayos de campo de la aplicación de productos biológicos con acción plaguicida en cultivos de alubia, como es el caso del E.M (*effective microorganisms*), los resultados demostraron que el sistema alternativo todavía no garantiza la deseada rentabilidad comercial, frente al sistema convencional de control de plagas. Los resultados, quizás estuvieron condicionados por la necesidad de mayor espacio de tiempo para que los plaguicidas biológicos fueran efectivos, ya que la evaluación se desarrolló por un período de solamente 3 años, en un agroecosistema bastante colapsado por la pesada aplicación de productos químicos en el suelo (Embrapa, 1999; Valarini et al., 1997).

Otras acciones, pasan por el cuidado en la manipulación y aplicación de los plaguicidas, para evitar eventos puntuales, pero importantes, de contaminación hídrica, como por ejemplo el lavado de los tanques de aplicación en los ríos o el deshecho de los embalajes de los productos en sitios no apropiados. Al mismo tiempo, deben respetarse las dosis y número de aplicaciones y los periodos de carencia indicados para los cultivos.

Cabe señalar que las cuestiones presentadas son de difícil resolución a medio plazo, y merecen la concreta atención tanto de las agencias gubernamentales, encargadas de definir, ejecutar y seguir los programas de control ambiental, además de planear e incentivar las mejores estrategias de uso y ocupación del territorio, como también de otras organizaciones gubernamentales o no, que deben aportar sus experiencias y conocimientos en la ejecución de actividades educativas y técnico-científicas en la mejora de la calidad de vida de las poblaciones involucradas, y en la experimentación e implantación de sistemas de producción más acordes con la deseada sostenibilidad de los sistemas productivos.

Finalmente, la idea presentada por el Prof. Sancho (Sancho Comíns et al., 1993a; Sancho Comíns et al., 1993b; Sancho Comíns et al., 1994b), de que el paisaje rural es un ente vivo y activo, que responde y se manifiesta delante de las intervenciones provocadas por los distintos sistemas de producción agrícola, tanto del pasado como del presente, nos parece totalmente válida y está presente en los resultados obtenidos en nuestro trabajo. Incluso sin realizar análisis de la calidad del paisaje agrario percibida por los moradores del área estudiada, nos arriesgamos a decir que habrá una gran diferencia en cuanto a las aspiraciones de un medio ambiente más equilibrado y heterogéneo. Algunos pocos moradores sentirán nostalgia del paisaje primitivo, incluso sin haberlo disfrutado en su plenitud, donde los bosques y campos se mezclaban entremetidos en las vaguadas de poca pendiente ocupadas por una exuberante selva. Otros se sentirán orgullosos de ver el desarrollo a que llegaron, con sus tierras casi totalmente ocupadas por cultivos siempre vigorosos y vistosos por el abundante aporte de insumos, donde los pivots son el símbolo

máximo de un modo de vida moderno y con futuro garantizado.

Esta dicotomía de pensamientos y de percepción ambiental, no es nueva y de cierta manera acompaña al hombre desde hace mucho tiempo, y enmarca dos modos de vida conflictivos, el pensar conservacionista y el inmedatista, que fundamentalmente dominan el escenario y ponen de manifiesto la propia naturaleza humana.

A continuación, aportamos las conclusiones a que llegamos en el estudio, bien como, las proposiciones futuras de trabajos de investigación relacionados con el tema del trabajo.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y PROPOSICIONES FUTURAS

VI.1. Conclusiones

Por fin, aportamos las conclusiones a que llegamos en el desarrollo de la Tesis Doctoral, las cuales presentaremos, dentro de lo posible, en la secuencia seguida en su ejecución. Así pues, el orden no significa necesariamente la importancia de las mismas.

Modernización de la agricultura:

A pesar de la generalización de las estadísticas recopiladas de distintas fuentes, concluimos que la agricultura mundial experimentó, en los últimos 40 años, un avance significativo en términos de rendimiento medio de los cultivos. Para los cereales, la producción mundial casi se triplicó en el período de 1961-2000, mientras que el área cosechada se ha incrementado muy poco (cerca del 4%). Está claro que el mayor aporte tecnológico, tanto en abonos, plaguicidas, maquinaria y variedades más productivas, entre otros insumos, han influido de forma decisiva en ese desarrollo.

Tal hecho no está igualmente distribuido entre los distintos continentes. América del Norte y Europa se destacan por los mayores índices de productividad como consecuencia de la mejor situación económica de esos países. Factores que también se reflejan en las mejores condiciones generales de vida de las poblaciones.

En el ámbito macroregional de los países del Cono Sur, encontramos diferencias bastante significativas en los niveles económico y social, uso y ocupación del territorio y tendencias de desarrollo. En lo que se refiere a la ocupación de territorio, Bolivia, Brasil y Chile presentan la menor proporción de tierras bajo producción agropecuaria y, con excepción de Chile, albergan las mayores extensiones relativas de tierras boscosas (clara influencia de los bosques ecuatoriales y tropicales). En cuanto a los cambios de ocupación ocurridos en los últimos 40 años, siempre en términos relativos, Paraguay es el país que más territorio ha incorporado a la producción agrícola, seguido de Brasil, Bolivia y Chile, mientras que Argentina mantuvo relativamente estable las áreas agrícolas. Uruguay, por el contrario, ha retirado de la producción el 2,5% de las tierras agrícolas.

En todos los países del Cono Sur, se observa el incremento de las superficies regadas que, en valores relativos, es más claro en Chile y Uruguay pero, en valores absolutos las nuevas áreas de riego en Brasil son significativas (2.200.000 Ha).

Éstos patrones de ocupación se reflejan, de forma general, en la pérdida de áreas boscosas. Principalmente en Paraguay, la deforestación se ha incrementado bastante.

Constatamos un aumento acelerado de la tecnificación en el medio agrario de los

países del MERCOSUR, principalmente en Chile, Brasil y Paraguay que, además de incorporar mayor número de maquinaria en los sistemas agrícolas, han aumentado también el consumo de fertilizantes y plaguicidas con el objetivo de aumentar y mantener los elevados índices de productividad alcanzados con la modernización de la agricultura.

Las consecuencias del rápido desarrollo se traducen en el uso conflictivo de los recursos, erosión de los suelos y consecuente colmatación de las láminas de agua, contaminación ambiental por plaguicidas, desequilibrio económico en el sector agrícola y concentración de las tierras.

Sin embargo, en los últimos años, se observa una creciente preocupación de los gobiernos en unificar sus fuerzas para afrontar la variada problemática de la región. Esta preocupación se centra tanto en el poder de negociación internacional para sus productos, como en desarrollar estrategias comunes de investigación e implantación de sistemas productivos menos agresivos, que puedan conducir a una situación más duradera de las actividades productivas, buscando la sostenibilidad de los sistemas productivos y que dan soporte al desarrollo de otras actividades productivas de los países.

Cambiando de ámbito geográfico, y descendiendo a escala local de nuestro trabajo, destacamos que *Guaira* -favorecida por las condiciones agroclimáticas- representa con certeza, en la actualidad, uno de los polos agrícolas más desarrollados en el Estado de São Paulo y por consiguiente de Brasil. El nivel de tecnificación es bastante elevado, representado principalmente por la mecanización y utilización de otros insumos. Destacamos que, según los datos de la Casa de la Agricultura de *Guaira*, del área irrigada en el municipio, cerca de 11.000 Ha en 1990, el 91% correspondía al sistema de pivote central, lo que refleja un importante dato: el área acumulada total cultivada anualmente es superior a la superficie municipal.

Base teórica y aplicada de los indicadores de sostenibilidad agrícola:

Existe un importante armazón teórico sobre el concepto de sostenibilidad, aplicado también a la agricultura, actividad fundamental para la continuidad en el planeta de los "recursos demográficos" -utilizando el término del Profesor José Sancho Comíns-.

De su fundamentación teórica, de la cual existe ya un número importante de trabajos y revisiones dirigidas a distintos usuarios de la información, hay que implantar, con urgencia, los dictámenes prácticos del desarrollo sostenible en los diferentes ámbitos geográficos e institucionales que comparten la gestión de los recursos naturales.

Las dificultades encontradas son variadas, como también las técnicas y perspectivas que se aplican a la hora de evaluar el grado de sostenibilidad de los agroecosistemas y su entorno. Pero, la principal deficiencia apuntada en la mayoría de los

trabajos científicos publicados, es la obtención de datos de campo o de unidades de explotación agropecuaria para componer los indicadores de sostenibilidad o rellenar las planillas de cálculo de los modelos de simulación. Estadísticamente, es difícil encontrar datos a nivel inframunicipal por lo que, en nuestro caso, la aplicación de los indicadores de sostenibilidad estándar no proporcionan variación espacial, condición imprescindible. Para la vinculación de los indicadores de sostenibilidad a cada una de las fincas, explotaciones agrícolas o polígonos de parcelas, sería necesaria una encuesta agraria para obtener los datos necesarios a este nivel de detalle. De estas variables, las socioeconómicas son las que mayor problema entrañan. Además, su integración con las otras variables biofísicas es otra parte del proceso de evaluación no totalmente resuelto, principalmente si tratamos de zonas donde existe un conflicto de uso y ocupación del territorio y sus recursos.

Nosotros aplicamos una técnica indirecta para evaluar la sostenibilidad de un territorio, de carácter generalista y subjetivo, pero que ha demostrado ser eficiente para comparaciones entre unidades geográficas de mediana escala, y donde no se dispone de informaciones detalladas de los sistemas de producción agropecuaria. Trátase de la evaluación multitemporal de la idoneidad de ocupación a las condiciones biofísicas del territorio. Técnica parcialmente utilizada por otros investigadores en agroecosistemas tropicales de ocupación muy dinámica y reciente, pero sin aplicar el análisis multitemporal de la idoneidad. Esta aportación creemos que añade importantes elementos a la comprensión del dinamismo de explotación de los recursos naturales.

Material de referencia y tratamiento de la información:

En lo que se refiere al material de referencia y a los instrumentos de análisis, concluimos que la evaluación de imágenes de una única estación del año para las clasificaciones digitales ha dificultado la identificación y separación de algunas categorías temáticas. Con certeza, la utilización de otra imagen -en otoño o primavera- había mejorado la clasificación desde un enfoque multiestacional. El uso de máscaras -para aislar tanto las categorías que por criterios de forma y textura pudimos visualmente identificar en la composición en falso color como las láminas de agua identificadas por la técnica de Análisis de Componentes Principales- ha solventado satisfactoriamente los problemas de separabilidad espectral de algunas categorías temáticas.

A pesar de que los resultados estadísticos relativos a la precisión son favorables a la clasificación no supervisada frente a la supervisada, concluimos que la última ha demostrado ser más idónea, por la posibilidad de iteración con el programa, lo que permitió seleccionar las categorías temáticas de interés para los análisis de dinámica del paisaje. Tenemos conciencia del carácter determinista de tal procedimiento, no obstante, ésta es la

gran crítica a las clasificaciones supervisadas y la técnica sigue siendo utilizada en los estudios de teledetección y evaluación de tierras, con resultados satisfactorios.

La utilización del SIG, una vez dominada la técnica y particularidades del programa empleado, nos ha aportado gran capacidad de interpretación, análisis, integración y síntesis para alcanzar los objetivos propuestos. Sin embargo, de todo el procedimiento metodológico, la mayor parte del tiempo se gastó en el tratamiento digital de la información, una conclusión bastante común en los trabajos con SIG. Pero, hemos de reconocer que sin este instrumental y sin contar con la calidad gráfica de los mapas temáticos resultantes del trabajo, sería muy difícil llevar a cabo el trabajo de investigación.

