

01 H. 121
526
I

42815

**PROVINCIA DE TUCUMÁN
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES
ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGROINDUSTRIAL
“OBISPO COLOMBRES”**

**ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES CULTIVADAS Y
RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS UTILIZANDO
INFORMACIÓN DE SENSORES REMOTOS**

Informe Final



**TUCUMÁN
Julio de 2001**

Instituciones Participantes:

Ministerio de la Producción de la Provincia de Tucumán

Consejo Federal de Inversiones

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres

Comisión Nacional de Actividades Espaciales

Ejecución del Proyecto:

Lic. Federico J. Soria

Ing. Agr. Carmina del V. Fandos

ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES CULTIVADAS Y RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS UTILIZANDO INFORMACION DE SENSORES REMOTOS

RESUMEN

En el presente trabajo, utilizando la información digital aportada por imágenes satelitales LandSat5 TM y LandSat7 ETM+, se estimó la superficie ocupada por los cultivos de caña de azúcar para la zafra 2000; tabaco, soja, maíz, y poroto para la campaña 2000/2001, y caña de azúcar para la zafra 2001, reflejando, en ambas zafras, la distribución areal de la caña de azúcar discriminada en tres niveles de producción.

El área de estudio se circunscribió a la provincia de Tucumán, específicamente el proyecto abarcó las regiones agrológicas de pedemonte, llanura y la cuenca intermontana de Tapia-Trancas, en las cuales se desarrollan preferentemente los cultivos antes mencionados.

La identificación de los cultivos involucrados se realizó mediante el análisis digital de las imágenes utilizando el método de Clasificación Multiespectral Supervisada.

De las clasificaciones se obtuvieron dos resultados, uno estadístico del que se infiere la superficie del cultivo en estudio y otro gráfico el cual refleja su distribución en el territorio de la provincia de Tucumán.

ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES CULTIVADAS Y RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS UTILIZANDO INFORMACION DE SENSORES REMOTOS

INDICE:

	Página
I INTRODUCCION	7
II OBJETIVOS DEL TRABAJO	7
III ALCANCE DEL TRABAJO	7
IV ÁREA DEL TRABAJO	8
V PLAN DE TAREAS	8
VI PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS	9
1 - CULTIVO: CAÑA DE AZÚCAR ZAFRA 2000	13
1.1 - Características de la campaña	13
1.2 - Proceso de clasificación	13
1.2.1 - Selección de imágenes	13
1.2.2 - Obtención y selección de firmas espectrales	14
1.2.3 - Clasificación multiespectral	17
1.3 - Resultados	17
1.3.1 - Salida gráfica	17
1.3.2 - Cálculo de superficies	17
1.3.3 - Validación de los resultados	19
1.4 - Conclusiones	20
2 - CULTIVO: TABACO CAMPAÑA 2000/2001	22
2.1 - Aspectos generales del cultivo	22
2.2 - Estadios del cultivo con significación para el procesamiento digital	24
2.3 - Proceso de clasificación	29
2.3.1 - Selección de imágenes	29
2.3.2 - Obtención y selección de firmas espectrales	29
2.3.3 - Clasificación multiespectral	31

2.4 - Resultados	32
2.4.1 - Salida gráfica	32
2.4.2 - Cálculo de superficies	32
2.4.3 - Validación de los resultados	32
2.5 – Conclusiones	33
3 - CULTIVO: SOJA CAMPAÑA 2000/2001	35
3.1 - Características de la campaña	35
3.2 - Proceso de clasificación	35
3.2.1 - Selección de imágenes	35
3.2.2 - Obtención y selección de firmas espectrales	36
3.2.3 - Clasificación multiespectral	38
3.3 - Resultados	38
3.3.1 - Salida gráfica	38
3.3.2 - Cálculo de superficies	38
3.3.3 - Validación de los resultados	39
3.4 - Comparación entre las campañas 1998/1999 y 2000/2001	39
3.5 - Conclusiones	40
4 - CULTIVO: MAIZ CAMPAÑA 2000/2001	42
4.1 - Características de la campaña	42
4.2 - Proceso de clasificación	42
4.2.1 - Selección de imágenes	42
4.2.2 - Obtención y selección de firmas espectrales	43
4.2.3 - Clasificación multiespectral	43
4.3 - Resultados	44
4.3.1 - Salida gráfica	44
4.3.2 - Cálculo de superficies	44
4.3.3 - Validación de los resultados	45
4.4 - Conclusiones	45
5 - CULTIVO: POROTO CAMPAÑA 2000/2001	47
5.1 - Características de la campaña	47
5.2 - Proceso de clasificación	47
5.2.1 - Selección de imágenes	47
5.2.2 - Obtención y selección de firmas espectrales	49
5.2.3 - Clasificación multiespectral	49
5.3 - Resultados	51
5.3.1 - Salida gráfica	51
5.3.2 - Cálculo de superficies	51
5.3.3 - Validación de los resultados	51
5.4 - Conclusiones	52

