



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-12568-PUD/168

**IDENTIFICACIÓN DEL USO DEL SUELO CON SISTEMAS
AGRÍCOLAS-PECUARIOS-FLORESTALES POR MEDIO DE
IMÁGENES DE SATÉLITE LANDSAT Y CBERS**

Ervin Camargo Arce
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff

Trabalho de Conclusão do XVII Curso Internacional de Sensoriamento Remoto e
Sistemas de Informação Geográfica, orientado pelo
Dr. Bernardo Friedrich Theodor Rudorff.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

XVII Curso Internacional de Sensoramento Remoto y Sistemas de Información Geográficas

Monografía de Investigación Científica:
Identificación del Uso del Suelo con Sistemas Agrícolas-Pecuarios-Forestales por Medio de Imágenes de Satélite LANDSAT y CBERS



Elaborado por: *Ing. Ervin Camargo Arce*
Orientador: *Dr. Bernardo Friedrich Theodor Rudorff*

São José dos Campos – SP – Brasil
Noviembre del 2004

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
Resumen	1
1. Introducción.....	1
2. Área de estudio	3
2.1. Ubicación.....	3
2.1. Descripción Fisiográfica.....	4
3. Materiales y Métodos	6
3.1. Materiales	6
3.2. Metodología.....	9
4. Resultados y Discusión.....	10
4.1. Análisis Multitemporal.....	10
4.2. Estimación de la superficie en el mapeamiento de los sistemas de agrícolas, pecuarios y forestales.....	14
5. Conclusiones y recomendaciones	18
6. Referencias	19
7. Anexos.....	21

Resumen

Abstract. The objective of this work was to elaborate an agricultural land use map and to estimate planted areas for the crop year of 2003/04 in 14 municipalities of the Regional Administration of Limeira, São Paulo State, Brazil. Images were acquired on four dates (15/10/03, 19/01/04, 08/04/04, 04/08/04) by Landsat-5/TM and on two dates (16/03/04, 24/07/04) by CBERS-2/CCD & IR-MSS. They were analyzed in two steps: a) digitally through segmentation and classification techniques; and b) visually through interpretation on computer screen. Both Landsat and CBERS images acquired at key periods of agricultural activities were valuable to identify different land use patterns. Field work confirmed that the images were useful to accurately identify sugarcane, pasture, forest and reforestation areas. Adult citrus was also well identified, but some confusion with coffee crop was observed. Young citrus plantation could only be identified with field work, but they were mainly close to adult citrus plantations. Annual summer crops were well differentiated according to their crop growing cycle and spectral behavior.

Palabras claves: Sensoramiento remoto, procesamiento de imágenes, cultivos agrícolas, estimación de las áreas, Landsat, CBERS

1. Introducción

Diversos autores afirman que las técnicas de sensoramiento remoto, por muchos motivos, son de gran utilidad para la evaluación estadística principalmente para grandes superficies de cultivos agrícolas. Por lo cual se menciona que las informaciones provenientes de los sensores remotos son obtenidas de forma más objetiva y precisa, comparativamente con los métodos tradicionales (encuestas, entrevistas), por tal motivo, estas son herramientas aplicadas en las estimativas de superficies agrícolas en el mundo entero (Ippoliti-Ramilo, 1999).

Estas tecnologías permiten la obtención de informaciones precisas, en tiempo hábil y con bajo costo relativo, sobre la extensión, las condiciones de desarrollo y/o potencial de producción de los cultivos. Información que tiene una gran importancia para la economía de un país, ya que permite un planeamiento adecuado de su economía agrícola, minimizando o problema de escasez o de exceso de productos (Motta, 2001; Fontana et al., 2001).

Por otra parte, la obtención de un mapa temático conteniendo la distribución espacial de las áreas agrícolas y de otras unidades de ocupación del suelo en los municipios, es considerada como una segunda contribución que permite, a los técnicos y autoridades de la región, hacer un mejor monitoreo y planeamiento agrícola en el futuro. Los resultados obtenidos también pueden ser de mucha utilidad para apoyar otras investigaciones de la región, y así mismo serviría para probar otros métodos de clasificación del uso del suelo.

Tomado en cuenta que la mayoría de los cultivos agrícolas son de ciclo corto (3 – 4 meses), los mismos que son establecidos durante la época del año de mayor humedad (diciembre – marzo) coincidente con la temporada de mayor nubosidad, factor que determina que en determinados años se presente la dificultad de obtención de imágenes satelitales en óptimas condiciones, por lo que se hace necesario tomar imágenes de diferentes satélites, para poder cubrir las diferentes etapas de desarrollo de los cultivos agrícolas, permitiendo de esta manera la aplicación del análisis multitemporal.

Las técnicas de procesamiento de imágenes de sensoramiento remoto (aliado a las facilidades computacionales) se han extendido grandemente en los años recientes, para tratar los volúmenes crecientes de imágenes de los satélites orbitales. Uno de los posibles procesos de análisis de imágenes es la identificación de objetos simples en la imagen a través de las técnicas de reconocimiento con patrones, que pueden ser de textura, color, forma y el comportamiento multitemporal, que son herramientas que en su conjunto, facilitan y determinan los diferentes usos del suelo, que pueden ser claramente identificados dentro de las imágenes orbitales (Vieira, 2000).

En el contexto del sensoramiento remoto, la clasificación de imágenes multiespectrales y multitemporales para producir los mapas temáticos o generar inventarios de áreas de cobertura de la tierra, vegetación, cosechas, han sido a la fecha uno de los principales usos en los modelos de reconocimiento y observación de la tierra.

El presente estudio tiene por objetivo levantar información del uso del suelo con sistemas agrícolas, pecuarios y forestales, en la Región Administrativa (RA) de Limeira, estado de São Paulo, en la campaña 2003/2004, por medio de imágenes de satélites de sensoramiento remoto del Landsat TM y CBERS CCD & IR-MSS.

2. Área de estudio

2.1. Ubicación

El área de estudio se encuentra ubicado en la Región Administrativa (RA) de Limeira del Estado de São Paulo, que comprenden los municipios de Porto Ferreira, Pirassununga, Analândia, Santa Cruz da Conceição, Araras, Cordeirópolis, Corumbataí, Ipeúna, Iracemápolis, Itirapina, Leme, Limeira, Río Claro y Santa Gertrudes, cuya superficie estimada llega a 497.598,3 ha. Geográficamente se encuentra ubicada entre las coordenadas de Latitud Sur $22^{\circ} 45' 33.72''$ y $21^{\circ} 44' 47.09''$, Longitud Oeste entre $47^{\circ} 59' 7.21''$ y $47^{\circ} 09' 20.76''$ (**Figura 1**).

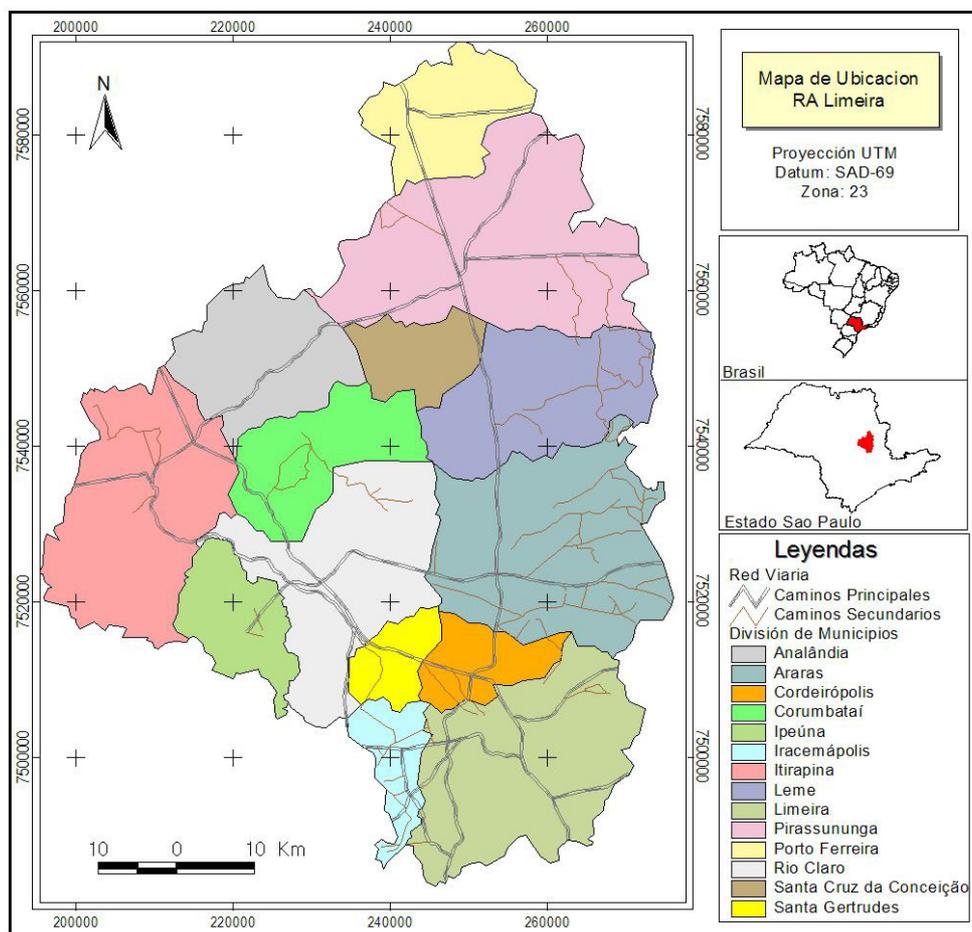


Figura 1.- Mapa de ubicación del área de estudio de la RA Limeira – SP

2.1. Descripción Fisiográfica

Para el análisis de la fisiografía se ha descrito tres perfiles fisiográficos de la RA Limeira, (**Figura 2a, 2b y 2c**). En el primer caso (**Figura 2a**) podemos observar un perfil en la zona sur, que atraviesan los municipios de Itirapina, Ipeúna, Río Claro, Cordeirópolis, Santa Gertrudes y Araras de oeste a este, donde inicialmente se tiene una fisiografía fuertemente ondulada con formaciones de 750 a 1000 de altitud, la cual limita las actividades agrícolas hacia la ganadería extensiva, estableciéndose pasturas mejoradas o manejando pasturas naturales y así mismo plantaciones forestales; luego continuando en dirección este, observamos una gradiente descendiente llegado rápidamente hasta los 600 a 500 m de altitud, donde la fisiografía continua siendo ondulada entre los municipios de Ipeuna y Río Claro donde las actividades económicas continúan siendo la ganadería alternada con algunos cultivos de caña y plantaciones forestales; finalmente la fisiografía cambia hacia una formación de ondulaciones suaves a planas cuya altitud se encuentra entre los 500 a 600 m.s.n.m., comprendidas entre los municipios de Santa Gertrudes, Cordeirópolis y Araras, donde las actividades agrícolas son más intensas, estableciéndose cultivos como la caña de azúcar, principalmente, y es complementada con cultivos de maíz, soya, plantaciones de cítricos, siringa, café y establecimiento de pasturas en algunos casos.