Dinámica de la ocupación de las tierras:

Adentrándonos en los análisis de los mapas de ocupación de la Cuenca del *Ribeirão Jardim*, comprobamos que, a principios de los años 70, la superficie destinada a actividades agropecuarias representaba el 77% del total, quedando muy pocas áreas de vegetación natural. Pero, todavía, la característica de las explotaciones agrarias era extensiva y con poca aplicación tecnológica, habiendo un relativo equilibrio entre las tierras de pastoreo y de cultivo.

Cuando observamos los datos de ocupación de 1988, el cuadro cambia bastante, habiendo un incremento significativo en la tecnificación y especialización de la actividad agrícola. Las tierras de labor -cultivos de regadío, caña de azúcar y cultivos indiferenciados- se han duplicado, avanzando sobre las áreas de pastoreo y bosques, cuyas superficies disminuyeron a la mitad de las que ocupaban en 1971.

Sin duda, el riego es el principal responsable del aumento de los rendimientos medios de los cultivos considerados nobles (alubias, tomate, maíz, soja). Como hemos afirmado anteriormente, los pivotes representan el principal sistema de riego en *Guaira*, totalizando, en nuestra evaluación, una superficie de cerca de 1.200 Ha, en 1988, en la Cuenca del *Ribeirão Jardim*.

No obstante, de las áreas destinadas a los cultivos agrícolas destacamos el aumento sorprendente de la caña de azúcar, que se extiende en 1988 por cerca de 2.500 Ha (8% de la cuenca). Tratándose de un único cultivo, su representatividad es dominante en los resultados.

En el estudio de las tendencias de los cambios durante el primer periodo de nuestra escala temporal, observamos un elevado y predominante dinamismo en la ocupación de las tierras, cuando se compara con las superficies que permanecieron estables.

Además, tal dinamismo, está fuertemente caracterizado por la intensificación en la ocupación y pocas áreas presentaron la tendencia de extensificación. Entre éstas, los

cambios con destino a pastizales, que son los de menor grado de extensificación, predominan territorialmente.

Por el contrario, el 47% del territorio de la Cuenca del *Ribeirão Jardim* (cerca de 13.600 Ha) son tierras donde predomina la intensificación de la ocupación en 1988, estando éstas ocupadas principalmente por la categoría de cultivos indiferenciados, por la caña de azúcar y por los cultivos de regadío.

Según estos datos, el periodo de 1971 a 1988 marca el máximo desarrollo de la agricultura de regadío en la zona de estudio, ya que, en las evaluaciones del año 1998, las tendencias de ocupación varían muy poco en relación al año 1988. La excepción es el creciente aumento de la superficie de caña de azúcar que ha duplicado su ocupación entre 1988 y 1998.

Los resultados obtenidos para el ámbito del Municipio de *Guaira*, durante el tramo final de nuestra escala temporal, siguen la misma tendencia observada en la Cuenca del *Ribeirão Jardim*, demostrando la similitud de condiciones biofísicas y socioeconómicas de los dos ámbitos estudiados. Hecho del que ya teníamos previo conocimiento y que, al final, se ha comprobado.

En el periodo de 1988 a 1998, tanto en la cuenca como en el municipio, la representatividad de las superficies con tendencia de cambios de ocupación disminuye ligeramente y, por consiguiente, existe un relativo aumento territorial de las áreas estables. Resultado que, al principio, puede inducir a la idea de que la presión antrópica sobre el territorio se ha disminuido; no obstante, hay que tener en cuenta que tal estabilidad de ocupación es fuertemente dominada, todavía, por actividades agrícolas intensivas, principalmente por los cultivos indiferenciados y caña de azúcar.

Dinámica de la idoneidad de ocupación:

El método de evaluación de la capacidad de uso de las tierras empleado no incorpora criterios conservacionistas. Asimismo, en la comparación de los usos actuales con la capacidad agrológica de las tierras, no se ha considerado los costes de conservación de los suelos, necesarios para mantener la sostenibilidad de este sistema productivo.

No obstante, en el nivel de detalle que trabajamos y en comparación con otros trabajos de evaluación de la idoneidad de la ocupación territorial, publicados en revistas especializadas de reconocida importancia, estamos seguros de que nuestros resultados tienen rigor científico y son suficientemente válidos para la evaluación multitemporal que hicimos.

Además, la evaluación de la dinámica espacio – temporal de la idoneidad de ocupación, aportó importantes elementos a las conclusiones del trabajo. Este

procedimiento ha confirmado el patrón de intensificación en la ocupación del territorio. En 1971, se observa una mayor representatividad de la ausencia de conflictos, seguida por las categorías de grado ligero y moderado, habiendo muy pocas áreas con grado elevado de conflictos.

En 1988, tal configuración cambia significativamente, habiendo una acentuada disminución de las superficies con ausencia de conflictos y, consecuentemente, un aumento de las restantes categorías de conflictos de ocupación. Éstos se caracterizan por la presencia de cultivos intensivos en zonas poco propicias para su implantación, ya que poseen limitaciones en términos de erosión y fertilidad de los suelos o por estar en ambientes frágiles, debiéndose destinar éstos a la conservación ambiental.

Similar patrón fue observado en el año 1998, tanto en la cuenca como en el municipio, lo que implica que el modelo de explotación se ha estabilizado, por lo menos en lo que se refiere a la adecuación de la ocupación a las condiciones biofísicas del territorio.

Comentarios del entorno de *Guaira*:

Algunos signos demuestran que el modelo de desarrollo adoptado no es sostenible a medio plazo. La reducción de la fertilidad de los suelos, causada por la intensa mecanización, por la contaminación con fitopatógenos, favorecidos por el exceso de riego y ausencia de adecuada rotación de cultivos, además de la discontinuidad de políticas de crédito e incentivo del gobierno para los cultivos tradicionales de *Guaira*, entre otras muchas causas que inciden directamente en los costes de producción, son factores que han proporcionado el avance de la caña de azúcar. Tal cambio es preocupante, pues significa la sustitución de un modelo intensivo por otro todavía más agresivo, por tratarse de un monocultivo que ocupa una gran extensión y tiene una intensa dependencia de plaguicidas e insumos químicos.

En general, no existe la preocupación por conservar las áreas de vegetación natural de carácter frágil, como las várzeas, bosques galería y cerrados. El deseado planeamiento rural está totalmente ausente. La legislación ambiental de protección de los espacios naturales no es respetada, y observamos que no existe, por parte de los agricultores, interés en respetarla. El ideal de desarrollo de la gran mayoría de los agricultores es la máxima producción con el menor coste y tiempo posible para alcanzarlo, no importando las consecuencias a medio y largo plazo. El horizonte de tiempo es el inmediato, la próxima siembra, cosecha y campaña de comercialización.

Algunos propietarios, con visión de futuro, han cambiado su comportamiento y están promoviendo la utilización de sistemas productivos menos intensivos. La siembra directa, laboreo mínimo, sistemas alternativos de control de plagas y aplicaciones más

racionales de abonos y plaguicidas, son algunos ejemplos de tal cambio de actitud. Lógicamente, todo ello está motivado por interés económico, ya que muchas de esas técnicas representan un ahorro financiero a medio plazo.

No obstante, creemos que ya representa una mudanza importante que debe ser apoyada por la investigación y por políticas de incentivo que garanticen la expansión de algo que, al principio, parecía una idea utópica de algunos pocos visionarios, la sustentabilidad agrícola.

Comprobación de la hipótesis científica y objetivos alcanzados:

Cabe destacar que no logramos concretar todos los objetivos que nos proponíamos al principio del trabajo. Los motivos, quizás, estén relacionados por un lado, con el planteamiento de los objetivos un tanto ambiciosos para un trabajo de investigación individual como éste. Para acometerlos sería necesaria la dedicación de un grupo interdisciplinario. Por otra parte, es debido a la dificultad de obtener datos fiables de la actividad agrícola en el ámbito de las propiedades rurales para la realización del estudio de indicadores de sostenibilidad. En este punto, destacamos que la gran mayoría de los indicadores de sostenibilidad agrícola presentados en el Capítulo II (Antecedentes), son variables o parámetros que, a escala local, debían ser recolectados en campo y al nivel de propiedades de explotación, demandando, por tanto, encuestas o acceso a información muchas veces de carácter confidencial.

Las variables publicadas son de carácter general y están disponibles para la unidad del término municipal, no habiendo mayor detalle en la información, lo que impide evaluaciones comparativas de nivel inframunicipal.

Somos conscientes de que éste es un punto del trabajo sujeto a críticas, pero esos fueron los datos disponibles.

Así pues, tan sólo pudimos comprobar parte de la hipótesis inicial de trabajo, ya que el agroecosistema muestra signos importantes de degradación (aunque puntuales), como consecuencia de la rápida intensificación de los procesos productivos.

Concluimos que el instrumental utilizado nos ha posibilitado evaluar datos de distintos formatos, escalas y fechas, de manera integrada y confiable, aportando gran capacidad analítica y de recuperación de datos e informaciones.

Con este apoyo técnico, pudimos desarrollar la investigación siguiendo una metodología de tratamiento, integración y análisis detallado de la información relativamente estandarizada para trabajos en el entorno SIG.

Creemos que la aportación novedosa de nuestro estudio es la aplicación de la técnica de la ACP (Análisis de Componentes Principales) para la extracción de máscaras

digitales de categorías de difícil cartografía en zonas subtropicales como son las láminas de agua con elevada carga de sedimentos en suspensión, en la clasificación de imágenes de satélite. La ACP demostró ser bastante eficiente en tiempo de procesamiento y en la calidad de los resultados.

Otra técnica de interés que utilizamos, poco empleada en los trabajos de evaluación de tierras, es la evaluación multitemporal de la idoneidad de ocupación del territorio. Tal evaluación ha demostrado ser bastante útil para comprender las tendencias de la dinámica de ocupación en sistemas agrícolas altamente dinámicos e intensivos en la ocupación del territorio de los ámbitos estudiados y para estimar los impactos ambientales derivados de ese proceso.

VI.2. Estudios futuros y recomendaciones

Cuestiones a investigar:

Puede ser que el tiempo transcurrido todavía sea insuficiente para demostrar claramente que la sostenibilidad del sistema agrícola en Guaira esté seriamente comprometido.

Puede ser que el sistema ya se encuentre en un umbral crítico de degradación, que no sea todavía visible lo que implica una dificultad añadida para medirla.

Finalmente, puede ser que los agroecosistemas tropicales posean un gran poder de recuperación, debido al acelerado ritmo de los ciclos de materiales y flujos energéticos, que les permita soportar impactos de mediana intensidad sin comprometer de manera decisiva su sostenibilidad.

Todas esas cuestiones deben ser investigadas y creemos que es posible seguir desarrollando una línea de investigación exploratoria sobre el potencial de evaluación del grado de sostenibilidad agrícola, a través de la integración y correlación de índices y patrones de distribución espacial del paisaje agrario, con algunos indicadores ya utilizados en el diagnóstico del grado de sostenibilidad de agroecosistemas, siendo ésta nuestra intención para el trabajo de tesis doctoral.

A título de propuestas futuras, que podrían dar seguimiento al trabajo que acabamos de concluir, destacamos la línea de investigación de la ecología de paisaje como soporte metodológico para las evaluaciones de cómo los distintos índices de compacidad, diversidad, conectividad y fragmentación, entre otros, pueden ser utilizados para evaluaciones de las relaciones existentes entre los patrones espaciales y temporales, medidos al nivel mesoregional, y la sostenibilidad agrícola.

BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, L. S. 1994. Impactos sociais: o emprego na agricultura irrigada, Guaíra (SP). In: *X Congresso Nacional de Agricultura Irrigada*. Salvador (BA), 5 a 9 de dezembro. pp: 411-419.
- Ab'Sáber, A. N. 1970. *Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil*. Sao Paulo: Instituto de Geografia, Universidade de Sao Paulo. Cadernos de Geografia, Geomorfologia. nº 20:1-26.
- Altieri, M. A. 1987. *Agroecology: The Scientific Basis for Alternative Agriculture*. Boulder (CO): Westview Press. 375 p.
- Altieri, M. A. 1995. *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*. Boulder (CO): Westview Press. 2ª Ed. 433 p.
- Anderson, J. R.; Hardy, E. E.; Roach, J. T. & Witmer, R. E. 1976. *Land use and land cover classification system for use with remote sensing data*. Washington: U.S. Govt. Print Off. 28 p.
- Assad, E. & Sano, E., Eds. 1998. *Sistemas de Informações Geográficas: aplicações na agricultura*. 2 Ed. Brasília (DF): Embrapa - CPAC (Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado). 434 p.
- Bacha, C. J. C. 1995. A evolução do desmatamento no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*. 34(2):111-135.
- Barberá, G. G.; López Bermúdez, F. & Romero, A. 1997. Cambios de uso del suelo y desertificación en el Mediterráneo: el caso del sureste ibérico. In: García Ruiz, J. M. & López García, P., Eds. *Acción humana y desertificación en ambientes mediterráneos*. Zaragoza: CSIC. pp:9-39.
- Barros, W. D. 1961. *Problemas da Erosão do Solo no Brasil*. Série Estudos Brasileiros s/n. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Serviço de Informação Agrícola. 54 p.
- Beek, K. J. 1981a. From soil survey interpretation to land evaluation. Part 1: from the past to the present. *Soil Survey and Land Evaluation*. 1(1):6-12.
- Beek, K. J. 1981b. From soil survey interpretation to land evaluation. Part 2: from the present to the future. *Soil Survey and Land Evaluation*. 1(1):18-25.
- Bennema, J.; Beek, K. J. & Camargo, M. N. 1964. *Um Sistema de Classificação da Capacidade de Uso da Terra para Levantamentos de Reconhecimento de Solo*. Rio de Janeiro: DPFS/DPEA/Ministerio da Agricultura e FAO. 36 p.
- Bentley Systems. 1995. *MicroStation 95*. Versión 05.05.02.23, WindowsNT, registrada. Bentley Systems, Inc.
- Bertoni, J.; Pastana, F. I.; Lombardi Neto, F. & Benatti Júnior, R. 1986. *Conclusões Gerais das Pesquisas sobre Conservação do Solo no Instituto Agronômico*. Instituto Agronômico de Campinas - IAC, Campinas. Circular n. 20. 57 p.
- Bolea, M. T. E. 1980. *Las Evaluaciones de Impacto Ambiental*. Madrid: Centro Internacional de Formacion de Ciencias Ambientales (CIFCA). 100 p.
- Bosque Sendra, J. 1992. *Sistemas de Información Geográfica*. Choza, J. et al., Eds., Serie: Geografía y Ecología. Madrid: RIALP. 451 p.
- Brasil. 1987. *Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas: Manual Operativo*. Brasília: Ministério da Agricultura. Comissão Nacional de Coordenação do PNMH. 60 p.

- Brasil. 1991. *Subsídios Técnicos para elaboração do Relatório Nacional do Brasil para a CNUMAD - Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Brasília: Comissão Interministerial para preparação da CNUMAD, Conselho Nacional do Meio Ambiente. 172.
- Brasil. 1998. *Primeiro Relatório Nacional para a Convenção sobre Diversidade Biológica - Brasil*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. 283 p.
- Buol, S. W. 1995. Sustainability of soil use. *Annual Review in Ecological Systems*. 1995(26):25-44.
- Burrough, P. A. 1986. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford: Clarendon Press. 194 p.
- Burrough, P. A. 1993. The technologic paradox in soil survey: new methods and techniques of data capture and handling. *ITC Journal*. 1993(1):15-22.
- Buschinelli, C. C. A. 1999. *Dinámica del paisaje y sostenibilidad agrícola: cambios recientes en un área de agricultura intensiva en el Sudeste de Brasil*. Trabajo de Investigación, Universidad de Alcalá, Departamento de Geografía. Alcalá de Henares, España. 158 p.
- Cairns, M. A.; Haggerty, P. K.; Alvarez, R.; Jong, B. H. J. & Olmsted, I. 2000. Tropical Mexico's recent land-use change: a region's contribution to the global carbon cycle. *Ecological Application*. 10(5):1426-1441.
- Camacho, M.T.; Paegelow, M. & Menor, J. 2000. Límites y aportaciones de los Sistemas de Información Geográfica para trazar la dinámica espacio-temporal del paisaje en áreas montañosas mediterráneas. *Tecnologías geográficas para el desarrollo sostenible*. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá. pp:381-401.
- Campanhola, C.; Buschinelli, C. C. A.; Kitamura, P. C. & Toledo, L. G. 1994. *Monitoramento e controle ambiental da atividade agrícola*. In: III Seminario Franco-Brasileiro: Perspectivas de Mudança do Padrao Tecnológico da Agricultura. Dep. de Política Científica e Tecnológica, Instituto de Geociencias, UNICAMP, Campinas (SP). 31 de agosto a 2 de setembro de 1994. (no prelo).
- Campanhola, C.; Moraes, G. J. & Sá, L. A. N. 1995. Review of IPM in South America. In: Mengech, A. N. et al., Eds. *Integrated Pest Management in the Tropics: Current Status and Future Prospects*. Chichester: John Wiley & Sons. pp:121-152.
- Campbell, J. B. 1996. *Introduction to Remote Sensing*. New York: Guilford Press. 622 p.
- Canter, L. W. 1986. *Environmental Impacts of Agricultural Production Activities*. Chelsea (MI): Lewis Publishers, Inc. 382 p.
- Canter, L. W. & Canty, G. A. 1993. Impacts significance determination: basic considerations and sequenced approach. *Environment Impact Assessment Review*. 13:275-297.
- CATI - Coordenadoria de Assitencia Técnica Integral. 2001. *Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas*. CATI, Secretaria de Estado da Agricultura. www.cati.sp.gov.br/projetos/
- CE - Comunidad Europea. 1993. *CORINE land cover. Guide technique*. Luxemburgo: Comunidades Europeas, 144 pp.
- Cebrián, J.A 1994. Modelos de información geográfica. *Estudios Geográficos*. 215:257-282.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Sanamento Ambiental. 1985. *Notas sobre*

- tecnologia de controle: fabricação de açúcar e álcool*. São Paulo: CETESB/IBAMA. 31 p.
- CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. 2001. *Qualidade dos Rios e Reservatórios*. Secretaria do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo. <http://www.cetesb.sp.gov.br/>.
- Chaim, A.; Valarini, P. J.; Oliveira, D. A.; Morsoleto, R. V. & Pio, L. C. 1999. *Avaliação de perdas de pulverização em culturas de feijão e tomate*. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna. Boletim de Pesquisa nº 2. 29 p.
- Chuvieco, E. 1998a. El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios. *Revista de Teledetección*. 1998(10):39-48.
- Chuvieco, E. 1998b. Empleo de imágenes de satélite para medir la estructura del paisaje: análisis cuantitativo y representación cartográfica. *Serie Geográfica*. 6:131-147.
- Chuvieco, E. 1999. Measuring changes in landscape pattern from satellite images: short-term effects of fire on spatial diversity. *International Journal of Remote Sensing*. 20(12):2331-2346.
- Chuvieco, E. 2000. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid: RIALP. 3ª Ed. 568 p.
- Cocklin, C.; Parquer, S. & Hay, J. 1992. Notes on cumulative environmental change I: concepts and issues. *Journal of Environmental Management*. 35:31-49.
- Comás, D.; Martínez, S.; Nunes, J. & Riasol, J. M. 1992. Evolución de los usos del suelo en la Alta Garrotxa entre 1957-1989. *Los Sistemas de Información Geográfica en la gestión territorial*. Madrid: AESIG. pp:454-466.
- CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente. 1986. *Resolução CONAMA 001/86*. Ministério do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis, Brasília (DF). s/ p.
- Congalton, R. G. & Green, K. 1999. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. Lyon, J. G., Ed. Mapping Science Series. Boca Raton: CRC Press. 137 p.
- Cordellier, S. (Coord.) 2000. *El Estado del Mundo 2001: Anuario Económico y Geopolítico Mundial*. Madrid: Akal Ediciones. 614 p.
- Cordellier, S. (Coord.) 2001. *El Estado del Mundo 2002: Anuario Económico y Geopolítico Mundial*. Madrid: Akal Ediciones. 614 p.
- Corel 1997. *CorelDRAW*. Versión 8.0, registrada. Ottawa: Corel Corporation Limited. <http://www.corel.com>.
- Coutinho, L. M. 1982. Ecological effects of fire in brazilian cerrado. *Ecological Studies*. 1982(42):271-291.
- Curran, P. J. 1985. *Principles of Remote Sensing*. London: Longman. 282 p.
- DAEE - Departamento de Aguas e Energia Eletrica do Estado de Sao Paulo. 1976a. *Projeto Guaira, estudo de viabilidade tecnico-economica de irrigação: relatorio de engenharia*. DAEE, Secretaria de Obras e Meio Ambiente, Sao Paulo. 219 p.
- DAEE - Departamento de Aguas e Energia Eletrica do Estado de Sao Paulo. 1976b. *Projeto Guaira, estudo de viabilidade tecnico-economica de irrigação: relatorio principal*. DAEE, Secretaria de Obras e Meio Ambiente, Sao Paulo. 141 p.
- Dahlberg, K. A. 1979. *Beyond the Green Revolution: the Ecology and Politics of Global Agricultural Development*. New York: Plenum Press. 156 p.
- Dale, V. H.; King, A. W.; Mann, L. K.; Washington-Allen, R. A. & McCord, R. A. 1998. Assessing land-use impacts on natural resources. *Environmental Management*.

22(2):203-211.