6 - CULTIVO: CAÑA DE AZUCAR ZAFRA 2001	55
6.1 - Características de la campaña	55
6.2 - Proceso de clasificación	56
6.2.1 - Selección de imágenes	56
6.2.2 - Obtención y selección de firmas espectrales	57
6.2.3 - Clasificación multiespectral	57
6.3 - Resultados	59
6.3.1 - Salida gráfica	59
6.3.2 - Cálculo de superficies	59
6.3.3 - Validación de los resultados	62
6.4 - Comparación entre las zafras 1999 y 2001	63
6.5 - Conclusiones	64
7 – CONCLUSIONES FINALES	65
8 - BIBLIOGRAFIA	67
9 - AGRADECIMIENTOS	69

ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES CULTIVADAS Y RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS UTILIZANDO INFORMACION DE SENSORES REMOTOS

ANEXO

INDICE:

Página:

Planillas de campo

Caña de azúcar zafra 2000	I
Tabaco campaña 2000/2001	II
Granos campaña 2000/2001	III
Caña de azúcar zafra 2001	

Estadísticas de firmas espectrales

Caña de azúcar zafra 2000	IV
Tabaco campaña 2000/2001	V
Soja campaña 2000/2001	VI
Maíz campaña 2000/2001	VII
Poroto campaña 2000/2001	VIII
Caña de azúcar zafra 2001	IX

Datos climáticos

X

Mapas temáticos

Caña de azúcar zafra 2000	XI
Tabaco campaña 2000/2001	XII
Granos campaña 2000/2001	XIII
Caña de azúcar zafra 2001	XIV
Mapa síntesis	XV

I - INTRODUCCIÓN

El presente constituye el Informe Final del proyecto ***“Estimación de superficies cultivadas y rendimientos productivos utilizando información de sensores remotos”*** para la Provincia de Tucumán (contrato de locación de obra firmado entre el Consejo Federal de Inversiones (CFI) y la Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombres” (EEAOC) el 16/06/2000, expediente N°4271-00) y tiene como antecedentes el Primer Informe Parcial, el Informe de Avance y el Segundo Informe Parcial del mencionado Proyecto y el Informe Final del contrato de obra firmado entre el CFI y la EEAOC el 18/12/97, expediente N° 3600; mediante el cual la EEAOC realizó el ***“Relevamiento satelital de la Provincia de Tucumán – Determinación de área cultivada con citrus y granos, y producción de caña de azúcar”***.

II - OBJETIVOS DEL TRABAJO

El presente trabajo tuvo varios objetivos utilizando, en todos los casos, la información suministrada por imágenes satelitales. Ellos fueron:

- Estimar la superficie cultivada y producción de caña de azúcar para las zafras 2000 y 2001.
- Estimar la superficie destinada al cultivo de tabaco para la campaña 2000/2001.
- Estimar discriminadamente las superficies cultivadas en el territorio provincial con soja, maíz y poroto para la campaña 2000/2001.
- Comparar las variaciones areales de los cultivos que fueron identificados y cuantificados en el contrato precedente (año 1999).
- Acrecentar información para la elaboración de modelos universales aplicables a variadas condiciones agroclimáticas y fenológicas.