En el perfil de la **Figura 2b**, que corresponde a un trazo que cubren los municipios de Itirapina Analândia, Corumbataí, Santa Cruz da Conceição, Leme y Araras de oeste a este, donde se observa al inicio una fisiografía de un plan alto con ondulaciones suaves a una altura de 750 a 850 m.s.n.m. comprendida entre los municipios de Itirapina y parte de Analândia, donde se tienen establecidos plantaciones de cítricos, caña de azúcar, pasturas establecidas y naturales como también se tienen plantaciones forestales. Luego se observa en el perfil que le continua un descenso rápido formando valles profundos alternados con plan alto producto de una erosión geológica, que luego es alternada por ondulaciones fuertes con altitudes que oscilan entre 600 a 750 m.s.n.m., cuya región esta dentro de los limites de los municipios de Analândia, Corumbataí y Santa Cruz da Conceição donde las actividades predominantes como se observan en la **Figura 11** son la ganadería extensiva con grandes superficies de pasturas. Al finalizar el perfil fisiográfico se presenta una zona de ondulaciones suaves a planas con relieves que oscilan

Identificación del Uso del Suelo con Sistemas Agrícolas-Pecuarios-Forestales por Medio de Imágenes de Satélite LANDSAT y CBERS

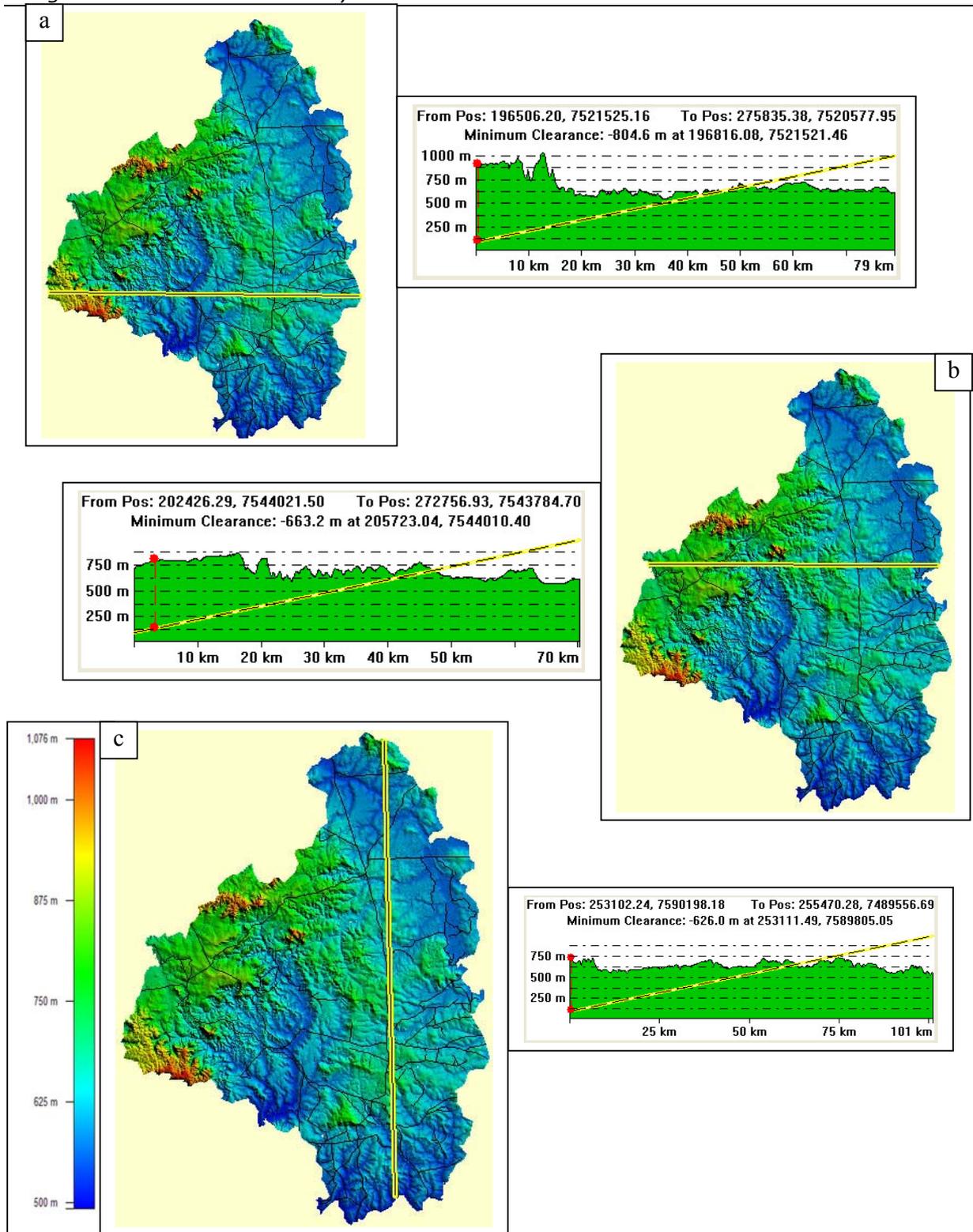


Figura 2.- Mapa de relieve fisiográfico generado a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM) del área de estudio del RA Limeira – SP, mostrando tres perfiles de la región.

entre 600 a 700 m.s.n.m., comprendidas dentro de la jurisdicción de los municipios de Santa Cruz da Conceição, Leme y Araras, cuyas tierras son utilizadas intensivamente principalmente con cultivos de caña de azúcar y complementada con maíz, soya, algodón, plantaciones de cítricos y pasturas establecidas.

Finalmente en el tercer perfil (**Figura 2c**) cuyo trazo cubre de norte a sur entre los municipios de Porto Ferreira, Pirassununga, Santa Cruz da Conceição, Leme, Araras, Cordeirópolis, Limeira, observamos inicialmente una pequeña formación de altura ondulada en el municipio de Porto Ferreira a una altura de 700 a 750 m.s.n.m. que luego desciende hacia una formación suavemente ondulada a plana que va desde los 600 a 650 m.s.n.m., que es generalizada hacia el sur cubriendo los municipios de Porto Ferreira, Pirassununga, Santa Cruz da Conceição, Leme, Araras, en cuya región se tienen actividades agrícolas intensivas con grandes superficies principalmente de caña de azúcar, alternada con cultivos de maíz, soya, algodón, plantaciones de cítricos y establecimiento de pasturas para la ganadería extensiva. En el último trayecto se presenta una fisiografía ondulada con oscilaciones de altura que va desde los 450 a 600 m.s.n.m., comprendida entre los municipios de Cordeirópolis y Limeira cuya zona es principalmente utilizada con pasturas naturales o establecidas y plantaciones de cítricos, alternadas con áreas de caña de azúcar y cultivos anuales.

3. Materiales y Métodos

3.1. Materiales

Las imágenes que fueron utilizadas en el presente estudios, son obtenidas de dos fuentes: 1) del satélite Landsat-5 sensor TM de las órbita 220 puntos 75 y 76 y 2) del satélite CBERS sensor CCD & IR-MSS de la órbita 125 puntos 154 y 155, cuyas fechas fueron distribuidas a lo largo de los ciclos de todos los cultivos, así mismo estuvieron definidas principalmente en función a la disponibilidad por efecto de la nubosidad.

Las fechas de adquisición de imágenes observadas en las **Figuras 3 y 4** fueron: iniciando la campaña agrícola en el 15/10/2003 del Landsat, luego la siguiente fue tomada en la época de alta pluviosidad del 19/01/2004 del Landsat. En la fecha 16/03/2004 de CBERS que corresponde a la finalización de ciclo de cultivos anuales. La tercera época fue del 4/04/2004 del Landsat que es considerada también como la época de finalización de las campañas agrícolas anuales.

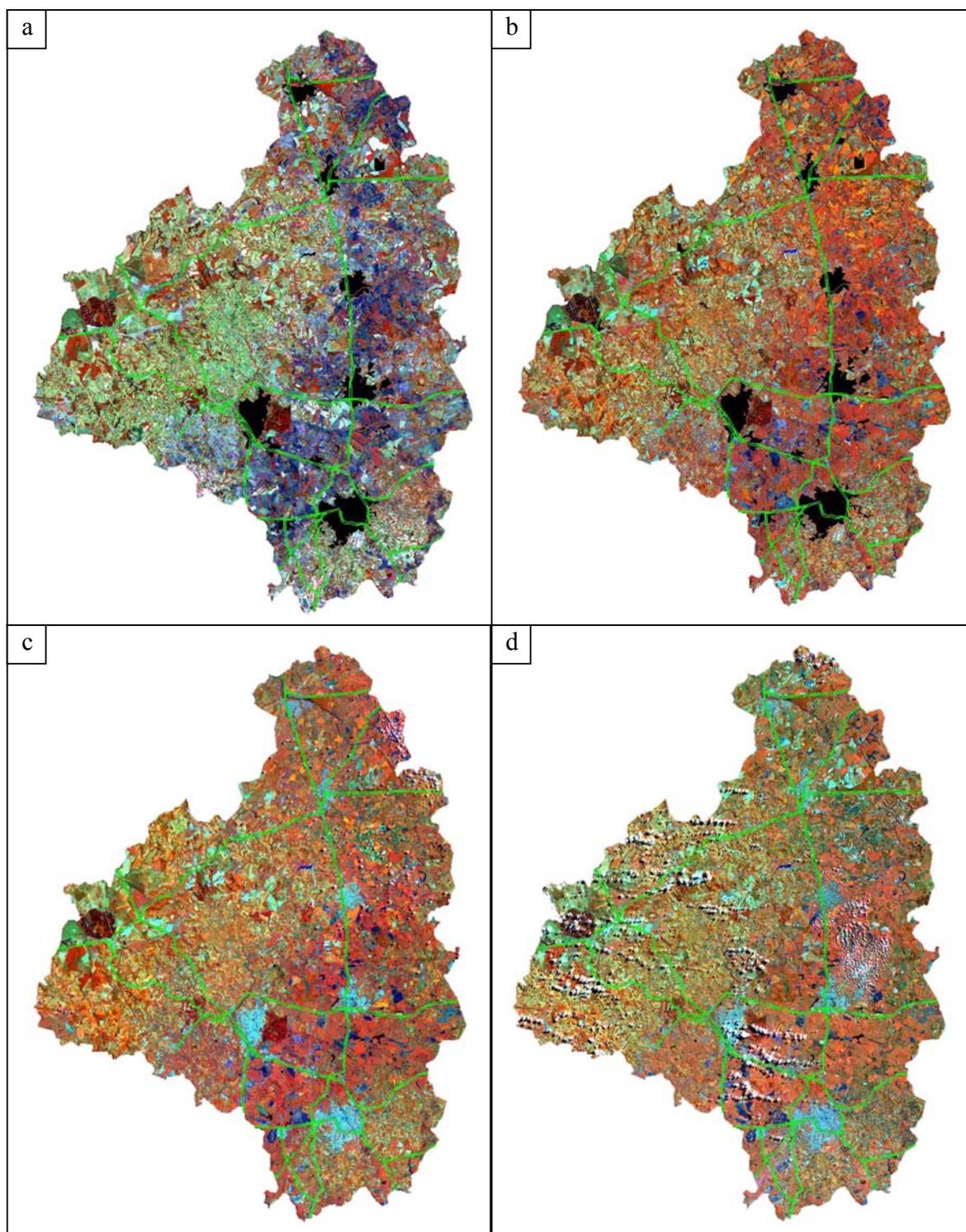


Figura 3.- Composición colorida en falso color 453 (RGB) en imágenes Landsat sensor TM (a,b y d) y 423 (RGB) en imágenes CBERS siendo 4y3 sensor CCD y 2 sensor IR-MSS (c), de fechas 15/10/03, 19/01/04, 16/03/04 y 08/04/04 respectivamente.