- Davidson, D. A. 1992. *The Evaluation of Land Resources*. Essex: Longman Group UK Limited. 2ª Ed. 198 p.
- De la Rosa, D. & Cromptvoets, J. 1998. *Evaluating mediterranean soil contamination risk in selected hydrological change scenarios*. In: Bidoglio, G. et al., Eds. Long-Term Perspectives for Effects of Rural Land Use Change on Soil Contaminants. Agriculture, Ecosystems and Environment (Special Issue - Conference Papers), Arona, Italy. 8 - 10th June 1995. v. 67(1998). pp: 239-250.
- De la Rosa, D.; Moreno, J. A.; Labrandero Sanz, J. L. & Garcia, G. 1990. *Land evaluation information system for regional planning*. In: VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Manaus (AM). 1990. v. 2. pp: 467-470.
- De la Rosa, D. & Moreno, J. M. 1987. *Evaluación Ecológica de Recursos Naturales de Andalucía*. Sevilla: Agencia de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- De la Rosa, D.; Coordinador. 2001. *MicroLEIS 2000: Sistema Integrado para la Transferencia de Datos y Evaluación Agro-ecológica de Tierras*. 2000, Sevilla: Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, CSIC. <http://leu.irnase.csic.es/>.
- Dean, W. 1996. *A ferro e Fogo: a História e a Devastação da Mata Atlântica Brasileira*. Sao Paulo: Companhia das Letras. 484 p.
- Denègre, J. 1994. *Thematic Mapping from Satellite Imagery: a guide book*. Oxford: Elsevier - ICA. 269 p.
- Duinker, P. N. 1989. Ecological effects monitoring in environmental impact assessment: what can it accomplish? *Environmental Management*. 13(6):797-805.
- Durigan, G.; Leitao Filho, H. F. & Rodrigues, R. R. 1994. Phytosociology and structure of frequently burnt cerrado vegetation in SE-Brazil. *Flora*. 1994(189):153-160.
- EAP - Ecological Agriculture Projects. 1989. *An introduction to sustainable agriculture*. EAP - Ecological Agriculture Projects, Publication nº 16. McGill University (Macdonald Campus). <http://www.eap.mcgill.ca> (Electronic document).
- Eastman, J. R. 1997. *Idrisi for Windows*. Version 2.00, registrada. Worcester: Clark University. <http://www.idrisi.clarku.edu>.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1995. *Relatorio do Projeto: Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental de Agroquímicos em Agricultura Irrigada*. CNPMA - Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental, Jaguariúna (SP). Relatório Parcial de Atividades, outubro de 1995, nao publicado. 18 p.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1996. *Atlas do Meio Ambiente do Brasil*. Brasília: SPI - Serviço de Produção e Informação, Ed. Terra Viva. 2ª Ed. 160 p.
- Embrapa Meio Ambiente. 1999a. *Memória do Workshop "Mudanças Climáticas Globais e a Agropecuária Brasileira"*. 16 e 17 de Junho de 1999. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 04. 68 p.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1999b. *Relatorio do Projeto: Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental de Agroquímicos em Agricultura Irrigada*. CNPMA - Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental, Jaguariúna (SP). Relatório Final de Atividades, maio de 1999, nao publicado. 35 p.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2001. *Projetos de Pesquisa*. Embrapa Solos. www.cnps.embrapa.br

- EPA - United States Environmental Protection Agency. 2001. *Environmental Monitoring and Assessment Program - EMAP: Research Strategy*. Office of Research and Development. <http://www.epa.gov> (Electronic document).
- Escobar Gómez, G. 1994. Evaluacion de impacto ambiental en España: resultados practicos. *Ministerio de Obras Publicas, Transporte y Medio Ambiente, CyTET*. Madrid. v. II(102): 585-595.
- Etxezarreta, M.; Cruz, J.; García Morilla, M. & Viladomíu, L. 1995. *La Agricultura Familiar ante las Nuevas Políticas Agrarias Comunitarias*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Serie Estudios. 54-99.
- FAO - Food and Agriculture Organization. 1976. *A Framework for land evaluation*. Roma: FAO. *Soil Bulletin*, 32. 66 p.
- FAO - Food and Agriculture Organization. 2000. *Indicadores Mundiais*. FAOSTAT. <http://www.fao.org>.
- Fearnside, P. M. 1995. Quem desmata a Amazônia: os pobres ou os ricos? *Ciência Hoje*. 19(113):26-33.
- Fearnside, P. M. 1996. Amazonia and global warming: annual balance of greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil`s Amazon region. In: Levine, J. S., Ed. *Biomass Burning and Global Change*. Cambridge: MIT. pp:606-617.
- Fearnside, P. M. 2001. As florestas no acordo do clima. *Ciência Hoje*. 29(171):60-62.
- Fernandes, O. A. 1997. Manejo Integrado de Plagas, Enfermedades y Plantas Dañinas en Agroecosistemas. In: Viglizzo, E., Ed. *Libro Verde: Elementos para una Política Agroambiental en el Cono Sur*. Montevideo: PROCISUR/IICA. pp:153-160.
- Flora, C. B. 1992. Building sustainable agriculture: a new application of farming systems research and extension. *Journal of Sustainable Agriculture*. 2(3):37-49.
- Fonseca, G. A. B. 1992. Fauna Cativa. In: Dias, B. F. S., Ed. *Alternativas de Desenvolvimento dos Cerrados: Manejo e Conservação dos Recursos Naturais Renováveis*: FUNATURA/IBAMA. pp:57-62.
- Formaggio, A. R.; Alves, D. S. & Epiphanyo, J. C. N. 1992. Sistemas de informações geográficas na obtenção de mapas de aptidão agrícola e de taxa de adequação de uso das terras. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*. 16:249-256.
- Frighetto, R. T. S.; Valarini, P. J.; Tokeshi, H.; Filizola, H. F.; Felipe, A. & Oliveira, D. A. 1998. Effects of management practices on soil physico-chemical, biochemical and microbial parameters under irrigated agriculture. In: *Conferência Internacional IFOAM 98, S9*. Anais.
- Fujisaka, S.; Bell, W.; Thomas, N.; Hurtado, L. & Crawford, E. 1996. Slash-and-burn agriculture, conversion to pasture, and deforestation in two Brazilian Amazon colonies. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 59(1/2):115-130.
- Fujisaka, S.; Castilla, C.; Escobar, G.; Rodrigues, V.; Veneklaas, E. J.; Thomas, R. & Fisher, M. 1998. The effects of forest conversion on annual crops and pastures: estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 69(1):17-26.
- Gameda, S. & Dumanski, J. 1995. Framework for evaluation of sustainable land management: a case study of two rain-fed cereal-livestock farming systems in the Black Chernozemic soil zone of southern Alberta, Canada. *Canadian Journal of Soil Science*. 75(4):429-437.
- García-Ruiz, J. M.; Lasanta, T.; Ruiz-Flaño, P.; Ortigosa, L.; White, S.; González, C. &

- Martí, C. 1996. Land-use changes and sustainable development in mountain areas: a case study in the Spanish Pyrenees. *Landscape Ecology*. 11(5):267-277.
- Garrido Valero, M S. 1994. Evaluación de la contaminación agraria difusa con vistas a la transformación de suelos a la agricultura ecológica. In: *Actas del I Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica - Prácticas Ecológicas para una Agricultura de Calidad*. Toledo, 28 al 29 de septiembre de 1994. pp: 183-193.
- Gliessman, S. R. 1997. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Chelsea (MI): Ann Arbor Pres. 357 p.
- Gloeden, E.; Cunha, R. C. A.; Fraccaroli, M. J. B. & Cleary, R. W. 1991. The behaviour of vinasse constituents in the unsaturated and saturated zones in the Botucatú Aquifer recharge area. *Water Science and Technology*. 24(11):147-157.
- Gómez Orea, D. 1988. *Evaluación del Impacto Ambiental de Proyectos Agrarios*. Madrid: Ministerio de Agricultura, IRYDA. Estudios Monograficos nº 6. 286 p.
- González Marroquín, V. 1994. *MGDYNAMO: Una nueva forma de entender los Sistemas de Información Geográfica*. Madrid: documento interno de Intergraph. 15 p.
- Gonzalez, S. R. & Araujo, J. F. V. 1993. Geologia. In: IBGE, Ed. *Recursos Naturais e Meio Ambiente: uma visao do Brasil*. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/IBGE. pp:19-37.
- Goodland, R. & Ferri, M. G. 1979. *Ecologia do Cerrado*. Belo Horizonte (MG): EDUSP - Editora da Universidade de Sao Paulo e Livraria Itatiaia Editora Ltda. 195 p.
- Guild, L. S.; Hlavka, C. A.; Chatfield, R. B.; Brass, J. A.; A.W., Setzer; Pereira, J. A. R. & Riggan, P. J. 1994. *Biomass burning emissions in the cerrado of Brazil computed with remote sensing data and GIS*. In: International Symposium on Resource and Environmental Monitoring - ECO - RIO'94. ISPRS, Rio de Janeiro, 26-30 sep. pp: 188-195.
- Hardy, F. 1962. Problemas de fertilización en el campo cerrado de la parte central oriental de Brazil. *Turrialba*. 12(3):128-133.
- Hennebert, P. A.; Tessens, E.; Tourenne, D. & Delvaux, B. 1996. Validation of a FAO land evaluation method by comparison of observed and predicted yield of five food crops in Burundi. *Soil Use and Management*. 12:134-142.
- Hill, S. B. 1987. *Diversification and agricultural sustainability*. EAP - Ecological Agriculture Projects, Publication nº 5. McGill University (Macdonald Campus). <http://www.eap.mcgill.ca> (Electronic document).
- Hill, S. B. 1990. Pest control in sustainable agriculture. *Proceeding of Entomological Society of Ontario*. 121:5-12.
- Hill, S. B. 1991. *Environmentally sustainable food and agriculture*. EAP - Ecological Agriculture Projects, Publication nº 11. McGill University (Macdonald Campus). <http://www.eap.mcgill.ca> (Electronic document).
- Huising, E. J.; Wielemaker, W. G. & Bouma, J. 1994. Evaluating land use at the sub-regional level in the Atlantic zone of Costa Rica, considering biophysical land potentials. *Soil Use and Management*. 10:152-158.
- IAC - instituto Agrônômico de Campinas. 2001. *Centro de Solos e Recursos Agrobiológicos*. IAC. <http://homepage.barao-iac.br/csra>
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2001. *Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção*. IBAMA, Ministério do Meio Ambiente. <http://www2.ibama.gov.br>

- IBGE 1972a. *Carta do Brasil, SF-22-X-B-III-2: Miguelópolis - MG/SP*. Departamento de Cartografia, IBGE/DAEE - Departamento de Aguas e Energia Eletrica do Estado de Sao Paulo, [S. L.]. Escala 1:50.000.
- IBGE 1972b. *Carta do Brasil, SF-22-X-B-III-3: Guaira-SP*. Departamento de Cartografia, IBGE/DAEE - Departamento de Aguas e Energia Eletrica do Estado de Sao Paulo, [S. L.]. Escala 1:50.000.
- IBGE 1972c. *Carta do Brasil, SF-22-X-B-III-4: Ipuã-SP*. Departamento de Cartografia, IBGE/DAEE - Departamento de Aguas e Energia Eletrica do Estado de Sao Paulo, [S. L.]. Escala 1:50.000.
- IBGE, Ed. 1993. *Recursos Naturais e Meio Ambiente: uma visao do Brasil*. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/IBGE. 154 p.
- IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2001a. *Censo Agropecuario 1995-1996, Produção Agrícola Municipal*. SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automatica de Dados. <http://www.sidra.ibge.gov.br/sidra/agro/agro.htm>.
- IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2001b. *Censo Demográfico 2000*. SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automatica de Dados. <http://www.ibge.net/ibge/estatistica/populacao/censo2000/default.shtm>.
- IF - Instituto Florestal. 2001. *Unidades de Consevação do Instituto Florestal*. Instituto Florestal, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. <http://www.iflorestsp.br/unidades.htm>
- Ikerd, J. E. 1993. The need for a systems approach to sustainable agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 46(4):147-160.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2001a. *Programas e Projetos*. http://www.inpe.br/programas_e_projetos/programas_e_projetos.htm.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2001b. *Projeto PROARCO - Monitoramento e Avaliação do Risco de Incendios Florestais em Áreas Críticas*. INPE/IBAMA. <http://www.cptec.inpe.br/products/queimadas/queimap.html>.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2001c. *Projeto PRODES - Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite: 1999/2000*. INPE/IBAMA. http://www.inpe.br/Informacoes/Eventos/amz1999_2000/Prodes.
- Intergraph Corporation. 1994. *MGE Basic Nucleus (MGNUC): User's guide for the Windows NT operating systems*. Huntsville: Intergraph Corporation, Bentley Systems.
- Intergraph Corporation. 1997. *Image Analyst: User's guide*. Huntsville: Intergraph Corporation, Bentley Systems.
- Intergraph Corporation. 1998. *MGE - Modular Gis Environment: Basic Nucleus*. Version 07.01.00.00, WindowsNT, registrada. Intergraph Corporation.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 1996. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual*. OECD, Paris.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de Sao Paulo. 1986. *Apoio tecnológico à agricultura irrigada do Município de Guaira, SP*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de Sao Paulo, Sao Paulo. Relatório Técnico nº 23.966. 59 p.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de Sao Paulo. 1987. *Orientações para o combate à erosão no Estado de Sao Paulo, Bacia do Peixe-Parapanema. Convênio IPT/DAEE*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de Sao Paulo, Sao Paulo. Relatório Técnico nº 24.739. 68 p.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de Sao Paulo. 1990. *Balanço hídrico das culturas*