III - ALCANCE DEL TRABAJO

Establecer espacial y cuantitativamente, dentro del territorio provincial, el área ocupada por el cultivo de caña de azúcar, estimando su producción global a partir de la

diferenciación de sectores con distintos niveles de producción y el área ocupada por los cultivos de tabaco, soja, maíz y poroto. Simultáneamente acumular información que permita en el futuro la elaboración de modelos universales aplicables a la predicción bajo condiciones variables tanto climáticas como biológicas de los cultivos involucrados.

IV - AREA DE TRABAJO

La Provincia de Tucumán, se encuentra situada entre los 26° y 28° de latitud sur y los 64° 30' y 66° 30' de longitud oeste; comprende una superficie de 22.524 km². Casi un 45% de su superficie se encuentra ocupada por serranías y montañas ubicadas en la mitad oeste de su territorio.

El área específica de estudio del proyecto abarcó las regiones agrológicas de pedemonte, llanura y la cuenca intermontana de Tapia-Trancas, en las cuales se desarrollan preferentemente los cultivos en estudio.

V - PLAN DE TAREAS

Para la ejecución del proyecto se efectuaron, cronológicamente, las siguientes tareas:

- Estimación de la superficie y de la producción de caña de azúcar disponible para la zafra 2000 (Primer Informe Parcial).
- Estimación de la superficie cultivada con tabaco para la campaña 2000/2001 (Informe de Avance).
- Estimación de las superficies cultivadas con soja y maíz para la campaña 2000/2001 (Segundo Informe Parcial).
- Estimación de la superficie cultivada con poroto para la campaña 2000/2001 y estimación de la superficie y de la producción de caña de azúcar disponible para la zafra 2001 (Informe Final).