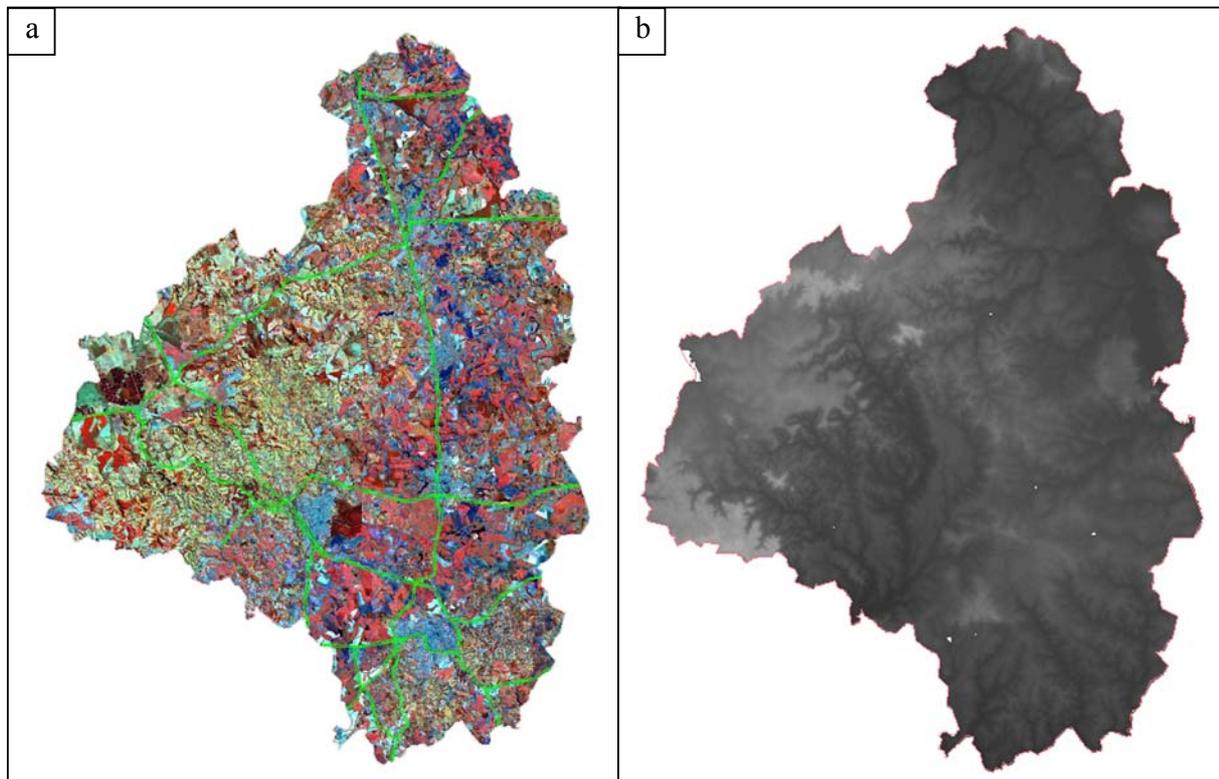


Figura 4.- Composición colorida en falso color 453 (RGB) de imágenes Landsat sensor TM de fecha 14/08/2004 (a) y Modelo Digital de Elevación (SRTM-2000) (b) correspondiente a la RA Limeira.

Finalmente, en la época seca fueron tomadas las imágenes del 14/08/2004 en Landsat y en CBERS se tomó de las fechas 24/07/2004 y 19/08/2004 donde los cultivos semiperennes como la caña de azúcar esta en proceso de cosecha y algunos cultivos de invierno como el maíz zafriña y el fréjol están finalizando su ciclo.

Para la cartografía básica fue tomada, la información de la delimitación de municipios del IBGE cuyo datum de origen es SAD-69 y la proyección UTM. También se utilizó los modelos digitales de elevación (DEM) que disponibiliza la Universidad de Maryland (USA) en su pagina Web, para la descripción de la fisiografía de la región.

En el proceso de registro de las imágenes han sido utilizadas las imágenes ortorectificadas que disponibiliza la NASA del sensor ETM+ del satélite LANDSAT-7 del año 2000.

3.2. Metodología

En la estimación del uso actual con unidades agrícolas, pecuarias y forestales de la RA de Limeira, fue utilizada la metodología de clasificación no supervisada del aplicativo SPRING 4.1. (Sistema de Procesamiento de Informaciones Georeferenciadas)

La clasificación de las imágenes envuelven dos etapas distintas: clasificación digital y clasificación visual.

La primera fase de clasificación digital fue desarrollada a través de la segmentación de las imágenes, en la que fue utilizado un algoritmo denominado crecimiento de regiones. El objetivo de esa segmentación es el de agrupar regiones continuas y similares radiométricamente que representen a un mismo cultivo, a partir de píxeles individuales (Nascimento & Almeida Filho, 1996). El proceso de segmentación exige la definición de los limiars de similaridad del área. Los limiars utilizados en la segmentación de las imágenes fueron de 20 niveles de grises para la similaridad y de 50 píxeles (aproximadamente 4,5 ha) para el área.

En la fase siguiente las imágenes fueron clasificadas a través de un algoritmo no supervisado, denominado ISOSEG al 95% de probabilidad, que agrupa las regiones en clases espectralmente homogéneas. En la interpretación visual, las clases espectrales que fueron generadas por este clasificador, fueron individualmente sobrepuestas con las imágenes de diferentes fechas que permitieron diferenciar individualmente los diferentes sistemas agrícolas, pecuarios y forestales en el análisis multitemporal, que posteriormente son asociadas a las clases temáticas correspondientes que ocupan el suelo.

A través del cruzamiento de los Planos de Información (PI), el primero conteniendo, la clasificación de las unidades temáticas estudiadas, y el segundo conteniendo, los límites políticos municipales, fue estimada el área establecida con las diferentes unidades agrícolas, pecuarias y forestales en cada municipio.

4. Resultados y Discusión

El presente estudio permitió una vez más resaltar la gran utilidad que tienen las imágenes de sensoramiento remoto para el mapeo de cultivos agrícolas, a través del análisis multitemporal, entre las imágenes de los satélites Landsat TM y CBERS CCD/IR-MSS, para ampliar la cobertura temporal, que son de vital importancia para permitir la correcta identificación de la diversidad de cultivos anuales, semiperennes y perennes, que cubren la amplia región de la RA de Limeira.

En el caso de imágenes CBERS, se ha podido apreciar la importancia de la banda 2 del sensor IR-MSS que tiene la misma longitud de onda de la banda 5 del TM (infrarrojo medio; 1.55-1.75 μm) del Landsat, la misma puede ser utilizada en la combinación tradicional de RGB 453, observándose los mismos resultados en la interpretación visual de los cultivos agrícolas. Para conseguir este objetivo se hace necesario que el píxel de la banda 2 del sensor IR-MSS debe ser remuestreado de 80 x 80m a 20 x 20m en su resolución espacial (Carrasco, 2005).

4.1. Análisis Multitemporal

De acuerdo al análisis multitemporal de las imágenes observadas en la **Figura 3 y 4**, se han podido establecer patrones estándares para diferenciar los cultivos en estudio **figura 11**, como por ejemplo, en el final de la época seca y inicio de la época húmeda (mes de octubre), se puede separar pasturas, bosques y bañados de cultivos anuales y caña. En la siguiente época (mes de enero), que corresponde a la temporada de mayor pluviosidad, en la misma que se encuentran establecidos todos los cultivos anuales y semiperennes, se puede diferenciar caña y maíz de algodón y soja. En el mes de marzo, que es el fin del ciclo de los cultivos soja y maíz, se puede diferenciar entre caña de maíz, por una parte y soja de algodón por otra. En los meses de julio y agosto, se puede identificar mejor las plantaciones de cítricos de los demás cultivos. En el caso del café, se ha podido observar que tiene una similar respuesta espectral comparativamente con los cítricos, debido a su similitud morfológica y su sistema de plantación. En el caso de la siringa, se ha podido determinar que tiene una respuesta espectral muy marcada con respecto a los demás “alvos”, observándose que en el mes de octubre tiene una alta respuesta espectral por encontrarse con hojas nuevas, que posteriormente en los meses de enero, marzo y abril, van

disminuyendo gradualmente debido a que las hojas están más adultas y oscuras; finalmente en los meses de julio y agosto, la planta pierde sus hojas observándose una baja respuesta espectral.

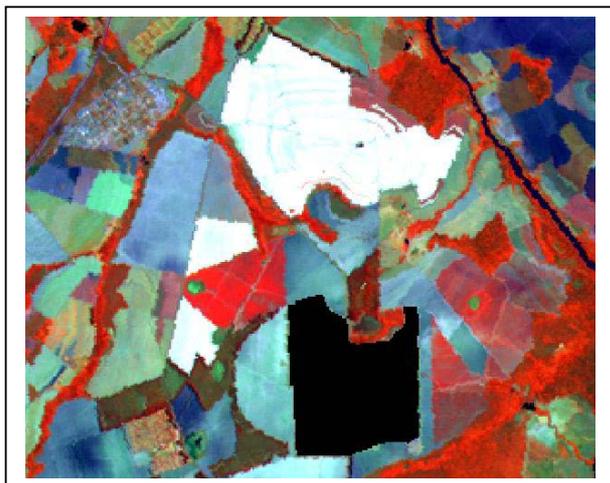


Figura 5.- Composición 453 (RGB) de Landsat sensor TM de fecha 15/10/03

Analizando en forma más puntual, las fechas de adquisición de imágenes, podemos observar que en la **Figura 5**, correspondiente a la época de inicio de las actividades agrícolas, que acontece en el mes de octubre, se observan grandes superficies con suelos descubiertos o vegetación pequeña, que en la combinación 453 (RGB) se presente de color celeste o cyan, luego se visualizan los suelos removidos o preparados para la siguiente campaña con una coloración en la imagen de azul oscuro. Del mismo modo también se

tienen las áreas con residuos de la cosecha de caña de azúcar que han sido efectuado con maquinaria especial para este fin (cosechadora mecánica), que reflejan una coloración blanca debido al acondicionamiento horizontal de las hojas, las mismas que al secarse se tornan en color café claro a veis. Luego también tenemos caña que esta esperando a ser cosechada que responde con una coloración rojo claro en la imagen, con rasgos de caminos de por medio. Luego se observan las zonas de plantación de cítricos con una coloración café claro. En esta fecha, es posible tener una alta diferenciación del bosque de galería, bosque natural de la caña de azúcar comparativamente con los meses de enero y marzo (**Figura 6 y 7**) fechas en que son menos perceptible. Un caso similar se observa con las respuestas de las pasturas.

Las zonas anegadizas o mal drenadas denominadas bañados (**Figura 5**), pueden ser observadas en esta fecha presentándose formaciones de machas redondeadas de coloración verde claro.

También es posible observar áreas urbanas (infraestructuras urbanas) (**Figura 5**), las mismas que tienen una coloración alternada entre blanco, verde claro y rojo por la alta respuesta de los tejados, áreas verdes y árboles, con una textura rugosa.

