

Imágenes Landsat y CBERS en la identificación del uso del suelo con cultivos agrícolas

Ervin Camargo Arce ¹
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff ²
Luciana Miura Sugawara Berka ²
Pablo Fernando Carrasco Pereira ³

¹ Prefectura del Departamento de Santa Cruz, Bolivia
Telf of. (+591)3328276 Dom. (+591)33524275
ecamargoarce@yahoo.es

² INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{bernardo, lmiura}@ltd.inpe.br

³ José B. y Ordóñez 984-Rivera, Uruguay
Telf of. (+598)-6224953
pcarrasco@adinet.com.uy

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: remote sensing, image processing, agricultural crops, area estimation, sensoriamento remoto, processamento de imagens, culturas agrícolas, estimativa de área.

1. Introducción

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

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, coincide con la temporada de mayor nubosidad, la misma que dificulta la obtención de imágenes satelitales en optimas condiciones para la identificación de los cultivos de ciclo corto, para lo cual se hace necesario tomar escenas de imágenes de diferentes satélites, para poder cubrir los diferentes estadios de desarrollo de los cultivos agrícolas, permitiendo de esta manera diferenciar unos cultivos de otros, dentro de las técnicas de interpretación del análisis multitemporal.

Este estudio ha sido desarrollado en el marco del desarrollo de una monografía científica para el XVII Curso Internacional de Sensoramiento Remoto e Sistemas de Informaciones Geográficas del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (INPE) en cooperación con las Naciones Unidas a través de CRETEALC (Centro Regional de Educação em Ciência e Tecnologia Espaciais para América Latina e Caribe) Campus Brasil.

El presente estudio tiene por objetivo levantar información del uso del suelo con cultivos agrícolas en la Región Administrativa (RA) de Limeira, estado de São Paulo, Brasil, en la campaña agrícola 2003/2004, por medio de imágenes de satélites de sensoramiento remoto del Lansat-5/TM y CBERS-2/CCD & IR-MSS.

2. Área de estudio

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, Rio 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**).

Las principales actividades de la región, son la agricultura, donde principalmente se cultiva la caña de azúcar, los cítricos, el maíz y la soya. Otra actividad importante es la ganadería bovina, para lo cual se han destinados una importante área a las pasturas. Finalmente los suelos en esta zona tienen un uso forestal con plantaciones importantes de pino y eucalipto, para industrialización de la celulosa. Existen áreas de conservación como bosque de galería.