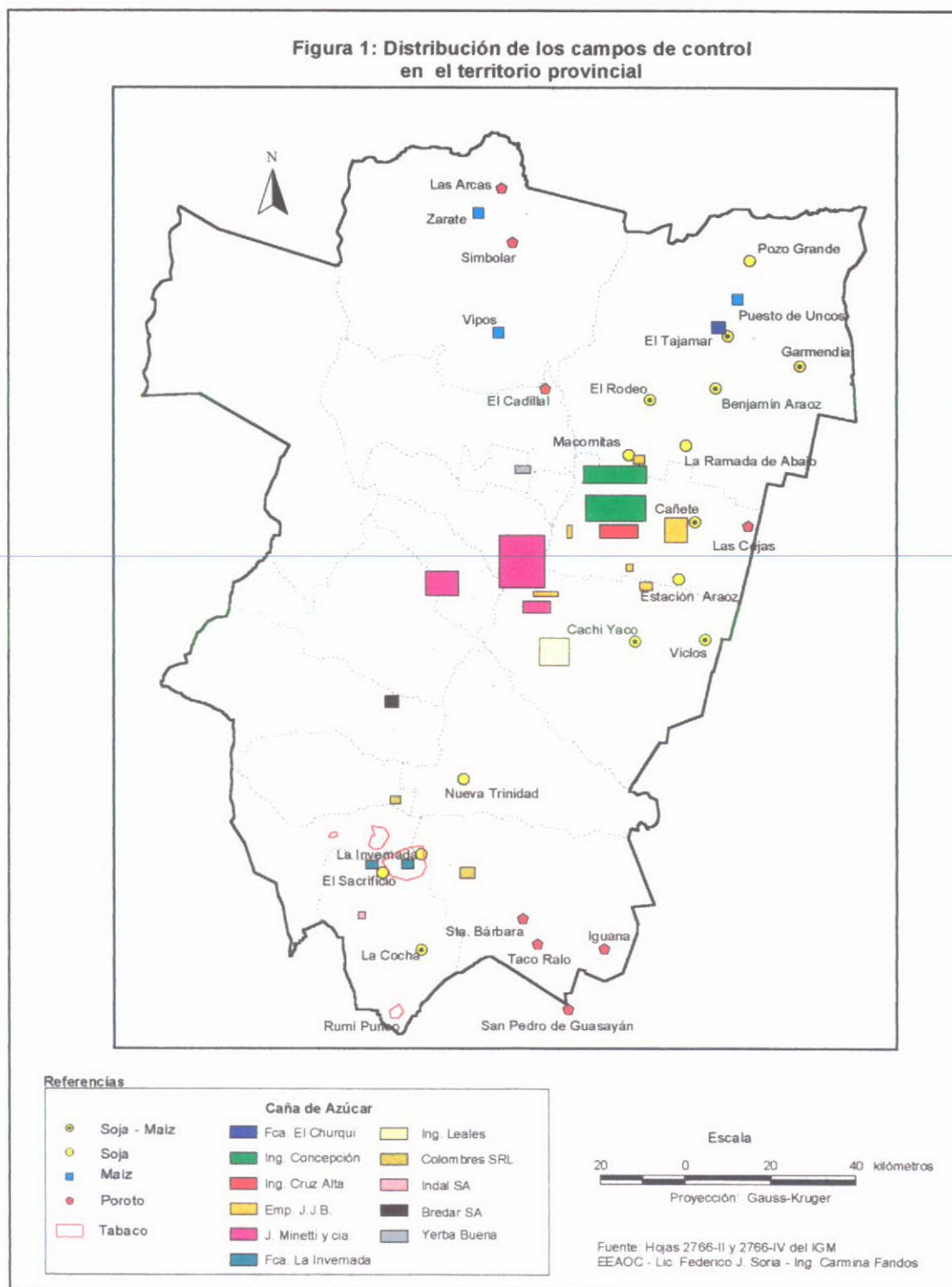
VI - PROCEDIMIENTO DE ANALISIS

El procedimiento de análisis y la metodología adoptada (clasificación multiespectral supervisada) para clasificar los cultivos involucrados en el proyecto se encuentran descritos en detalle en el Informe Final del contrato de obra firmado entre el C.F.I. y la EEAOC el 18/12/97, expediente N°3600; mediante el cual la EEAOC realizó el ***“Relevamiento satelital de la Provincia de Tucumán – Determinación de área cultivada con citrus y granos, y producción de caña de azúcar”***.

En líneas generales, la clasificación de todos los cultivos analizados involucró el desarrollo secuencial de los siguientes pasos:

- Selección de lotes de control o campos de entrenamiento: áreas piloto adicionales a las seleccionadas en el trabajo precedente, con cultivos reconocidos, para identificar las respuestas espectrales. Su distribución en la provincia se aprecia en la Figura 1.
- Georreferenciación de los nuevos campos o lotes seleccionados: identificación de la localización geográfica de los lotes de control a los efectos de su posterior ubicación en las imágenes.
- Recolección de información relevante respecto del cultivo y fincas involucrados en todos los campos de control (precedentes y adicionales).
- Selección y obtención de imágenes, ajustadas al calendario agrícola de los diferentes cultivos evaluados.
- Reconocimiento de las condiciones de campo imperantes en los puntos de control, al momento de las pasadas de satélite, para su utilización posterior en el análisis de las imágenes.
- Interpretación digital y clasificación de las imágenes seleccionadas.
- Validación de la información inferida de las imágenes clasificadas visitando campos no incluidos entre los campos test utilizados para su clasificación.

- Elaboración de mapas temáticos, discriminando las superficies ocupadas por cada cultivo.



Como diferencias generales con respecto a lo descrito en el Informe Final mencionado se destacan las siguientes:

- ❖ La selección y análisis de las imágenes se realizó en dependencias de la EEAOOC con el equipamiento y software (ERDAS 8.4.) provisto en comodato por el CFI.
- ❖ Para la adquisición de imágenes satelitales LandSat5 TM y LandSat7 ETM+, la EEAOOC firmó un nuevo convenio con la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), lo cual aumentó la probabilidad de obtención de imágenes útiles a los fines del presente proyecto.

A las cualidades y características de la plataforma LandSat5 TM el satélite LandSat7 agrega a las siete bandas multiespectrales del sensor TM (Thematic Mapper), con su instrumento ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), una banda pancromática con resolución espacial de 15 m. La resolución espacial y espectral de los sensores de ambos satélites para las bandas 1 a 7 es la misma. Por otra parte el LandSat7 mantiene los orbitales de su predecesor así como también los centros de imagen.

- ❖ El listado de las imágenes utilizadas a lo largo del proyecto se indica en el Cuadro 1.
- ❖ En lo que respecta al número y cantidad de bandas empleadas para la clasificación multiespectral, dada la experiencia adquirida en la campaña anterior, se remitió a las 3, 4 y 5.