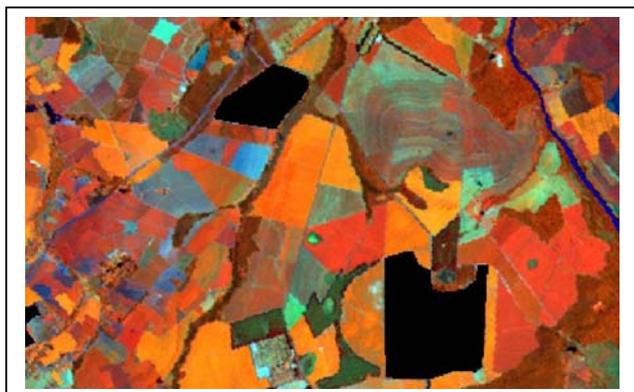


Figura 6.- Composición 453 (RGB) de Landsat sensor TM de fecha 19/01/04

forma lobulada, comparativamente con los del maíz y la caña (gramíneas) cuyas hojas se desarrollan en forma inclinada y su forma lanceoladas, lo que produce un espallamiento menos perpendicular a los rayos del sol.

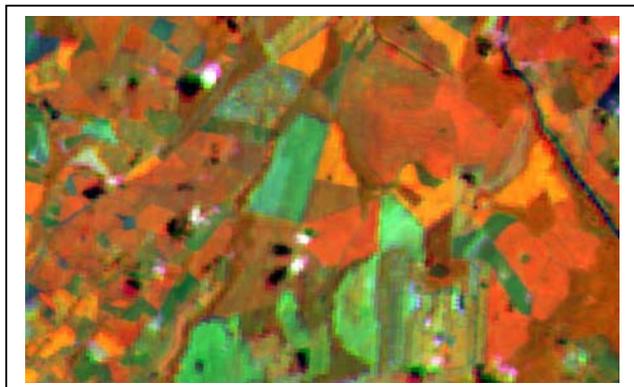


Figura 7.- Composición RGB 423 siendo 4y3 de CCD y 2 de IR-MSS de fecha 16/03/04 del satélite CBERS

algodón, observándose que la soja ya está en la finalización de su ciclo del cultivo, por lo que se encuentran cosechadas o están secas y próxima a su cosecha, respondiendo en la imagen con una coloración de verde claro a cian donde puede observar la influencia de la reflectancia del suelo, y por su lado, algodón todavía se encuentra en su fase de desarrollo, quedando el mismo de coloración naranja. Por lo tanto este mes es determinante para la discriminación de estos dos últimos cultivos analizados.

En el mes de enero, **Figura 6** del Landsat que corresponde a la temporada de mayor pluviosidad, observamos en la imagen que se encuentran establecidos todos los cultivos anuales y semiperennes, en la cual es posible diferenciar claramente dos grupos de cultivo, como caña y maíz (color rojo) de algodón y soja (color naranja), efecto debido a que presentan una mayor reflectancia por la posición más horizontal de sus hojas y su forma lobulada, comparativamente con los del maíz y la caña (gramíneas) cuyas hojas se desarrollan en forma inclinada y su forma lanceoladas, lo que produce un espallamiento menos perpendicular a los rayos del sol.

En la imagen del mes de marzo, **Figura 7** que es el fin del ciclo de los cultivos soja y maíz, se puede diferenciar mejor entre caña del maíz comparativamente que en el mes de enero, debido a que este último ya está en fase de senescencia, cambiando de coloración hacia el verde oscuro.

Así mismo se puede establecer diferencias más específicas entre el cultivo de soja comparativamente con el cultivo de

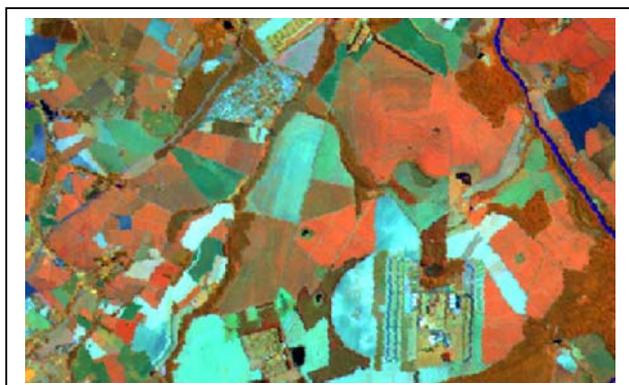


Figura 8.- Composición RGB 453 de fecha 08/04/04 de Landsat sensor TM

Como podemos analizar en la imagen presentada en la **Figuras 8** se observa, que la caña de azúcar continua en su estado de desarrollo en algunos casos y en otros está lista para la etapa de cosecha, la cual presenta una coloración roja tendiendo a anaranjado, siendo esta la única que queda con alta reflectancia, por su parte, el maíz continua teniendo una clara diferencia de la caña presentando una coloración verde oscuro. La

imagen de esta fecha puede ser usada en forma similar a la anterior del mes de marzo para diferenciar caña de maíz. Por otra parte, las áreas correspondientes al cultivo de algodón en esta época tienen una coloración naranja a amarillo que son los que han sido sembrado tardíamente y las otras áreas de siembra temprana ya han iniciado su senescencia observándose una coloración verde claro tendiendo a Cyan.

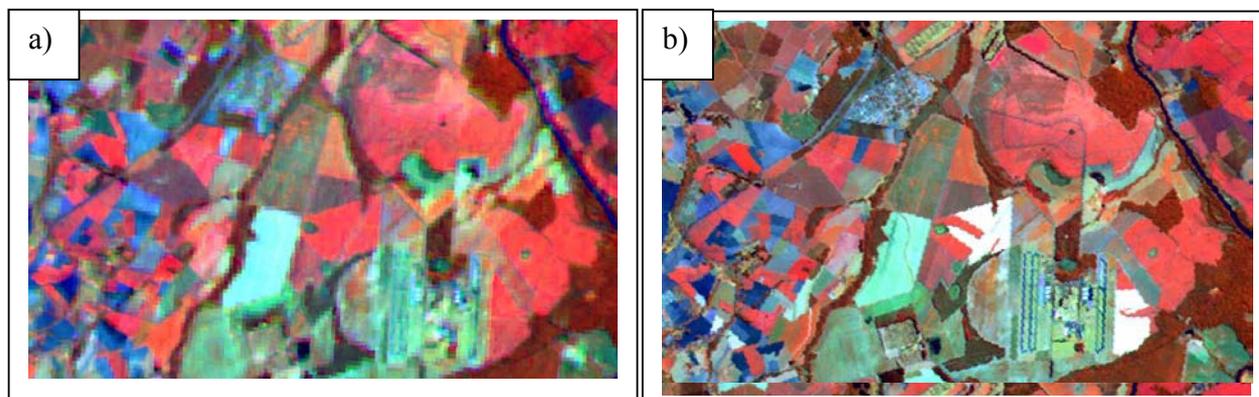


Figura 9.- (a) Composición 423 (RGB) siendo 4y3 de CCD y 2 de IR-MSS de fecha 24/07/04 del satélite CBERS y (b) composición 453 (RGB) de fecha 14/08/04 del satélite Landsat sensor TM

Observando la **Figura 9 (a y b)**, que son imágenes CBERS y Landsat respectivamente, de fechas más o menos aproximadas, podemos observar los mismos comportamientos en cuanto a su coloración, donde se puede establecer una mejor diferenciación entre caña de azúcar, cítricos y bosques de los demás “alvos”.

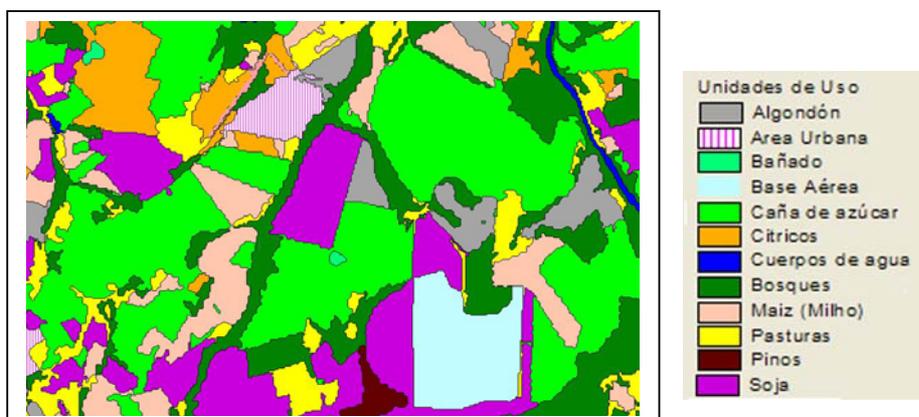


Figura 10.- Mapa de clasificación de cultivos agrícolas y otros usos en la RA de Limeira en la campaña agrícola 2003/2004, a través de imágenes Landsat y CBERS.

En la **Figura 10** podemos observar el resultado de la clasificación obtenidas a través del análisis multitemporal de imágenes CBERS complementada con Landsat, pudiendo confirmar la utilidad de estos dos satélites en la clasificación de los cultivos agrícolas, los mismos que deben complementarse para aumentar la resolución temporal, de tal forma que permitan una mejor identificación, principalmente, entre cultivos agrícolas.

4.2. Estimación de la superficie en el mapeamiento de los sistemas de agrícolas, pecuarios y forestales

La **Tabla 1** muestra los resultados obtenidos a través del mapeo de áreas agrícolas, pasturas y forestales comparativamente con los datos obtenidos por el Instituto de Economía Agrícola (IEA) Coordinadora de Asistencia Técnica Integral para la campaña agrícola 2003/2004, observándose que se encuentran grandes diferencias con la metodología aplicada por el IEA, debido a que esta no considera la distribución espacial en el levantamiento de la información. Las mayores diferencias relativas han sido encontradas en los cultivos café y maíz, con una superestimación del 80,7 y 42,04% respectivamente, y a sido subestimado el cultivo fréjol en 47,5%. Con respecto a la caña de azúcar, cultivo de mayor importancia en la región, ha sido subestimado en un 11,51%, que representan a una superficie de 17.588 ha.

Según los datos observados en la distribución de los cultivos mapeados en cada uno de los municipios contenidos en la **Tabla 2** del Anexo, se establece claramente que la actividad económica más importantes en la región de RA de Limeira es el cultivo de la caña de azúcar, cuya área de cultivo es la más extensa sumado una superficie total de 152.766,2 ha, ocupando

30,7% de la superficie total del área de estudio, información importante que refuerza la importancia económica de este actividad.

Tabla 1: Área estimada a través de la clasificación de las imágenes Landsat y CBERS, % de cultivo en relación a el área total, estimativa oficial del IEA y su diferencia en relación a la estimativa de las imágenes, por tema analizado en la RA de Limeira, campaña agrícola 2003/2004

Cultivos	Total de Mapeo		IEA* (b) ha	Dif. Rel. (a-b)/a %
	(a) ha	% del total		
Algodón	7414,6	1,49	6480,0	12,6
Maní (Amendoim)	180,3	0,04		
Area Urbana	22445,6	4,51		
Bañado	334,3	0,07		
Café	1058,7	0,21	1914,0	-80,7
caña de Azúcar	152766,2	30,70	135178,0	11,51
Cítricos	51495,0	10,35	42918,4	16,65
Cuerpos de agua	3233,2	0,65		
Eucalipto	8905,2	1,79		
Bosque	70251,8	14,12		
Fréjol	815,1	0,16	428,0	47,5
Hortalizas	32,1	0,01		
Maíz (Milho)	20831,6	4,19	29590,0	-42,04
Pasturas	144003,1	28,94		
Pino	2688,0	0,54		
Siringa	217,0	0,04		
Soja	8948,4	1,80	7360,0	17,75
suelo descubierto	1705,3	0,34		
Vivero	272,7	0,05		
Total	497598,3	100,00		

* Fonte: Instituto de Economía Agrícola e Coordenadoria de Assistência Técnica Integral.