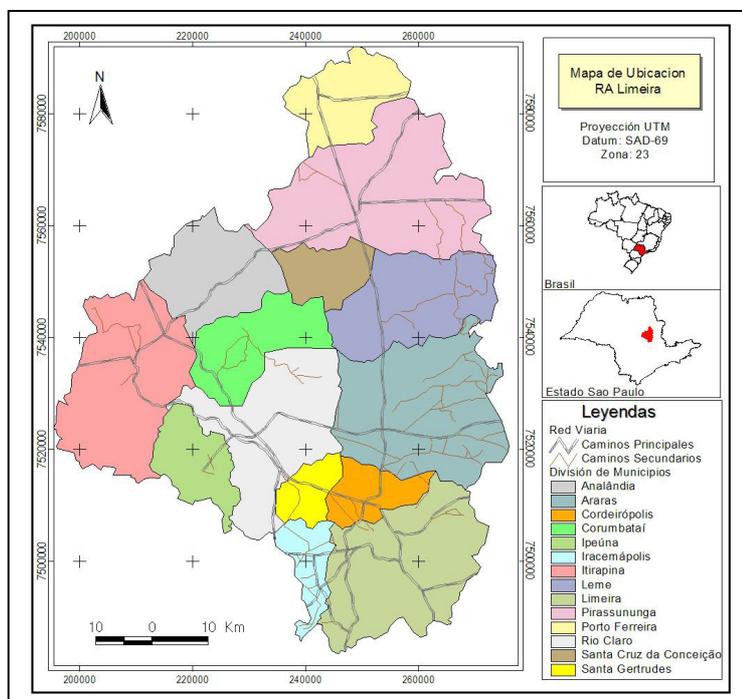


Figura 1.- Mapa de ubicación del área de estudio de la RA de Limeira - SP

3. Materiales y Métodos

Las imágenes que fueron utilizadas en el presente estudio, son obtenidas de dos fuentes: 1) del satélite Landsat-5 sensor TM de las órbitas 220 puntos 75 y 76 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 y 2) del satélite CBERS sensor CCD y IR-MSS de la órbita 125 puntos 154 y 155. Las fechas de adquisición de imágenes fueron: 1) inicio de la campaña agrícola en el 15/10/2003 (Landsat) donde se diferencian cultivos anuales de pasturas y bosques; 2) la siguiente fue tomada en la época de alta pluviosidad del 19/01/2004 (Landsat) donde se diferencian caña y maíz de soya y algodón; 3) en la tercera fecha del 16/03/2004 (CBERS) se establece diferencias entre soya y algodón; 4) en la cuarta fecha del 4/04/2004 (Landsat) se puede diferenciar entre maíz y caña y; 5) finalmente, en la época seca fueron tomadas las imágenes del 8/08/2004 (Landsat), 24/07/2004 y 19/08/2004 (CBERS) donde se diferencia claramente los cítricos (Rudorff et al., 2004) (Del Arco, 2004)

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. 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.

En la metodología de estimación del uso actual con cultivos agrícolas, fue utilizada la clasificación no supervisada en el aplicativo SPRING. La clasificación de las imágenes envuelven dos etapas distintas: clasificación digital y interpretación 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 usando algoritmo denominado ISOSEG al 95% de probabilidad de la clasificación no supervisada, 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 cultivos en el análisis multitemporales, que posteriormente fueron asociadas a las clases temáticas de cultivos y otros usos que ocupan el suelo (Sugawara & Rudorff, 2003).

A través del cruzamiento del Plano de Información (PI) conteniendo la clasificación de los cultivos agrícolas y otros usos con el mapa conteniendo los límites políticos municipales fue estimada a área plantada con los diferentes temas evaluados 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 de sensor IR-MSS debe ser remuestreado de 80 x 80m a 20 x 20m en su resolución espacial.

Los resultados obtenidos aplicando la metodología descrita anteriormente 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 (amenduin) y viveros.

De acuerdo al análisis multitemporal de las imágenes, se han podido establecer patrones para diferenciar los cultivos en estudio, como por ejemplo, en la época seca (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. Para el café, se ha podido observar que tiene una similar respuesta espectral que los cítricos, debido a su similitud en cuanto al 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.

La **Tabla 1** muestra los resultados obtenidos a través del mapeo de áreas agrícolas y otros usos 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 súperestimación del 80,7 y 42,04% respectivamente, y a sido subestimado el cultivo fréjol en un 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**, se establece claramente que la actividad económica más importantes en la región de la RA de Limeira es el cultivo de la caña de azúcar, cuya área de cultivo es la más extensa sumando una superficie total de 152.766,2 ha, ocupando 30,7% de la superficie total del área de estudio, información 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		
Algodon	7414,6	1,49	6480,0	12,6
Mani (Amenduin)	180,3	0,04		
Area Urbana	22445,6	4,51		
Bañado	334,3	0,07		
Cafe	1058,7	0,21	1914,0	-80,7
caña de Azúcar	152766,2	30,70	135178,0	11,51
Citricos	51495,0	10,35	42918,4	16,65
Cuerpos de agua	3233,2	0,65		
Eucalipus	8905,2	1,79		
Bosque	70251,8	14,12		
Frejol	815,1	0,16	428,0	47,5
Hortalizas	32,1	0,01		
Maiz (Milho)	20831,6	4,19	29590,0	-42,04
Pasturas	144003,1	28,94		
Pinus	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		

*Fuente: Instituto de Economía Agrícola (<http://www.iea.sp.gov.br/out/iprevis.php>).