- de graos no Município de Guaira, SP.* Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de Sao Paulo, Sao Paulo. Relatório Técnico nº 28.501. 51 p.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de Sao Paulo. 1994. *Apoio técnico ao programa de crédito rural de lavouras irrigadas nas regiões de Guaira e São João da Boa Vista, SP.* Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de Sao Paulo, Sao Paulo. Relatório Técnico nº 32.149. 86 p.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de Sao Paulo. 1995. *Areas de conflito de uso da terra no Município de Guaira, SP.* Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de Sao Paulo, Sao Paulo. Relatório Técnico nº 33.042. 28 p.
- ITC 2001. *ILWIS (Integrated Land and Water Information System).* ITC. www.itc.nl/ilwis.
- Jacoby, H. D. & Prinn, R. G. 1994. *Uncertainty in Climate Change Policy Analysis.* MIT - Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Cambridge. Report n. 1. 38 p.
- JASC . 1997. *Paint Shop Pro.* Version 4.14, shareware. Eden Prairie (MN): JASC, Inc. <http://www.jasc.com>.
- Jensen, J. R. 1996. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective.* Clarke, K. C., Ed. Prentice Hall Series in Geographic Information Science. Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall. 2ª Ed. 316 p.
- Jimenez, A. 2001. *ALES' Users.* Department of Soil, Crops & Atmospheric Science, College of Agriculture & Life Science, Cornell University. <http://www.css.cornell.edu/landeval/ales/alesusr.htm> (Electronic document).
- Journaux, A., Ed. 1987. *Integrated environmental cartography: a tool for research and land use planning.* Paris: UNESCO. 23 p.
- Kirchhoff, V. W. J. H.; Setzer, A. W.; Pereira, M. C. & Marinho, E. V. A. 1988. Queimadas no Brasil e seus efeitos na atmosfera de regioes remotas. *Ciência e Cultura.* 40:659-668.
- Klingebiel, A. A. & Montgomery, P. H. 1961. *Land Capability Classification.* Washington: USDA Soil Conservation Service. 210. 21 p.
- Kronka, F. J. N. et al. 1998. *Áreas de Domínio do Cerrado no Estado de São Paulo.* São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo. 84 p.
- Labrandero Sanz, J. L. 1978. *Aplicación de Métodos Digitales al Reconocimiento de Suelos Mediante Sensores Remotos.* Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias. Madrid. 455 p.
- Labrandero Sanz, J. L. & Martínez Vega, J. 1998. *Sistemas de Información Geográfica en la planificación ambiental de áreas de montaña.* CSIC - Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto de Economía y Geografía, Madrid. Colección de Estudios Ambientales: 1. 136 p.
- Lal, R. 1994. *Methods and Guidelines for Assessing Sustainable Use of Soil and Water Resources in the Tropics.* Columbus, Ohio: Soil Management Support Services, USDA Soil Conservation Service and U.S. Agency for international Development. SMSS Technical Monograph nº 21. 78 p.
- Lasanta, T. 1989. *Evolución reciente de la agricultura de montaña: el Pirineo aragonés.* Logroño: Geoforma. 220 p.
- Laurance, W. F. 1998. A crisis in the making: responses of Amazonian forest to land use and climate change. *Trends in Ecology & Evolution.* 13(10):411-415.
- Laurance, W. F.; Cochrane, M. A.; Bergen, S.; Fearnside, P. M.; Delamônica, P.; Barber,

- C.; D'Angelo, S. & Fernandes, T. 2001. The future of Brazilian Amazon. *Science*. 291:438-439.
- Lepsch, I. F. (Coord.). 1983. *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso do solo (4ª aproximação)*. Campinas: SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 175 p.
- Levitan, L.; Merwin, I. & Kovach, J. 1995. Assessment the relative environmental impacts of agricultural pesticides: the quest for a holistic method. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 55(1995):153-168.
- Lier, H. N. van 1997. *Land use planing in perspective of sustainability: an introduction*. In: Lier, H. N. v. et al., Eds. Proceedings of an International Workshop - Sustainable Land Use Planning. Elsevier Science, Wageningen. 2 - 4 September 1992. pp: 1-11.
- Lillesand, T. M. & Kiefer, R. W. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York: John Wiley & Sons. 3ª Ed. 750 p.
- Lima, M. A.; Ligo, M. A. V.; Cabral, O. M. R.; Boeira, R. C.; Pessoa, M. C. P. Y. & Neves, M. C. 1999. *Emissão de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 07. 60 p.
- Liverman, D. M.; Hanson, M. E.; Brown, B. J. & Merideth, R. W. Jr. 1988. Global sustainability: toward measurement. *Environmental Management*. 12(2):133-143.
- López Vizoso, J. M. 1989. La observación de la Tierra desde el espacio: el mapa de ocupación del suelo de la Comunidad Económica Europea. *Estudios Geográficos*, 196:409-434.
- Loveland, T.R.; Merchant, J.W.; Brown, J.F.; Ohlen, D.O.; Reed, B.C.; Olson, P. & Hutchinson, J. 1995. Seasonal Land Cover regions of the United States. *Annals of the Association of American Geographers*. 85(2):339-355.
- Lubchenco, J. et al. 1991. The sustainable biosphere initiative: an ecological research agenda. *Ecology*. 72:371-412.
- Machado, P. A. L. 1994. *Estudos de Direito Ambiental*. Sao Paulo: Malheiros Editores Ltda. 166 p.
- Machado, P. A. L. 1995. *Direito Ambiental Brasileiro*. São Paulo: Malheiros Editores Ltda. 5ª Ed. 782 p.
- MacRae, R. J.; Hill, S. B.; Mehuys, G. R. & Henning, J. 1990. *Farm-scale agronomic and economic conversion from conventional to sustainable agriculture*. EAP - Ecological Agriculture Projects, Publication nº 108. McGill University (Macdonald Campus). <http://www.eap.mcgill.ca> (Electronic document).
- Marques, J. F. 1995. *Efeitos da Erosão do Solo na Geração de Energia Elétrica: uma abordagem da Economia Ambiental*. Universidade de São Paulo, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Departamento de Economia. São Paulo. 257 p.
- Martínez Vega, J. 1989. *Aplicación de la Teledetección a la Cartografía del Medio Ambiente: Transformaciones del Paisaje Agrario*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense, Facultad de Geografía e Historia. Madrid. 336 p.
- Martínez Vega, J. 1996. Una revisión sobre las imágenes espaciales como fuentes cartográficas. *Revista de Teledetección*. 6:37-50.
- Martínez Vega, J. & Romero, R. 1999. La dinámica de los usos del suelo en la conservación de un espacio protegido del sudoeste de la Comunidad de Madrid. *El territorio y su imagen*. Málaga: AGE. pp:169-177.

- McCracken, S. D.; Brondizlo, E. S.; Nelson, D.; Moran, E. F. ; Siqueira, A. D. & Rodriguez-Pedraza, C. 1999. Remote sensing and GIS at farm property level: demography and deforestation in the Brazilian Amazon. *Photogrametric Engineering and Remote Sensing*. 65(11):1311-1320.
- McDonald, G. 1990. Regional economic and social impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*. 1990(10):25-36.
- Microsoft Corporation. 1997. *MS Office 97*. Versión 97, registrada. Santa Rosa: Microsoft Corporation. <http://www.microsoft.com>.
- Miranda, J. I.; Buschinelli, C. C. A & Neves, M. C. 1994. Sensoriamento remoto na identificação de alvos agrícolas em imagens LANDSAT: uma aplicação em Guaíra, SP. In: *X Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem*. Salvador (BA), 5 a 9 de dezembro. pp: 247-253.
- Mireles, M. 1993. *Propuesta metodológica para la determinación de tipos de uso de la tierra con fines de clasificación de aptitud de la tierra*. In: XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo - El Estudio del Suelo y de su Degradación en relación con la Desertificación. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Salamanca. septiembre de 1993. Tomo III. pp: 1329-1335.
- Mittermeier, R. A.; Myers, N. & Mittermeier, C. G. 1999. *HOTSPOTS, Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions*. Mexico City: CEMEX, Agrupación Sierra Madre. 430 p.
- Monteiro, C. A. F. 1981. *A Questao Ambiental no Brasil (1960 - 1980)*. Instituto de Geografia, Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo. Série Teses e Monografias n. 42. 135 p.
- MOPU - Ministerio de Obras Publicas. 1985. *Curso sobre Evaluaciones de Impacto Ambiental*. Madrid: DGMA - Direccion General de Medio Ambiente, Gabinete de Formacion y Documentacion, CEDEX. 561 p.
- Moreno, J.M. 1989. Los ecosistemas terrestres mediterráneos y el fuego. *Política Científica*. 18:46-51.
- Napolitano, G. 1986. *Conta Gotas*. [s. l.]: [s. Ed.]. 111 p.
- NCGIA - National Center for Geographic Information and Analysis. 1990. *Introduction to GIS*. Volumen I. Santa Barbara (CA): NCGIA/University of California.
- Neher, D. 1992. Ecological sustainability in agricultural systems: definition and measurement. *Journal of Sustainable Agriculture*. 2(3):51-61.
- Newell, R. G. & Theriault, D. G. 1989. *Ten difficult problems in building a GIS*. *British Cartographic Society Symposium*, Cambridge. s/ p.
- Nijkamp, P. 1990. *Regional Sustainable Development and Natural Resource Use*. In: World Bank Annual Conference on Development and Economics. Washington, D.C.
- Niles Software. 1998. *EndNote*. Version 3.0.1, registrada. Berkeley: Niles Software, Inc. <http://www.niles.com>.
- Niu, W. Y.; Lu, J. J. & Khan, A. A. 1993. Spatial systems approach to sustainable development: a conceptual framework. *Environmental Management*. 17(2):179-186.
- Novaes Jr, A. V.; Andrade, A. D. & Hahn, C. M. 1984. *Tecnologia de Controle de Poluição das Águas de Atividades Industriais: açúcar e álcool*. Sao Paulo: CETESB. 44 p.
- NRC- National Research Council. 1977. *Environmental Monitoring*. Washington: NRC, Academy of Science. 181 p.