Como se puede observar en la **Tabla 2** del Anexo, que es corroborada por la información espacial en el mapa de la **Figura 11**, podemos analizar que este cultivo predomina en la zona de fisiografía suavemente ondulada a plana (**Figura 2**), que comprenden los municipios de Araras, Corderópolis, Iracemópolis, Leme, Pirassununga, Porto Ferreira y Santa Gertrudes, cuya mayor superficie se encuentra cultivada en el municipio de Araras con un área de 33.971,8 ha., ocupando el 52,6 % de su territorio municipal. Así mismo según este análisis, también se puede observar que el municipio que tiene la mayor distribución relativa es Iracemópolis con una ocupación de este cultivo del 74,4 % de su superficie total.

Luego, la segunda actividad de importancia económica en esta región es la actividad ganadera, que tiene una considerable superficie establecida con pasturas, las mismas tienen la característica de ser acondicionada en la región oeste de la RA Limeira, cuya fisiografía está caracterizada por ser ondulada a fuertemente ondulada, que no permiten desarrollar actividades agrícolas intensivas. El área ocupada por esta actividad cubre una superficie de 144.003,1 ha (**Tabla 2** del Anexo), la misma que representa al 28,94 % de la superficie total. Esta actividad se encuentra entre las principales actividades económicas en los municipios delimitados por Analândia, Corumbataí, Ipeúna, Itirapina, Limeira, Río Claro y Santa Cruz da Conceição, siendo el municipio de Itirapina, el más extenso en área establecida con pasturas con un área de 27.430,4 ha que representa al 48,4 % de su superficie total (**Tabla 2** del Anexo). Tomando en cuenta la distribución relativa de la ocupación de los suelos, se resalta que el municipio de Corumbataí, cuenta con la mayor proporción relativa teniendo unos 65,4% de su área total destinadas al establecimiento de pasturas.

Los resultados obtenidos aplicando la metodología descrita en el presente estudio, para las imágenes satelitales Landsat y Cbers fueron satisfactorios para la identificación de los cultivos agrícolas de gran escala, así mismo, se deberían continuar desarrollando nuevos patrones para identificar cultivos no tradicionales de menor escala, como ser café, fréjol, hortalizas, maní (amendoim) y viveros.

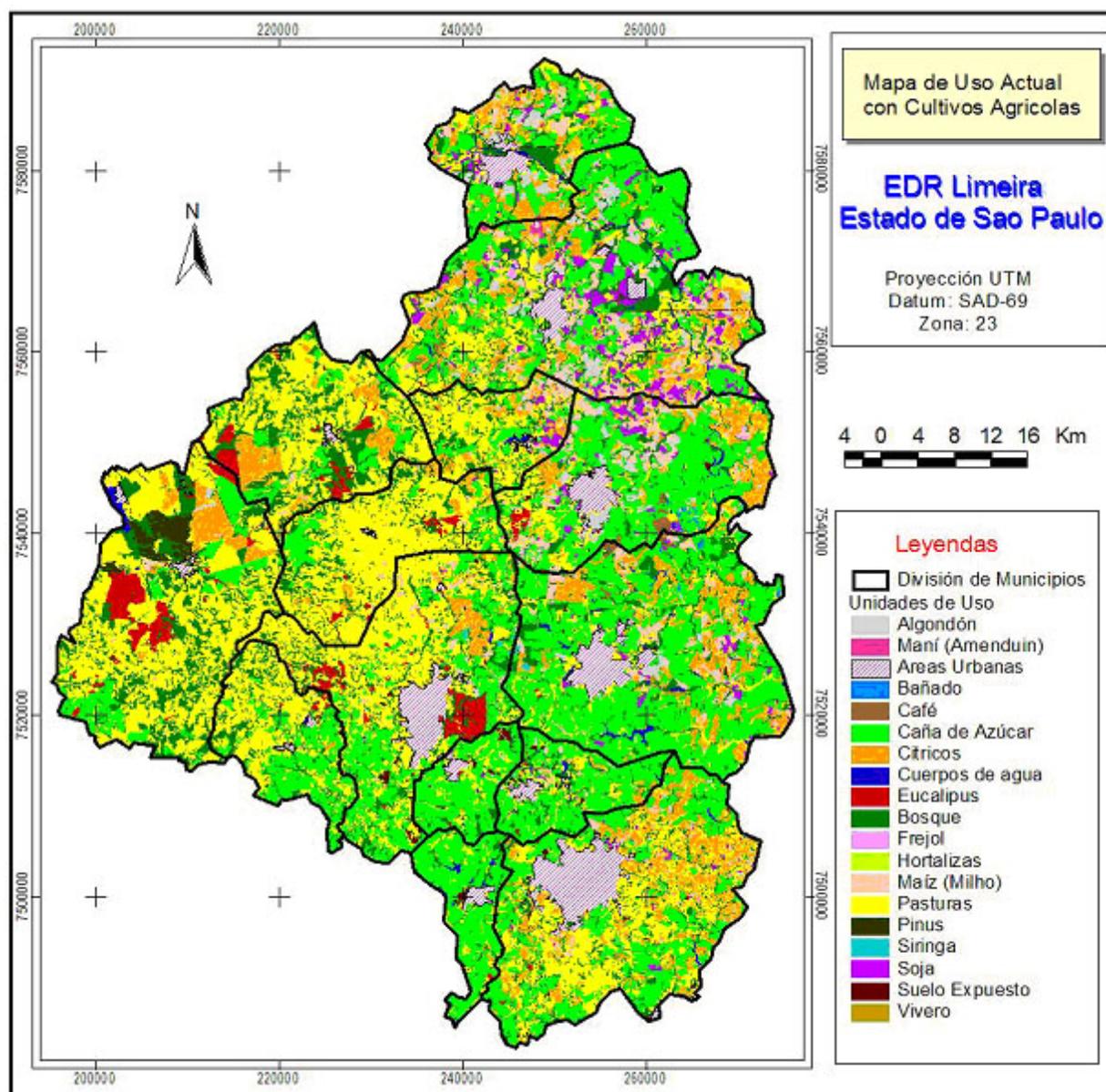


Figura 11.- Mapa de clasificación de sistemas agrícolas, pecuarios y forestales en la RA Limeira – SP en la Campaña Agrícola 2003/2004, a través de imágenes Landsat y CBERS.

5. Conclusiones y recomendaciones

Una de las conclusiones más resaltantes del presente estudio es la gran utilidad que tienen las imágenes de sensoramiento remoto que permite el mapeo de cultivos agrícolas, a través de un análisis multitemporal, encontrándose una complementación entre los satélites Landsat TM y CBERS CCD & IR-MSS, para ampliar la cobertura temporal, que son de vital importancia para permitir la correcta identificación de la diversidad de cultivos anuales, semiperennes y perennes, que cubren la amplia región de la RA de Limeira.

Otra conclusión es la importancia de la banda 2 del sensor IR-MSS del CBERS en el mapeo de los cultivos agrícolas, que permitió una interpretación visual con los mismos resultados obtenidos utilizando el sensor TM de LANDSAT.

Por otro lado podemos afirmar que los resultados alcanzados en el mapeamiento a través de imágenes satelitales, comparativamente con los obtenidos por el Instituto de Economía Agrícolas, tienen una diferencia significativa, por lo que este último no considera la distribución espacial en la cuantificación de las áreas.

Así mismo, se ha podido establecer que el cultivo de caña de azúcar, además de ser considerado como el de mayor importancia económica, también ocupa la mayor superficie del RA de Limeira, con 152.766,2 ha., que representan al 30,7% del área total.

Se sugiere realizar más investigaciones en aplicaciones agrícolas utilizando la banda 2 del sensor IR-MSS, y así mismo se considere fuertemente el aumento de su resolución espacial de este sensor en el satélite Cbers.

Se debería continuar investigando nuevos patrones para la interpretación visual de cultivos de menor extensión relativa, como el café, fréjol, arroz, hortalizas y maní (amendoim).

Se sugiere así mismo a las entidades encargadas de suministrar los datos estadísticos del sector agrícola considerar la utilización de las imágenes satelitales para la generación de estos.

6. Referencias

Carrasco, P.F.P. Comunicación oral en 2004

Del'Arco, I.S.; **Sensoriamento remoto para a Estimativa de Área Agrícola e Levantamento do Perfil Espectro-Temporal de Culturas Agrícolas. 2004.** (INPE) Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos campos 2004 170 p.

Instituto de Economía Agrícola – IEA. Banco de dados. [online]. Disponible en: <http://www.iea.sp.gov.br/fbcoiea.htm>. Acceso en: Noviembre, 2004.

Ipoliti-Ramilo, G.A. **Imagens TM/Landsat-5 da época de pré-plantio para a previsão da área de culturas de verão.** São José dos Campos. 183 p (INPE-7116-TDI/668). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.

Gürtler, S.; Luiz, A.J.B.; Epiphanyo, J.C.N.; **Uniformização de Imagens Landsat para Previsão de Safras Agrícolas;** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11. Belo Horizonte, MG, abr 2003. *Anais.* São Jose dos Campos: INPE, 2003, p. 109-116. CD-ROM.

Nascimento, P.S.R.; Almeida Filho, R. **Utilização da técnica de segmentação em Imagens TM/Landsat visando otimizar a técnica de interpretação visual.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 1996. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 1996.

Rudorff, B.F.T.; Sugawara, L.M.B.; Cândido, A.X.; Moreira, M.A.; Gomes, V.C.; Duarte, V.; Shimabukuro, Y.E.; **Estimativa de área Plantada com Cana-de-Açúcar em Município do Estado de São Paulo por Meio de Imagens de Satélites e Técnicas de Geoprocessamento: Ano Safra 2003/2004.** INPE -10791-RPQ/759 Instituto de Nacional de Pesquisas Espaciais 2004 p 48

Sugawara, L.M.B.; Rudorff, B.F.T.; **Estimativa de Área Plantada com Soja através de Imagens Landsat em Municípios do Norte do Paraná.** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11. Belo Horizonte, MG, abr 2003. *Anais.* São Jose dos Campos: INPE, 2003. p. 27-31.

VIEIRA, C.A.O; **Accuracy of Remotely Sensing Classification of Agricultural Crops: a Comparative Study. 2000. Tesis de doctorado.** School of Geography at the University of Nottingham Nottingham – Inglaterra. 353 p.