Orbital	Centro de imagen	Fecha de adquisición	Sensor
230	78	05/05/2000	LandSat5 TM
230	79	05/05/2000	LandSat5 TM
231	78	18/04/2000	LandSat7 ETM+
231	79	18/04/2000	LandSat7 ETM+
231	79	06/12/2000	LandSat5 TM
230	78	09/02/2001	LandSat7 ETM+
230	79	09/02/2001	LandSat7 ETM+
231	78	08/02/2001	LandSat5 TM
231	78	08/02/2001	LandSat5 TM
230	78	29/03/2001	LandSat7 ETM+
230	79	29/03/2001	LandSat7 ETM+
231	78	28/03/2001	LandSat5 TM
231	79	28/03/2001	LandSat5 TM
230	78	14/04/2001	LandSat7 ETM+
230	79	14/04/2001	LandSat7 ETM+

Cuadro 1: Listado de imágenes utilizadas en el proyecto *"Estimación de superficies cultivadas y rendimientos productivos utilizando información de sensores remotos"*

1 - CULTIVO: CAÑA DE AZÚCAR ZAFRA 2000

1.1 - Características de la campaña

El comienzo del período de crecimiento se caracterizó por la persistente sequía primaveral que provocó un retraso en la brotación inicial del cañaveral.

Hacia la segunda quincena de enero el comportamiento de las lluvias, tanto en la frecuencia de días lluviosos como en la cantidad de agua aportada, produjo un cambio favorable en las condiciones para el crecimiento. Sin embargo, en algunos casos se presentaron situaciones de suelos anegados en períodos prolongados lo que determinó una marcada detención del crecimiento, sobre todo en algunas zonas de la llanura deprimida con napa freática en superficie.

Otro factor que incidió negativamente fue el térmico, ya que en los meses de febrero y marzo se registraron temperaturas por debajo de los valores normales que produjeron un retardo en el ritmo de crecimiento de los cañaverales de toda la provincia.

A las desfavorables condiciones climáticas se sumó la falta de un adecuado manejo en gran porcentaje del cañaveral que se tradujo en falta de fertilización o aplicación tardía, ausencia de control de malezas, etc.

1.2 - Proceso de clasificación

1.2.1 - Selección de imágenes

Las imágenes utilizadas para la clasificación del área y de sus niveles productivos se indican en el Cuadro 2.

Orbital	Centro de imagen	Fecha de adquisición	Sensor
230	78	05/05/00	LandSat5 TM
230	79	05/05/00	LandSat5 TM
231	78	18/04/00	LandSat7 ETM
231	79	18/04/00	LandSat7 ETM

Cuadro 2: Listado de las imágenes utilizadas para la clasificación de caña de azúcar, zafra 2000.

Dadas las condiciones climáticas imperantes durante la campaña no fue posible la adquisición de imágenes libres de nubes, por lo cual las imágenes seleccionadas fueron las de menor cobertura nubosa sobre el área cañera (5% aproximadamente).

Las condiciones climáticas bajo las cuales fueron adquiridas las imágenes de referencia se exponen en los Datos Climáticos del Anexo.

1.2.2 - Obtención y selección de firmas espectrales

Para la selección de las firmas espectrales se dispuso de 398 campos de control distribuidos en el área cañera (Anexo: Planilla de Campo caña de azúcar 2000), con información de los mismos desagregada a nivel de:

Área: región agrológica en la que se encuentra;

Departamento: en la que se ubica la propiedad;

Localidad: en la que se ubica la propiedad;

Sección – Tablón – N° de surcos: nomenclatura de identificación de lotes cañeros;

Superficie: área del campo de control expresada en hectáreas ;

Variedad: nombre de la variedad cultivada en el campo de control;

Edad: edad de la planta. PI.: Caña Planta, 1° año de cultivo,

S1: Soca 1, brotación posterior a la cosecha de la PI,

S2: brotación posterior a la cosecha de S1;

Rendimiento cultural estimado (kg/surco): estimación realizada visualmente por el productor para el campo de control;

Riego: si el campo tiene riego artificial o no;

Fertilización: si el campo fue fertilizado o no;

Latitud: coordenada geográfica en grados;

Longitud: coordenada geográfica en grados;

X: coordenada plana en metros;

Y: coordenada plana en metros.