- Nunes, C. & Augé, J.I. 1999. *Land-Use and Land-Cover Change (LUCC): Implementation Strategy*. Estocolmo: IGBP. 125 p.
- OECD - Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos. 1997. *Environmental Indicators for Agriculture*. Paris. 105 p.
- Oliveira, C. 1993. *Curso de Cartografia Moderna*. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/IBGE. 2ª Ed. 152 p.
- Otero Pastor, I. 1993. Una aplicación de PC ARC/INFO al análisis de cambio paisajístico. In: *Los Sistemas de Información Geográfica en el umbral del s. XXI*. AESIC, pp: 501:517.
- Paraná - Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral. 2000. *Plano Diretor para a Utilização dos Recursos Hídricos no Estado do Paraná*. Estado do Paraná, República Federativa do Brasil. <http://www.hidricos.mg.gov.br/in-bacia.htm>
- Peres, C. A. 2001. Paving the way to the future of Amazonia. *Trends in Ecology & Evolution*. 16(5):217-219.
- Pilon, P.G. & Wiart, R.J. 1990. Operational Forest Inventory Applications using Landsat TM data: The British Columbia experience. *Geocarto International*. 5(1):25-30.
- Pimentel, D. 1996. Green revolution agriculture and chemical hazards. *Science of the Total Environment*. 188(S1):S86-S98.
- Pimentel, D. et al. 1992. Environmental and economic costs of pesticide use. *BioScience*. 42(10):750-760.
- Pinilla, C. 1995. *Elementos de Teledección*. Madrid: RA-MA. 313 p.
- Porter, A. L. 1995. Technology assessment. *Impact Assessment*. 13:135-151.
- Prado, H. 1998. *Solos Tropicais: Potencialidades, Limitações, manejo e capacidade de uso*. Jaboticabal: FUNEP. 2 Ed. 231 p.
- Puignau, J. P. & Buschinelli, C. C. A., Eds. 1994. *Recursos Naturales y Sostenibilidad Agrícola*. Diálogo XLII. Montevideo: PROCISUR/IICA. 150 p.
- Ramalho Filho, A. & Beek, K. J. 1995. *Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras*. Rio de Janeiro: Embrapa - CNPS (Centro Nacional de Pesquisa de Solos). 3ª Ed. 65 p.
- Ramalho Filho, A. & Pereira, L. C. 1996. *Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras do Brasil: Potencial de Terras e Análise Crítica dos Principais Métodos de Avaliação*. In: Solo Suelo 96 - XIII Congresso Latino Americano de Ciência do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) e Sociedade Latino-Americana de Ciência do Solo (SLCS), Águas de Lindóia (SP). 4 a 8 de agosto. CD-ROM.
- Redclift, M. 1987. *Sustainable Development : Exploring the Contradictions*. New York: Routledge. 221 p.
- Regis, W. D. E. 1993. Unidades de Relevo. In: IBGE, Ed. *Recursos Naturais e Meio Ambiente: uma visão do Brasil*. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/IBGE. pp:39-46.
- Ribeiro, D. 1975. *O Processo Civilizatório: Etapas da Evolução Sociocultural*. Estudos de Antropologia da Civilização. Rio de Janeiro: Editora Civilização Brasileira. 3ª Ed. 265 p.
- Ribeiro, D. 1996. *O Povo Brasileiro: a formação e o sentido do Brasil*. São Paulo: Companhia das Letras, 1996: Editora Civilização Brasileira. 2ª Ed. 265 p.
- Ribeiro, J. F., Ed. 1998. *Cerrado: Matas de Galeria*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC. 164 p.

- Ribeiro, J.F.; Silva, J.C.S. & Batmanian, G.J. 1985. Fitosociologia de tipos fitofisionômicos da região do Cerrado em Planaltina, DF. *Revista Brasileira de Botânica*. 8:131-142.
- Richards, J. A. 1995. *Remote Sensing Digital Image Analysis: an introduction*. Berlin: Springer - Verlag. 3ª (printing) Ed. 340 p.
- Riquier, J.; Bramao, D. L. & Cornet, J. P. 1970. *A New System of Soil Appraisal in Terms of Actual and Potential Productivity (First Approximation)*. Rome: FAO - Soil Resources, Development and Conservation Service - Land and Water Development Division. 30 p.
- Rivard, L.; Turner, A.M.; Ryerson, R.A. & Vincent, P. 1990. Land Use Mapping with Thematic Mapper Imagery: a Canadian perspective. *Geocarto International*. 5(1):33-50.
- Rodrigues, G. S. 1998a. *Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico agropecuário: fundamentos, princípios, e introdução à metodologia*. Jaguariuna (SP): Embrapa Meio Ambiente. Documento motivador para elaboração do Manual de Avaliação de Impacto Ambiental do Desenvolvimento Tecnológico Agropecuário. (no publicado) 46.
- Rodrigues, G. S. 1998b. Pesticide contamination in the South Cone: a review. *Ciência e Cultura*. 50(5):342-354.
- Romero, R. 1996. *La incidencia de los cambios de usos del suelo sobre un espacio natural: Las Tablas de Daimiel*. Universidad de Alcalá, Departamento de Geografía. Alcalá de Henares. 225 p.
- Romero, R.; Martín, M.A.; Bodega, M.I. & Martínez Vega, J. 1997. Cambios de usos del suelo en la llanura manchega y en la sierra de Guadalajara: dos ejemplos contrastados de desertificación. In: García Ruiz, J. M. & López García, P., Eds. *Acción humana y desertificación en ambientes mediterráneos*. Zaragoza: CSIC. pp:245-275.
- Rose, K. A. & Smith, E. P. 1992. Experimental design: the neglected aspect of environmental monitoring. *Environmental Management*. 16(6):691-700.
- Rossiter, D. G. 1990. A framework for land evaluation using a microcomputer. *Soil Use & Management*. 6:7-20.
- Rossiter, D. G. 2001. *The Automated Land Evaluation System - ALES*. Department of Soil, Crops & Atmospheric Science, College of Agriculture & Life Science, Cornell University. <http://www.css.cornell.edu/landeval/ales/ales.htm> (Electronic document).
- SAA 1998. Resolução Conjunta SAA/SMA 1, 04/06/98. Sao Paulo: *Diário Oficial do Estado de Sao Paulo*,
- Sadler, B., Ed. 1996. *Environmental assessment in a changing world: evaluating practice to improve performance*. Canadian Environmental Assessment Agency and International Association for Impact Assessment. 248 p.
- Saikh, H.; Varadachari, C. & Ghosh, K. 1998. Changes in carbon, nitrogen and phosphorus levels due to deforestation and cultivation: a case study in Simlipal National Park, India. *Plant and Soil*. 198(2):137-145.
- Sanchez Díaz, J. & Aro Vidal, C. 1993. *Metodología de capacidad de uso para la planificación de usos del suelo en el ámbito mediterráneo*. In: XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo - El Estudio del Suelo y de su Degradación en relación con la Desertificación. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Salamanca. septiembre de 1993. Tomo III. pp: 1391-1398.
- Sanchez, P. 1996. Introduction. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 58(1):1-2.
- Sancho Comíns, J. 1989. El proyecto CORINE Land Cover. *Boletín de la Real Sociedad*

Geográfica. 124-125:261-267.

- Sancho Comíns, J. 2001. *Desarrollo Rural: de los fundamentos a la aplicación*. Madrid: Paraninfo - Thompson Learning. 225 p.
- Sancho Comíns, J.; Bosque Sendra, J. & Moreno Sanz, F. 1993a. Crisis and permanence of the traditional Mediterranean landscape in the central region of Spain. *Landscape an Urban Planning*. 23:155-166.
- Sancho Comíns, J.; Bosque Sendra, J. & Moreno Sanz, F. 1993b. La dinámica del paisaje: aplicación de un SIG raster, al ejemplo de Arganda del Rey en las Vegas de Madrid. *Revista CATASTRO, Monografía*. 18:35-51.
- Sancho Comíns, J.; Martínez Vega, J.; García-Abad, A. J.; Navalpotro, P. & Santaolalla, A. 1994a. La tradición e innovación en el paisaje agrario: los efectos de la PAC en la región central española. *CAMPO*. 1994:215-234.
- Sancho Comíns, J.; Moreno Sanz, F.; Navalpotro, P. & Santaolalla, A. 1994b. El medio ambiente en la PAC: impactos recientes en la agricultura española. *CAMPO*. 1994:9-30.
- São Paulo 1991. *Plano Cartográfico do Estado de Sao Paulo - Carta pedológica semi-detalhada do Estado de Sao Paulo, Guaíra, SF-22-X-B-III*. Instituto Agrônômico de Campinas - IAC, Sao Paulo. 1:100.000.
- SEAD - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. 2001. *Estatísticas Vitais do Estado de São Paulo*. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Estado dos Negócios de Economia e Planejamento. <http://www.seade.gov.br>.
- Sebastián, A. & López de Silanes, J.I. 1999. Aspectos metodológicos de la actualización de cartografía temática y su aplicación al estudio de la cobertura del suelo en la costa española: el proyecto LACOST (Land Cover Changes in Coastal Zones). *Topografía y Cartografía* 90:2-14.
- Sharpley, A. & Meyer, M. 1994. Minimizing agricultural nonpoint source impacts: a symposium overview. *Journal of Environment Quality*. 23(1):1-3.
- Silva, A. S. 1997. *Impacto Ambiental del Uso de los Recursos Suelo y Agua en Áreas Agrícolas Bajo Riego: Estudio Aplicado a Zonas Áridas Brasileñas y Españolas*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid. 217 p.
- Silva, A. S.; Buschinelli, C. C. A.; Miranda, J. I.; Sá, I. B.; Fortius, G. A. & Riché, G. R. 1994. Zoneamento Ambiental Semidetalhado do Município de Guaíra-SP. In: *X Congresso Nacional de Agricultura Irrigada*. Salvador (BA), 5 a 9 de dezembro. pp: 233-249.
- Silva, M. L. N.; Curi, N.; Lima, J. M. & Ferreira, M. M. 2000. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 35(6):1207-1220.
- Smyth, A. J. & Dumanski, J. 1993. *FESLM: an International Framework for Evaluating Sustainable Land Management. A discussion paper*. Rome: FAO. 73. 74 p.
- Smyth, A. J. & Dumanski, J. 1995. A framework for evaluating sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science*. 75:401-406.
- Sorenson, W. J. & Montoya, L. J. 1989. *Implicações Económicas da Erosão do Solo de Algumas Práticas Conservacionistas no Paraná*. Londrina (PR): Fundação Instituto Agrônômico do Paraná.
- Spadoto, C. A.; Filizola, H. F. & Hornsby, A. G. 1998. Assessing the leaching potential of