7. Anexos

Tabla 2.- Superficie de área agrícolas por municipio, obtenidas a través de la clasificación de las imágenes Landsat y CBERS, en la RA de Limeira de la región central del Estado de Sao Paulo en la campaña agrícola 2003/2004

Cultivos	Analândia		Araras		Cordeirópolis		Corumbataí		Ipeúna		Iracemópolis		Itirapina		Leme	
	ha.	%														
Algodón	0.0	0.0	766.0	1.2	114.8	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	154.5	0.3	1804.6	4.4
Maní (Amendoim)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Áreas Urbanas	237.1	0.7	3387.5	5.2	547.0	3.9	65.2	0.2	247.1	1.3	503.3	4.3	500.6	0.9	1995.6	4.9
Bañado	0.0	0.0	162.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	157.5	0.4
Café	0.0	0.0	432.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	0.0	439.5	1.1
Caña de Azúcar	3123.8	9.5	33971.8	52.6	9095.0	64.1	2728.5	9.8	5997.6	31.3	8674.6	74.4	5486.0	9.7	17350.1	42.6
Cítricos	3911.4	11.9	8497.8	13.2	435.1	3.1	1314.6	4.7	62.9	0.3	105.0	0.9	3323.1	5.9	4950.3	12.1
Cuerpos de agua	16.6	0.1	733.0	1.1	122.6	0.9	0.0	0.0	20.0	0.1	221.1	1.9	440.2	0.8	363.0	0.9
Eucalipto	1510.2	4.6	29.8	0.0	19.9	0.1	509.6	1.8	185.3	1.0	42.3	0.4	3547.2	6.3	365.6	0.9
Bosque	8580.6	26.1	6576.4	10.2	1412.1	10.0	4612.2	16.5	3609.8	18.8	919.7	7.9	12816.7	22.6	3029.8	7.4
Fréjol	0.0	0.0	59.0	0.1	9.5	0.1	22.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	110.2	0.3
Hortalizas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maíz (Milho)	244.7	0.7	3448.4	5.3	423.3	3.0	238.1	0.9	55.6	0.3	0.0	0.0	280.3	0.5	3851.4	9.5
Pasturas	15196.7	46.2	5178.6	8.0	1701.6	12.0	18271.2	65.4	8976.8	46.8	1073.9	9.2	27430.4	48.4	4799.9	11.8
Pino	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.1	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	2587.6	4.6	8.5	0.0
Siringa	0.0	0.0	96.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Soja	0.0	0.0	856.5	1.3	27.9	0.2	32.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1335.2	3.3
Suelo descubierto	49.6	0.2	128.5	0.2	271.9	1.9	110.7	0.4	28.3	0.1	121.3	1.0	138.3	0.2	187.0	0.5
Vivero	0.0	0.0	243.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7	0.0	0.0	0.0
Total	32871.9	100.0	64567.4	100.0	14180.8	100.0	27917.7	100.0	19183.3	100.0	11666.1	100.0	56730.2	100.0	40748.0	100.0

....Continuación **Tabla 2**

Cultivos	Limeira		Pirassununga		Porto Ferreira		Rio Claro		Santa Cruz da Conceição		Santa Gertrudes		Total (ha)
	ha.	%	ha.	%	ha.	%	ha.	%	ha.	%			
Algodón	112.1	0.2	3013.7	4.1	1211.0	4.9	102.0	0.2	136.0	0.9	0.0	0.0	7414.6
Mani (Amendoim)	0.0	0.0	166.4	0.2	13.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	180.3
Área Urbana	6722.4	11.5	2232.8	3.1	1827.2	7.4	3924.4	7.8	171.3	1.1	475.8	4.8	22445.6
Bañado	0.0	0.0	14.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	334.3
Café	0.0	0.0	178.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1058.7
caña de Azúcar	16377.3	28.1	21960.9	30.0	7195.7	29.3	11757.4	23.5	2118.3	14.1	6929.4	70.2	152766.2
Cítricos	10491.9	18.0	9749.8	13.3	4750.3	19.3	1985.5	4.0	1881.3	12.6	35.9	0.4	51495.0
Cuerpos de agua	258.2	0.4	559.2	0.8	229.3	0.9	85.8	0.2	129.3	0.9	54.7	0.6	3233.2
Eucalipto	65.0	0.1	48.4	0.1	11.7	0.0	2518.0	5.0	6.7	0.0	45.6	0.5	8905.2
Bosque	5269.1	9.0	10101.1	13.8	3353.1	13.6	6881.4	13.8	2439.2	16.3	650.6	6.6	70251.8
Fréjol	111.1	0.2	403.6	0.6	60.6	0.2	4.6	0.0	34.3	0.2	0.0	0.0	815.1
Hortalizas	0.0	0.0	32.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.1
Maíz (Milho)	1028.8	1.8	7094.0	9.7	2131.9	8.7	979.0	2.0	1001.2	6.7	54.9	0.6	20831.6
Pasturas	17194.2	29.5	12176.1	16.6	2947.0	12.0	21173.3	42.3	6550.4	43.7	1332.9	13.5	144003.1
Pino	0.0	0.0	65.9	0.1	0.0	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2688.0
Siringa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	217.0
Soja	323.5	0.6	5126.4	7.0	727.0	3.0	38.9	0.1	466.6	3.1	14.4	0.1	8948.4
suelo descubierto	353.8	0.6	209.225	0.3	118.5	0.5	464.1	0.9	47.5	0.3	275.3	2.8	1705.3
Vivero	12.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	272.7
Total	58319.9	100.0	73132.6	100.0	24577.2	100.0	50042.1	100.0	14982.1	100.0	9869.5	100.0	497598.3

Nota: en rojo cultivo con mayor superficie y porcentaje en cada municipio.

A-2 .- Fotografías del levantamiento de campo

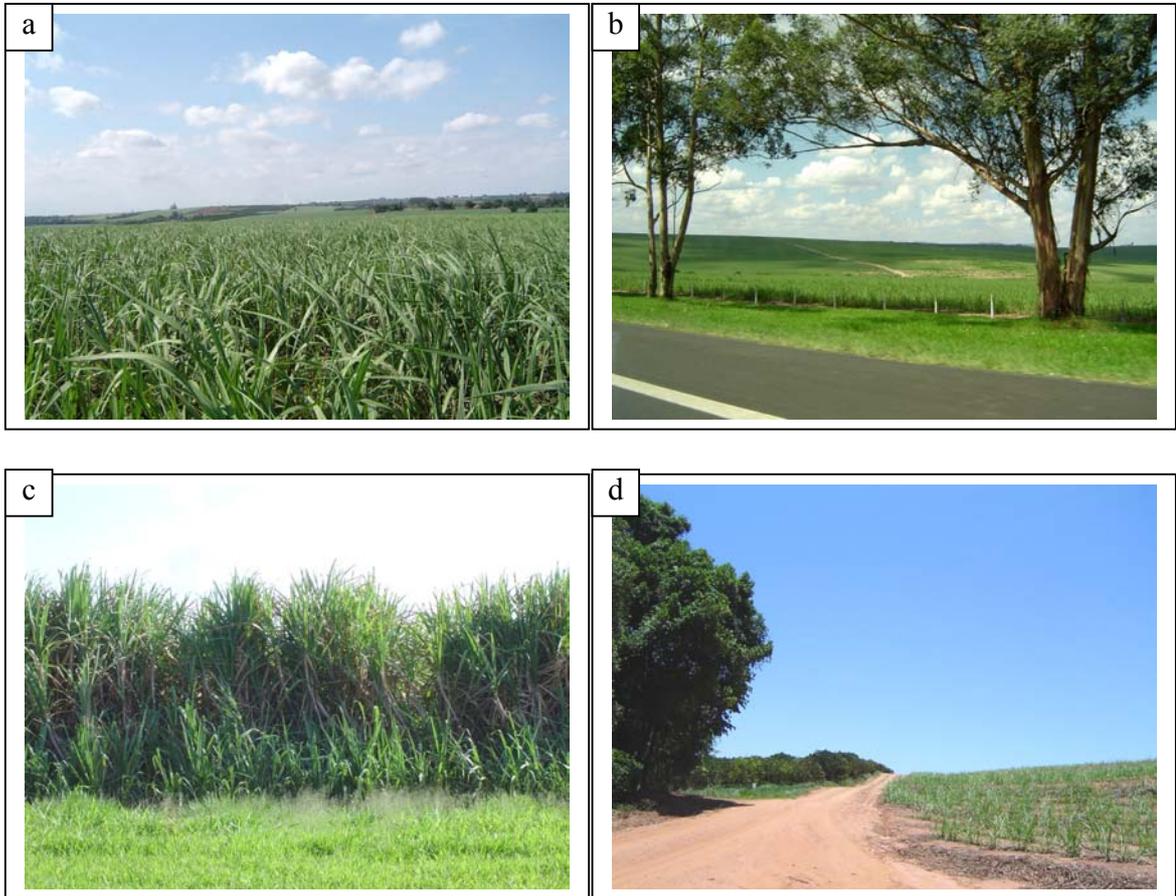


Figura A.1.- Cultivo de caña de azúcar a) en estado de desarrollo en el municipio de Limeira b) en su etapa de desarrollo inicial en el municipio de Itirapina c) en estado de cosecha en el municipio de Río Claro d) En su etapa de rebrote inicial, aun no cubre el suelo, en el municipio de Pirassununga

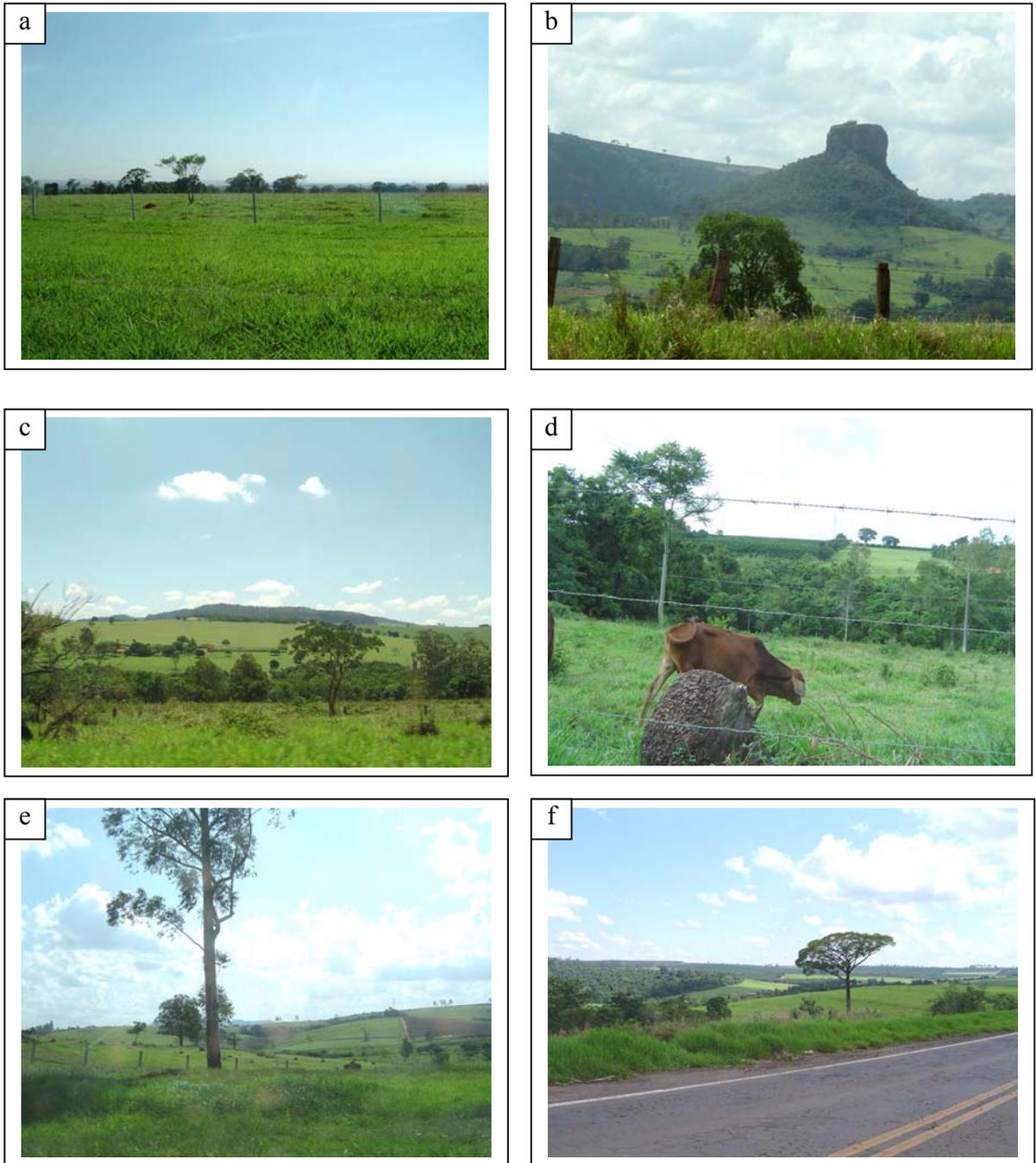


Figura A.2.- Pasturas a) en una región plana en el municipio de Pirassununga b y c) en una región ondulada en el municipio de Analândia d) en la zona ondulada del municipio de Limeira e) en zona ondulada del Municipio de Río Claro f) en el municipio de Itirapina.