Como se puede observar en la **Tabla 2** que es corroborada por la información espacial en el mapa de la **Figura 2**, podemos analizar que el cultivo de caña, predomina en la zona de fisiografía suavemente ondulada, 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 52,6 % de su territorio municipal (**Tabla 2**). 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 (**Tabla 2**).

Luego, la segunda actividad de importancia económica en esta RA 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 de Limeira, cuya fisiografía está caracterizada por ser ondulada a fuertemente ondulada, que no permiten desarrollar actividades agrícolas mecanizadas. El área ocupada por esta actividad cubre una superficie de 144.003,1 ha, la misma que representa al 28,94 % de la superficie total (**Tabla 2**). Esta actividad se encuentra entre las principales actividades económicas en los municipios delimitados por Analândia, Corumbataí, Ipeúna, Itirapina, Limeira, Rio Claro y Santa Cruz da Conceição, siendo el municipio de Itirapina,

el mas 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**). Tomando en cuenta la distribución relativa de la ocupación de los suelos, se resalta que el municipio de Corumbataí que cuenta con la mayor proporción relativa teniendo 65,4% de su área total destinada al establecimiento de pasturas.

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

Municipios	Analândia		Araras		Cordeirópolis		Corumbataí		Ipeúna		Iracemápolis		Itirapina	
	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
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
Caña 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
Citricos	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
Eucaliptos	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
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
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
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
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
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
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
Otros *	303,4	0,9	4750,7	7,4	941,5	6,6	175,9	0,6	295,4	1,5	845,7	7,2	1095,8	1,9
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

...Continuación **Tabla 2**

Municipios	Leme		Limeira		Pirassununga		Porto Ferreira		Rio Claro		Santa Cruz da Conceição		Santa Gertrudes		Total
	ha	%	ha	%	ha	%									
Algodón	1804,6	4,4	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
Café	439,5	1,1	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 Azúcar	17350,1	42,6	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
Citricos	4950,3	12,1	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
Eucalipto	365,6	0,9	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	3029,8	7,4	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	110,2	0,3	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
Maíz (Milho)	3851,4	9,5	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	4799,9	11,8	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	8,5	0,0	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
Soja	1335,2	3,3	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
Otros *	2703,0	6,6	7346,8	12,6	3214,6	4,4	2188,9	8,9	4595,1	9,2	348,1	2,3	805,8	8,2	29610,8
Total	40748,0	100	58319,9	100	73132,6	100	24577,2	100	50042,1	100	14982,1	100	9869,5	100	498788,7

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

* = maní (amenduin), bañados, hortalizas, áreas urbanas, cuerpos de aguas, siringa, suelos descubiertos, vivero.