- pesticide in a Brazilian Oxisol. In: ASA, CSSA, SSSA - *Anual Meetings*. Maryland, October, 1998.
- Spaeth, H. J. 1996. Land degradation in West Niger. *Desertification Control Bulletin*. 1996(28):34-41.
- Spaling, H. & Smit, B. 1993. Cumulative environmental change: conceptual frameworks, evaluation approaches, and institutional perspectives. *Environmental Management*. 17(5):587-600.
- SRHSO - Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. 2001. *Bacia Hidrográfica do Sapucaí - Mirim e Grande - CBH-SMG*. Governo do Estado de São Paulo. <http://www.recursoshidricos.sp.gov.br>.
- Steenblik, R.; Maier, L. & Legg, W. 1997. Agricultura Sustentable. In: Yakowitz, M., Ed. *Desarrollo Sustentable: Estrategias de la OECD para el Siglo XXI*. Paris: OECD - Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos. pp:127-137.
- Strandberg, C. H. 1975. *Manual de Fotografía Aérea*. Barcelona: Ediciones Omega. 268 p.
- SUPLAN - Secretaria Nacional de Planejamento Agrícola. 1975. *Estudo das perspectivas de desenvolvimento da agricultura no Brasil*. Brasília: SUPLAN/Ministério da Agricultura.
- SUREHMA - Superintendencia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Estado do Paraná. 1993. *Manual de Avaliação de Impactos Ambientais - MAIA*. Curitiba (PR): SUREHMA, Instituto Ambiental do Paraná, Secretaria de Estado do Meio Ambiente e GTZ. 2ª Ed. s/ p.
- Tinker, P. B.; Ingram, J. S. I. & Struwe, S. 1996. Effects of slash-and-burn agriculture and deforestation on climate change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 58(1):13-22.
- Uboldi, J. & Chuvieco, E. 1997. Using remote sensing and GIS to assess current land management in the valley of the Colorado river, Argentina. *ITC Journal*. 1997(2):160-165.
- Valarini, P. J.; Frighetto, R. T. A.; Tokeshi, H. & Oliveira, D. A. 1997. Action of effective microorganisms(EM) in soil of intensive agricultural system in Brazil. In: *V International Conference On Kyusei Nature Farming*. Bangkok, 1997. pp: 15-16.
- Valarini, P. J.; Souza, M. D. E.; Tokeshi, H.; Oliveira, D. A. & Morsolieto, R. V. 1996. Impacto ambiental de sistemas intensivos de cultivos em agricultura irrigada sobre as propriedades físico-químicas e microbiológica do solo. In: *XI Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem*. Campinas (SP), pp: 447-479.
- Van Diepen, C. A.; Van Keulen, H.; Wolf, J. & Berkhout, J. A. A. 1991. Land evaluation: from intuition to quantification. In: Stewart, B. A., Ed. *Advances in Soil Science*. New York: Springer-Verlag. pp:139-204.
- Vanzolini, P. E. 1963. *Problemas faunísticos do Cerrado*. In: Simposio sobre o Cerrado. EDUSP, São Paulo. pp: 305-321.
- Victoria, R. L.; Brown, I. F.; Martinelli, L. A. & Salati, E. A. 1991. A Amazonia brasileira e seu papel no aumento da concentração de CO₂ na atmosfera. In: Val, A. L. et al., Eds. *Bases Científicas para Estratégias de Preservação e Desenvolvimento da Amazônia: fatos e perspectivas*. Manaus: INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia. pp:9-20.
- Vieira, M. J. 1994. Embasamento Técnico do Sub-Programa de Manejo e Conservação do Solo - Paraná Rural. In: Paraná, S. d. E. d. A. e. d. A., Ed. *Manual Técnico do Sub-Programa de Manejo e Conservação do Solo*. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. pp:12-40.

- Viglizzo, E.; Moraes, G.; Dantas, M. & Puignau, J. P., Eds. 1995. *Subprograma Recursos Naturales y Sostenibilidad Agrícola (Documento Marco)*. Montevideo: PROCISUR/IICA. 119 p.
- Viola, E. 2001. Mudança climática: impasses e perspectivas. *Ciência Hoje*. 29(171):56-59.
- Walker, R.; Moran, E. & Anselin, L. 2000. Deforestation and cattle ranching in the Brazilian Amazon: external capital and household processes. *World Development*. 28(4):683-699.
- WCED - World Commission on Environmental Development. 1987. *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press. 383 p.
- Webster, M. & Sokolov, A. 1998. *Quantifying the Uncertainty in Climate Predictions*. MIT - Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Cambridge. Report n. 37. 23 p.
- White, R. H. & Howden, M. 1994. *Climate Change: significance for agriculture and forestry - systems approaches arising from an IPCC meeting*. Dordrecht: Kluwer. 146 p.
- World Bank. 2000. *World Development Indicators*. The World Bank Group. <http://www.worldbank.org/>.
- Zavatti, L. M. S. & Abakerli, R. B. 1999. Resíduos de agrotóxicos em frutos de tomate. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 34(3):473-480.
- Zheng, D.; Wallin, D. O. & Hao, Z. 1997. Rates and patterns of landscape change between 1972 and 1988 in the Changbai Mountain area of China and North Korea. *Landscape Ecology*. 12(4):241-254.
- Zinck, J. A. & Farshad, A. 1995. Issues of sustainability and sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science*. 75:407-412.

Anexo IV.1. Informaciones de los ficheros de cabecera de las imagenes Landsat.

1988*Product type product : Landsat 5 TM bsq3 system corrected**Acquisition date imaged on : 19880622**Scene center time scene identification : TM588174124632.2**Quadrant quadrant : E**Bands processed bands : 345**WRS location WRS : 221-074 descending**Center coordinates Lat/Long : S20:15:00/W48:59:05***Processed scene related data:***Pixels per line 3409.0000000**Lines per scene 3199.0000000**Nominal inter-pixel distance at nadi 30.0000000**Nominal inter-line distance at nadir 30.0000000**UTM zone number 22**Line number at WRS center 1513.9290771**Pixel number at WRS center 298.0053406**Orientation of center**Nominal satellite inclination 98.1999969**Nominal ascending node longitude at**Nominal satellite altitude 710.3170000**Nominal ground speed 6754.5716728**Satellite heading including earth ro 8.7510000**Cross-track field of view 15.3900003**Sensor scan rate .13.9900**Sensor active sampling rate 104051.4487**Sun elevation 32.7731934**Sun azimuth .41.9978142***1998***Wrs = 221/074f**Acquisition date = 19980704**Satellite = L5**Instrument = TM10**Product type = orbit oriented**Product size = quadrant**Type of geodetic processing = systematic**Resampling = nn*

<i>Rad gains/biases = +0.7314/-1.5000</i>	<i>+1.3533/-3.1000</i>	<i>+0.9714/-2.7000</i>	<i>+1.0686/-2.5000</i>
<i>+0.1429/-0.4500</i>	<i>+0.0000/</i>	<i>+0.0000</i>	<i>+0.0757/-0.3000</i>

*Tape spanning flag = 1/1**Start line # = 1**Lines per vol = 2880**Orientation = -8.78**Projection = UTM**USGS projection # = grs 80**USGS map zone = 22**USGS projection parameters = 0**Earth ellipsoid = grs80**Semi-major axis = 6378137.000**Semi-minor axis = 6356752.300**Pixel size = 30.00**Pixels per line = 3460**Lines per image = 2880**7692503.000 bands present = 345**Blocking factor = 1**Record length = 3460**Sun elevation = 34**Sun azimuth = 41*

Anexo IV.2. Puntos de control y valores asociados para la corrección geométrica de la imagen de 1988.

Puntos de Control	Control - Mapa (m)		Entrada - Imagen (pixel)		Residuales (m)		Error medio cuadrático (m)	Puntos de Control	Control - Mapa (m)		Entrada - Imagen (pixel)		Residuales (m)		Error medio cuadrático (m)
	X	Y	X	Y	X	Y			X	Y	X	Y	X	Y	
1	788267	7738720	1474	1190	25.5	-4.7	25.9	30	793654	7743989	1621	987	7.9	14.8	16.7
2	790205	7736727	1549	1244	-12.1	-27.8	30.3	31	773509	7752287	914	824	-8.4	-29.6	30.8
3	779879	7731141	1240	1484	7.7	-30.4	31.3	32	772158	7751656	871	853	37.3	-2.8	37.5
4	793464	7748235	1593	847	-25.0	-14.8	29.1	33	773110	7752270	900	828	5.4	3.5	6.4
5	791755	7751974	1516	735	-11.0	16.8	20.1	34	774760	7755085	938	726	30.3	5.6	30.8
6	796458	7752660	1667	685	-16.2	-26.1	30.8	35	769424	7755210	763	752	-12.3	12.4	17.4
7	796843	7755775	1662	581	26.1	-19.4	32.6	36	768090	7754659	722	778	-10.6	35.6	37.1
8	789560	7760892	1397	455	-8.9	22.8	24.5	37	775562	7752386	981	809	-12.3	-34.6	36.8
9	775253	7759587	931	576	2.5	17.3	17.5	38	774428	7729069	1071	1583	-4.1	25.6	25.9
10	760463	7767605	400	393	-23.7	-14.8	27.9	39	794830	7750280	1626	774	-2.1	7.7	8.0
11	765336	7762151	590	547	-30.8	20.3	36.9	40	783282	7755095	1220	679	11.8	7.4	14.0
12	764808	7758151	593	680	-5.5	-2.2	5.9	41	783329	7759023	1201	550	-14.2	5.2	15.2
13	780583	7752190	1147	788	-6.7	-22.1	23.1	42	774711	7760246	909	557	-6.7	9.4	11.5
14	781250	7752171	1170	785	-21.5	-16.9	27.3	43	768254	7768550	652	321	26.2	5.5	26.7
15	781736	7749004	1203	887	-4.9	-4.7	6.8	44	757156	7768511	285	383	20.1	0.4	20.1
16	767261	7737997	786	1326	6.2	-40.1	40.6	45	783191	7763767	1171	395	-7.9	0.4	7.9
17	785214	7743738	1346	1041	20.8	-2.1	20.9	46	782537	7757568	1182	602	-11.1	1.0	11.1
18	782592	7742943	1266	1082	-10.0	9.1	13.5	47	778494	7751490	1082	823	-2.2	-15.5	15.6
19	784922	7741114	1352	1130	-4.4	5.9	7.3	48	783951	7743534	1308	1056	-33.1	28.4	43.6
20	781656	7752160	1182	784	14.4	-12.8	19.2	49	777011	7753421	1022	768	35.3	-5.7	35.7
21	790950	7754265	1476	665	23.5	23.9	33.5	50	778452	7754911	1061	711	20.9	-10.7	23.4
22	768526	7740028	818	1255	-5.7	9.6	11.2	51	776716	7757687	989	630	18.2	5.9	19.1
23	776774	7745973	1057	1015	8.1	19.9	21.5	52	782667	7746721	1248	957	-43.9	-7.9	44.6
24	772431	7764483	812	430	-15.9	-22.9	27.9	53	768192	7746413	771	1047	17.6	7.3	19.1
25	770213	7737105	890	1342	-19.6	33.7	39.0	54	785704	7753894	1307	704	-6.9	-24.7	25.7
26	767922	7737047	814	1356	-15.8	24.4	29.1	55	767816	7738536	803	1306	-30.5	-10.9	32.4
27	781058	7737123	1246	1282	38.1	-0.6	38.1	56	778753	7737204	1172	1292	-22.5	3.7	22.8
28	788423	7747806	1429	890	22.6	10.1	24.8	57	765723	7736527	742	1384	39.6	-24.3	46.5
29	793144	7744365	1603	978	0.4	36.0	36.0								

Nota: El error estándar por la ecuación polinomial de 3º orden es de 21 metros, para 57 puntos y 94 grados de libertad.

Anexo IV.3. Puntos de control y valores asociados para la corrección geométrica de la imagen de 1998.