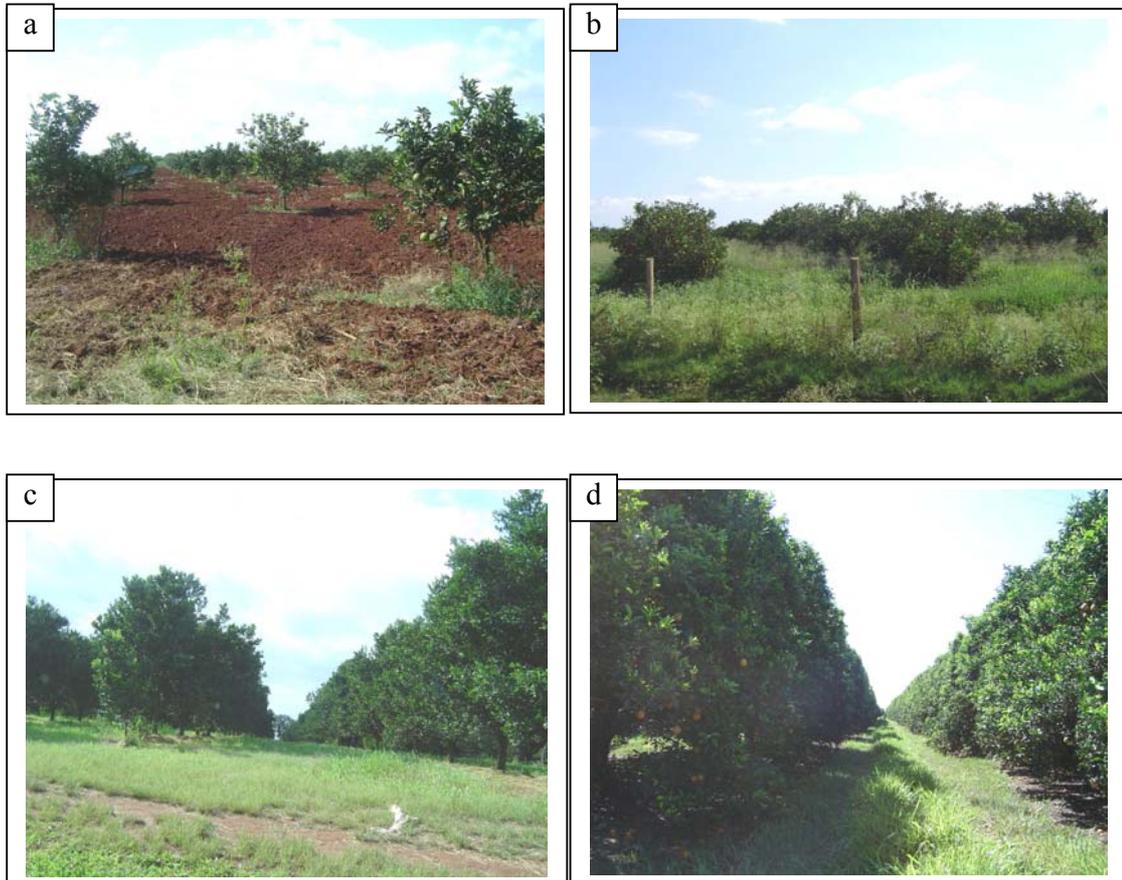


Figura A. 3.- Plantaciones de cítricos a) Una plantación recién establecida con suelo removidos, que en la imagen aun no manifiesta su reflectancia, observándose solo el efecto del suelo b) Plantación joven de cítricos enmalezado, cuya mayor respuesta en la imagen es producto de las malezas c) Plantación adulta de cítricos en Limeira d) Plantación adulta de cítricos con un buen nivel de manejo en la región de Pirassununga.

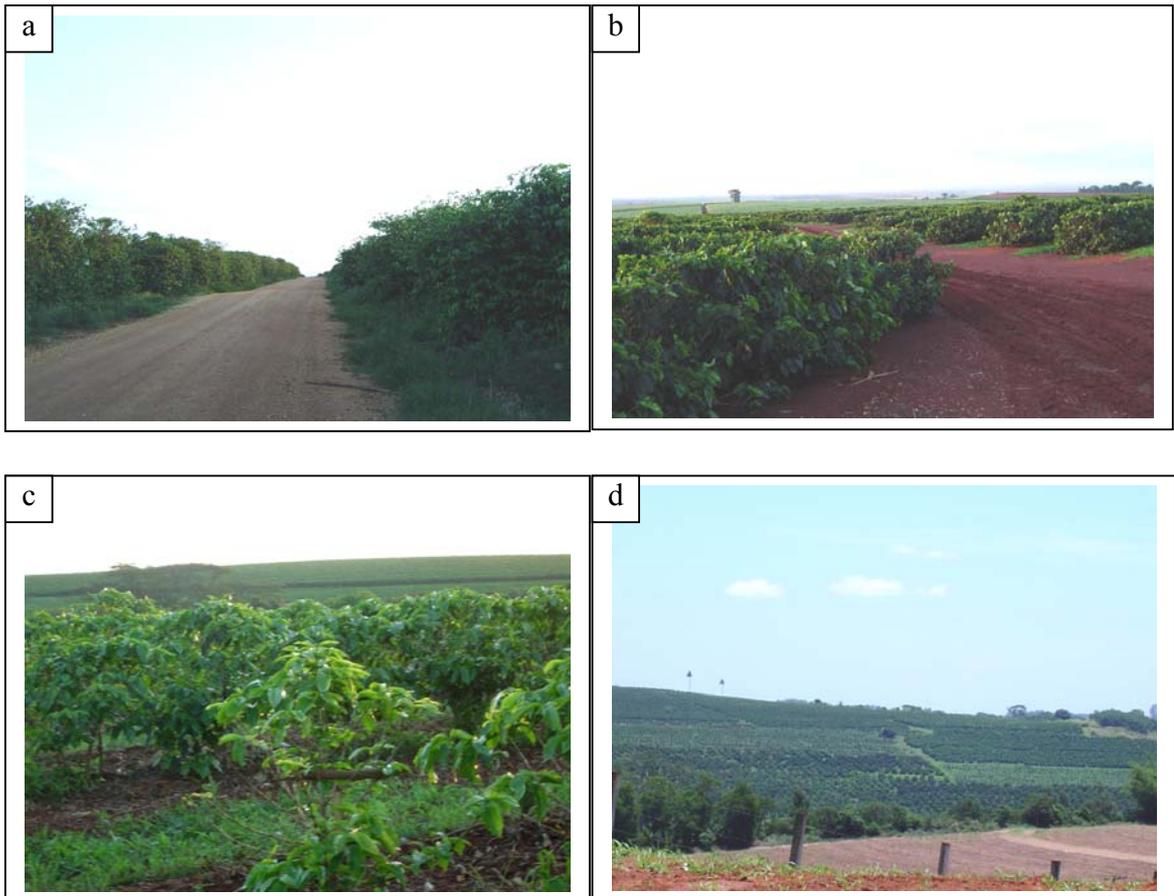


Figura A. 4.- Plantaciones de café a) café en estado adulto en Araras b) café en estado de desarrollo c) café en estado inicial de desarrollo d) café al fondo de una plantación de cítricos,

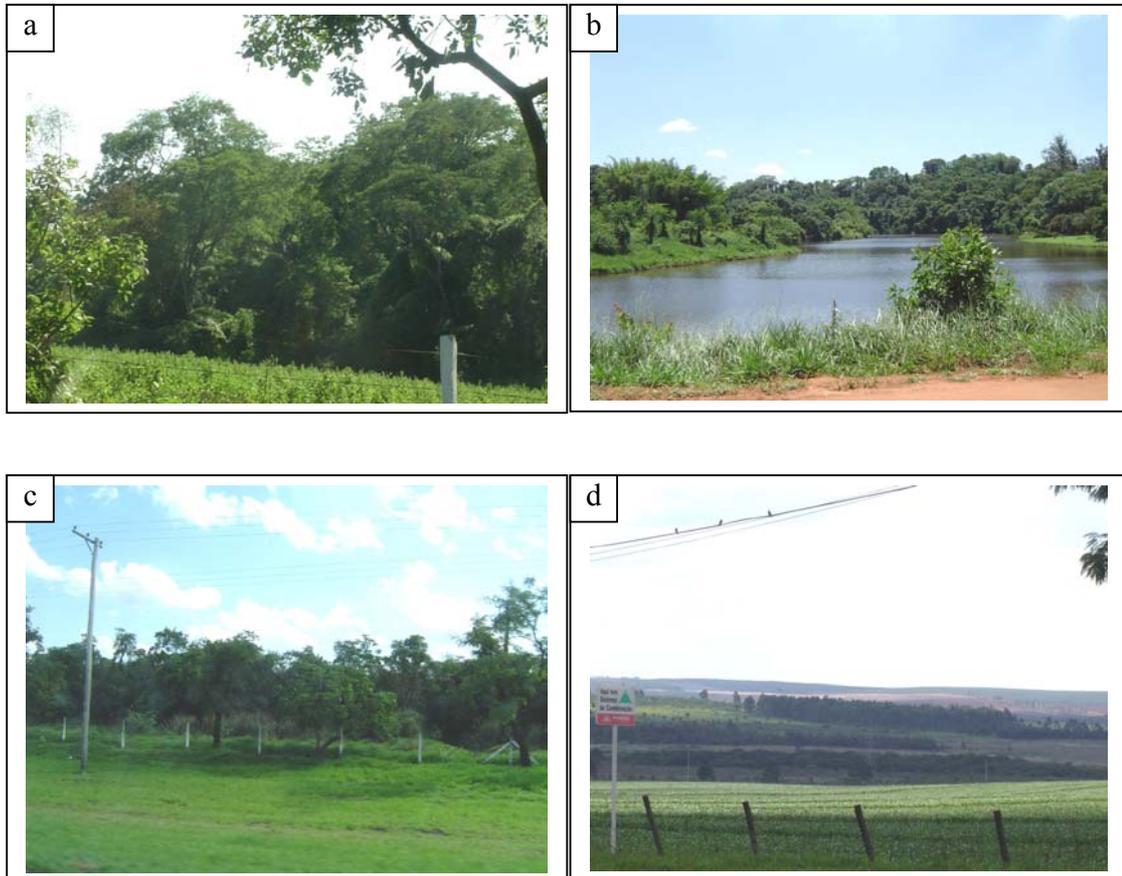


Figura A. 5.- Unidades de uso con bosques a) Bosques remanentes en Pirassununga b) Bosque de galería que rodea una laguna c) Bosque de cerrado en Itirapina d) Bosque de cerrado ralo al fondo, y en primer plano cultivo de maíz en Itirapina