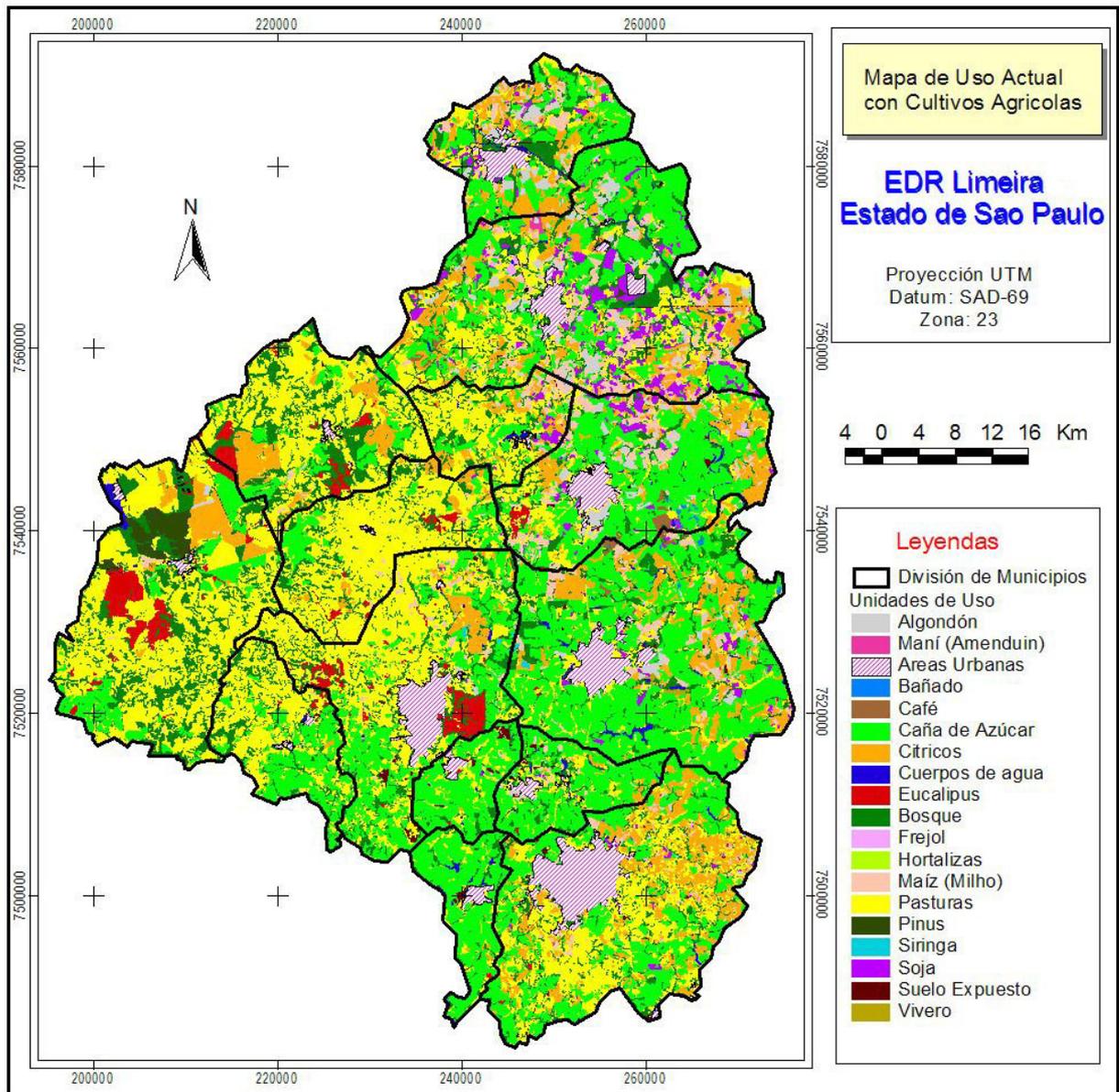


Figura 2.- Mapa de clasificación de cultivos agrícolas y otros usos en la RA de Limeira en la campaña agrícola 2003/2004, a través de imágenes Landsat y CBERS.

5. Conclusiones y Recomendaciones

Una de las conclusiones más resaltantes del presente estudio es la gran utilidad que tienen las imágenes de sensoramiento remoto para 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 que se hagan más investigaciones en aplicaciones agrícolas con la banda 2 del sensor IR-MSS, y así mismo se considere fuertemente el aumento de su resolución espacial.

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

Las entidades encargadas de suministrar los datos estadísticos del sector agrícola deberán considerar la utilización de las imágenes satelitales para la generación de estos.

Referencias

Del'Arco, I.S. **Sensoriamento remoto para a estimativa de área agrícola e levantamento do perfil espectro-temporal de culturas agrícolas. 2004.** 170 p. (INPE) Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 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.

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.; Berka, L.M.S.; Moreira, M.A.; Duarte, V.; Rosa, V.G.C. **Estimativa de área plantada com cana-de-açúcar em municípios do Estado de São Paulo por meio de imagens de satélites e técnicas de geoprocessamento: ano safra 2004/2005.** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004. 39p. (INPE-11421-RPE/762).

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 José dos Campos: INPE, 2003. p. 27-31.