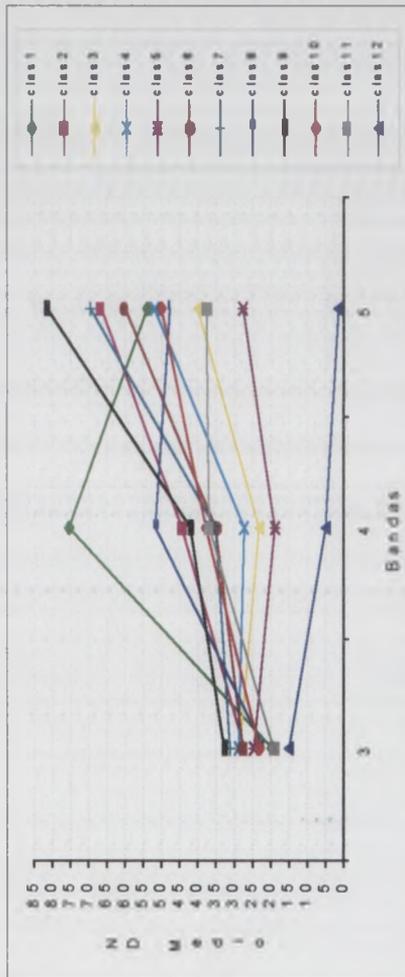
Puntos de Control	Control - Mapa (m)		Entrada - Imagen (pixel)		Residuales (m)		Error medio cuadrático (m)	Puntos de Control	Control - Mapa (m)		Entrada - Imagen (pixel)		Residuales (m)		Error medio cuadrático (m)
	X	Y	X	Y	X	Y			X	Y	X	Y	X	Y	
1	790205	7736727	1571	1079	22.4	-18.8	29.2	29	770107	7735192	918	1242	20.6	34.4	40.2
2	781737	7749004	1227	723	-19.7	5.7	20.5	30	784943	7741065	1376	966	-1.7	-2.0	2.6
3	783634	7750192	1282	673	-14.5	15.6	21.3	31	792597	7741366	1624	913	-23.8	-4.9	24.3
4	780583	7752190	1170	624	9.7	-17.8	20.3	32	765540	7736399	760	1226	16.9	-8.9	19.1
5	778459	7754928	1085	547	2.8	13.2	13.5	33	766633	7736247	798	1225	7.0	-19.8	21.0
6	775257	7759574	954	413	3.1	23.4	23.6	34	766872	7739403	790	1122	-0.3	37.8	37.8
7	783191	7763767	1194	230	18.7	-2.1	18.8	35	764965	7744923	699	950	-37.3	2.1	37.4
8	760463	7767605	423	229	-0.5	-3.6	3.7	36	767443	7748805	757	809	26.0	5.3	26.5
9	755662	7768184	263	236	5.7	6.1	8.3	37	788100	7743458	1466	871	-4.4	35.1	35.3
10	757967	7768702	335	206	0.6	-10.6	10.7	38	783955	7743535	1330	890	-22.2	14.4	26.5
11	765334	7762152	614	383	-24.3	12.3	27.3	39	788428	7747787	1451	725	31.4	0.6	31.5
12	770568	7760191	796	418	-1.7	8.6	8.7	40	796909	7758711	1672	321	5.7	3.2	6.6
13	772090	7751523	894	694	27.6	-2.4	27.7	41	778500	7751491	1106	658	-3.8	-36.2	36.4
14	769234	7757858	765	501	1.5	-39.2	39.2	42	768077	7754659	746	615	4.9	33.6	34.0
15	785707	7753888	1329	539	-4.5	-21.1	21.6	43	767818	7738537	826	1143	-13.9	-28.5	31.7
16	788289	7753739	1416	531	-16.5	15.4	22.5	44	767261	7737996	809	1165	12.8	4.8	13.6
17	791555	7752791	1527	544	4.8	10.4	11.4	45	770208	7737098	913	1178	-35.4	7.8	36.2
18	796448	7752663	1687	521	2.5	-5.7	6.2	46	776256	7745909	1063	854	3.0	-33.6	33.7
19	782621	7752736	1234	594	16.3	-40.7	43.8	47	773727	7742302	1000	988	25.8	24.2	35.3
20	789554	7760882	1420	289	-4.5	-14.9	15.6	48	773112	7745322	964	892	-13.8	2.8	14.1
21	783324	7759016	1225	386	-30.1	28.2	41.2	49	766055	7736918	775	1206	10.9	-11.6	15.9
22	768525	7740028	842	1092	-19.9	22.4	29.9	50	765698	7736567	765	1220	1.8	-4.1	4.4
23	769742	7742542	867	1001	27.8	-34.4	44.2	51	767914	7737001	837	1193	-28.1	-12.2	30.6
24	767517	7738751	814	1139	9.3	19.2	21.3	52	776775	7745972	1080	850	18.9	10.6	21.7
25	778747	7737205	1194	1128	6.4	11.2	12.9	53	772455	7742696	957	981	-12.7	-19.2	23.0
26	775323	7737174	1081	1147	3.4	1.9	3.9	54	754200	7729444	412	1514	8.5	3.9	9.3
27	772354	7737119	983	1165	3.5	-11.0	11.5	55	763462	7734934	700	1285	-17.3	-5.1	18.0
28	774432	7729063	1093	1420	-7.2	-4.4	8.4	56	749520	7732744	243	1429	-2.3	-1.6	2.8

Nota: El error estándar por la ecuación polinomial de 3^{er} orden es de 20 metros, para 56 puntos y 94 grados de libertad.

Anexo V.3. Matriz de separabilidad estadística por la distancia de J-M, en la clasificación no supervisada de la imagen de 1988.

Clases	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0											
2	1,968	0										
3	1,996	2,000	0									
4	1,995	1,982	1,527	0								
5	1,999	2,000	1,413	1,979	0							
6	1,991	1,476	1,996	1,61	2,000	0						
7	1,999	1,308	2,000	1,939	2,000	1,515	0					
8	1,433	1,821	1,998	1,989	2,000	1,936	1,996	0				
9	1,997	1,286	2,000	1,99	2,000	1,872	1,304	1,983	0			
10	1,935	1,83	1,926	1,65	1,997	1,609	1,988	1,509	1,975	0		
11	1,949	1,994	1,774	1,842	1,911	1,983	2,000	1,609	1,999	1,448	0	
12	2,000	2,000	2,000	2,000	1,997	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	0

Nota: Valor medio de la distancia de J-M para la clasificación no supervisada es de 1,867. Las clases espectrales corresponden a: 1) vegetación vigorosa (regadío, caña y vegetación palustre); 2, 6, 7 y 10) pastizal y suelo semicubierto; 3, 4, 5 y 9) suelo descubierto; 8 y 11) bosques, vegetación senescente (cultivos anuales y caña); 12) ríos y embalses.



Anexo V.4. Curvas espectrales de la clasificación no supervisada, imagen de 1988.

Anexo V.5. Matriz de confusión de la clasificación no supervisada, imagen de 1988, para la clasificación por el método mixto de paralelepípedos y máxima probabilidad.

Clases	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Nulos	Total	E. Prod. (%)	E. Om. (%)
1	97,9 7112	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	1,0 70	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	1,1 81	100% 7263	97,9	2,1
2	0,6 158	91,6 26047	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,7 209	1,2 344	1,2 343	2,0 554	0,0 0	0,0 0	0,0 0	2,7 776	100% 28431	91,6	8,4
3	0,0 0	0,0 0	90,2 30590	1,7 573	2,3 772	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	3,9 1314	0,0 0	2,0 674	100% 33923	90,2	9,8
4	0,0 0	0,0 0	0,4 128	94,4 29338	0,0 0	0,9 274	0,0 5	0,0 0	0,0 0	2,5 770	0,0 1	0,0 0	1,8 573	100% 31089	94,4	5,6
5	0,0 0	0,0 0	0,0 6	0,0 0	94,8 22869	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	1,1 271	0,0 0	4,0 974	100% 24120	94,8	5,2
6	0,0 0	1,1 375	0,0 0	0,7 228	0,0 0	94,0 31267	1,2 383	0,0 0	0,0 3	0,3 99	0,0 0	0,0 0	2,7 908	100% 33263	94,0	6,0
7	0,0 0	1,0 249	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,4 91	92,3 23454	0,0 0	2,4 620	0,0 0	0,0 0	0,0 0	3,9 1002	100% 25416	92,3	7,7
8	4,3 1148	0,0 12	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	91,7 24763	0,0 0	0,7 189	0,8 203	0,0 0	2,6 693	100% 27008	91,7	8,3
9	0,0 0	1,7 402	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	1,6 364	0,0 0	94,1 22047	0,0 0	0,0 0	0,0 0	2,6 606	100% 23419	94,1	5,9
10	0,0 0	0,0 9	0,0 0	0,3 92	0,0 0	1,0 343	0,0 0	1,2 418	0,0 0	94,3 32946	1,5 511	0,0 0	1,7 607	100% 34926	94,3	5,7
11	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 1	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,5 138	0,0 0	0,9 253	97,2 28870	0,0 0	1,5 441	100% 29703	97,2	2,8
12	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,7 133	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	91,4 18594	7,9 1615	100% 20342	91,4	8,6
Total	8418	27094	30724	30232	23774	32184	24550	25732	23224	34257	31170	18594	8950	318903		
												% Nulos	2,8			
E. Us.(%)	84,5	96,1	99,6	97,0	96,2	97,2	95,5	96,2	94,9	96,2	92,6	100%			Exactitud Global = 93,4%	
E. Com. (%)	15,5	3,9	0,4	3,0	3,8	2,8	4,5	3,8	5,1	3,8	7,4	0,0				

Notas: E. Us. = Exactitud del usuario; E. Prod. = Exactitud del productor; Er. Com. = Error de comisión; Er. Om. = Error de omisión. La primera y segunda líneas de las categorías se refieren a valores en porcentaje y número de píxeles, respectivamente. Las clases espectrales corresponden a: 1) vegetación vigorosa (regadío, caña y vegetación palustre); 2, 6, 7 y 10) pastizal y suelo semicubierto; 3, 4, 5 y 9) suelo descubierto; 8 y 11) bosques, vegetación senescente (cultivos anuales y caña); 12) ríos y embalses.

Anexo V.6. Matrices y estadísticas de los Componentes Principales de las imágenes de Guaira.

1988			
Matriz de covarianza			
	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Banda 3	34,93		
Banda 4	6,79	187,65	
Banda 5	72,20	159,95	368,45
Auto-valores			
	Auto-valores	Varianza	Var. acum.
CP 1	471,74	79,82	79,82
CP 2	105,57	17,86	97,68
CP 3	13,71	2,32	100
Matriz de auto-vectores			
	CP 1	CP 2	CP 3
Banda 3	0,15	0,35	-0,93
Banda 4	0,49	-0,84	-0,23
Banda 5	0,86	0,42	0,29
Matriz de correlación			
	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Banda 3	1		
Banda 4	0,08	1	
Banda 5	0,64	0,61	1

Nota: Datos resumidos del informe estadístico generado por MGE sobre un muestreo del 1,25% de total de 3.189.030 píxeles (1887 columnas por 1690 líneas).

1998			
Matriz de covarianza			
	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Banda 3	22.22		
Banda 4	-4.84	170.08	
Banda 5	47.47	54.49	193.84
Auto-valores			
	Auto-valores	Varianza	Var. acum.
CP 1	243.18	62.98	62.98
CP 2	135.24	35.02	98.00
CP 3	7.71	2.00	100
Matriz de auto-vectores			
	CP 1	CP 2	CP 3
Banda 3	0.16	0.26	-0.95
Banda 4	0.58	-0.80	-0.12
Banda 5	0.80	0.54	0.28
Matriz de correlación			
	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Banda 3	1		
Banda 4	-0,0788	1	
Banda 5	0,7234	0,3001	1

Nota: Datos resumidos del informe estadístico generado por MGE sobre un muestreo del 1,25% de total de 2.924.964 píxeles (1907 columnas por 1532 líneas).

EMBRAPA	FICHA DO LIVRO	465
AUTOR: BUSCHINELLI, C.C. de A.		
TÍTULO: Dinámica del paisaje en agroecosistemas intensivos en Brasil: indicadores espacio-temporales... (+ Anexo)		
DEVOLVER EM	NOME DO LEITOR	
21.11.02	Pedro Valarini	