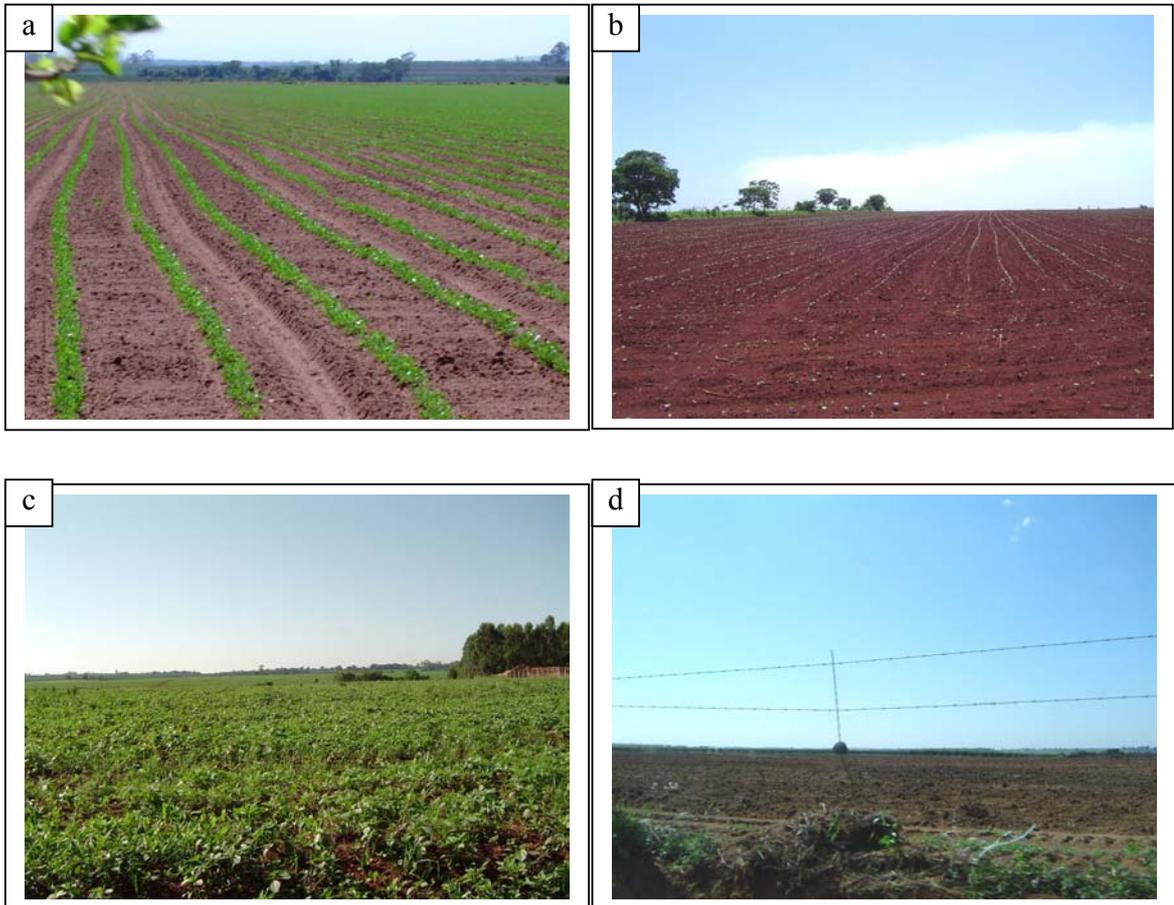


Figura A. 6.- Cultivos anuales a) en la región de Pirassununga se tiene establecido cultivos de maní (amendoim) b) Cultivo de algodón recién establecido en proceso de germinación. c) Área enmalezada donde anteriormente se había sembrado algodón d) Terreno recién preparado para la siembra de verano.

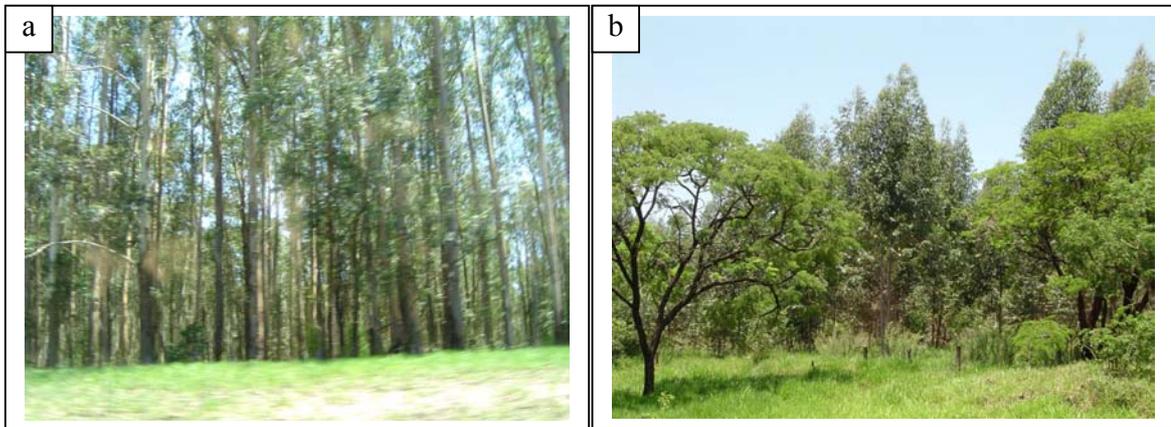


Figura A. 7.- Plantaciones de Eucalipto a) en estado adulto b) en estado de desarrollo inicial que se observan en la imagen de una coloración rojo intenso.

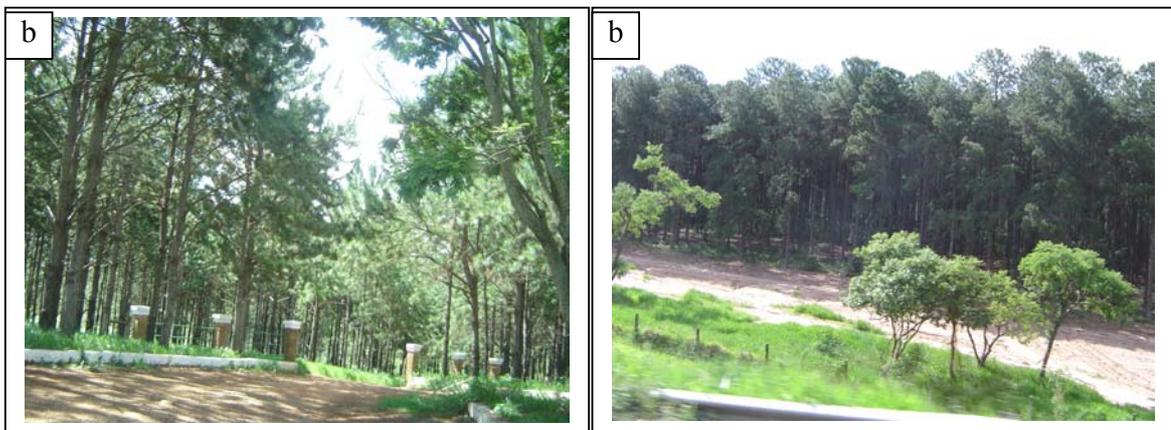


Figura A. 8.- Plantaciones de Pino a) en estado desarrollo medio b) en estado adulto, que se observan en la imagen de una coloración café oscuro.

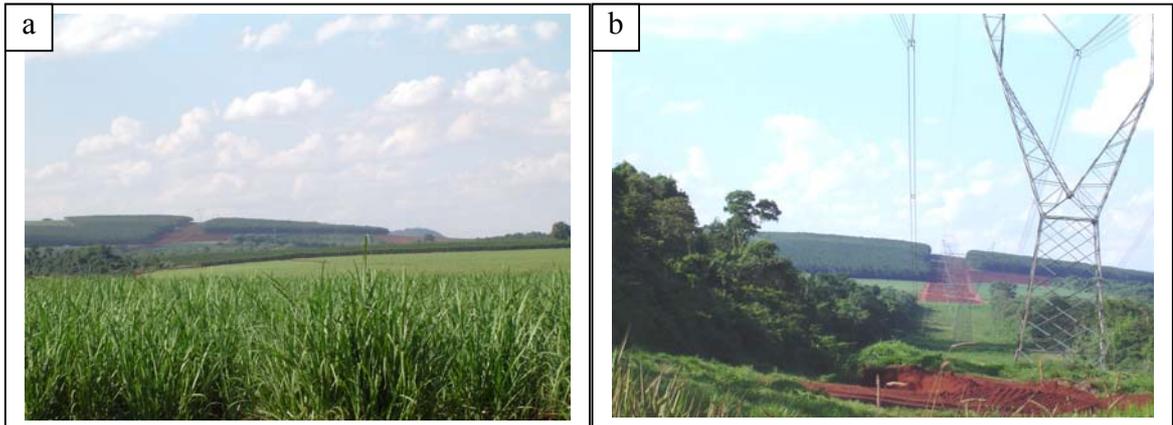


Figura A. 9.- Plantaciones de siringa a) en primer plano caña de azúcar, luego pasturas, a continuación cítricos y al fondo plantación de siringa b) a la izquierda bosque, luego debajo de línea eléctrica maíz y al fondo siringa en el municipio Río Claro.

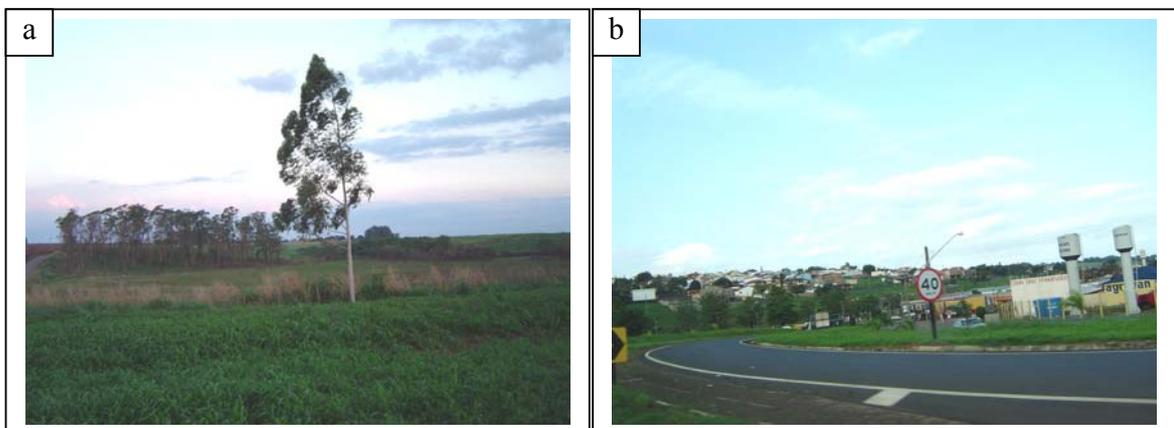


Figura A. 10.- Otros usos a) Vegetación de bañado en el municipio de Leme b) Establecimiento de áreas urbanas y redes viarias en Leme.