Toda la información relativa a los campos de control se encuentra referenciada, dentro de las distintas explotaciones, mediante planos y/o croquis.

A los efectos del presente trabajo se tuvo en cuenta la experiencia de clasificación realizada por la EEAOC para las zafras 1997, 1998 y 1999; consecuentemente se consideró apropiado, a los fines comparativos que pudieren corresponder, la discriminación de los tres rangos de rendimiento adoptados en dicha oportunidad, a saber:

Producción BAJA:	Rendimientos \leq 56 t/ha
Producción MEDIA:	Rendimientos entre 57 y 75 t/ha
Producción ALTA:	Rendimientos \geq 76 t/ha

La selección de firmas espectrales comprendió la siguiente secuencia:

- Selección preliminar de lotes, de los campos de control disponibles, para la obtención de firmas espectrales de cultivos con diferentes rendimientos conforme la información de campo obtenida;
- Obtención de las firmas espectrales en los lotes seleccionados;
- Comparación entre las firmas obtenidas y selección de firmas representativas de los distintos rangos de rendimiento reconocidos en campo;
- Comparación de las firmas espectrales seleccionadas para un mismo rango de rendimiento y selección dentro de dicho rango de firmas de las distintas variedades involucradas, conforme la información de campo disponible.

El proceso descrito, considerando la variación de la fecha entre la toma de las imágenes sobre los orbitales 231 (orbital oeste) y 230 (orbital este) y que las imágenes fueron adquiridas desde distintos sensores (TM para el orbital 230 y ETM+ para el orbital 231), se efectuó en forma individual para cada uno de los pares de imágenes involucrados en ellos.

La comparación de los niveles digitales (ND) medios obtenidos en las distintas bandas involucradas en las firmas espectrales (Anexo: Firmas espectrales de caña de azúcar 2000), permitió establecer que las diferencias más significativas, asimilables con los rangos de rendimientos preestablecidos, se manifestaba en los registros de la banda 4,

con menor significación en los de la banda 5 y que el aporte de la banda 3 a tal fin no era relevante. Lo expresado se evidencia en los histogramas de la Figura 2.

Figura 2: Comparación de los Niveles Digitales Medios para el cultivo de Caña de azúcar, zafra 2000



Fuente: EEAOC

1.2.3 - Clasificación multiespectral

Las imágenes útiles obtenidas sobre cada orbital para efectuar la clasificación sumaron 17 días de desfase en sus fechas de toma, a lo cual se le suman las distintas condiciones atmosféricas imperantes en ambos casos, las diferencias fenológicas derivadas del desarrollo habido en los cultivos y el hecho que ambos orbitales fueron adquiridos por satélites distintos. Estos aspectos se reflejan en la respuesta espectral que dan los ND medios expuestos en los histogramas mencionados precedentemente.

1.3 - Resultados

1.3.1 - Salida gráfica

Es el mapa temático que refleja la ubicación territorial y superficie ocupada por el cultivo, disponible para la zafra 2000 (Anexo: Mapa temático caña de azúcar zafra 2000).

1.3.2 - Cálculo de superficies

El cálculo de la superficie deviene como producto estadístico resultante de la clasificación; el programa de procesamiento incluye el recuento de las unidades de registro del sensor (pixel) clasificadas para cada categoría establecida. A cada pixel se le asignó, al realizar las correcciones de la imagen, dimensiones de 30x30 m, lo que es equivalente a 0.09 ha de la superficie terrestre; éste valor resulta la constante que multiplica el recuento de pixeles para la obtención de dicha superficie.

Transformados los pixeles a valores areales se estimó una superficie **total bruta de cultivo de 200.100 ha**. Respecto de dicha cifra es necesario resaltar que no incluye las superficies cultivadas enmascaradas por la cobertura de nubes y la sombra proyectada por estas, que por todo concepto (caña de azúcar y otros cultivos) involucró aproximadamente 18.700 ha.

Dentro de la superficie total bruta se discriminan arealmente los siguientes rendimientos:

- rendimientos culturales bajos (≤ 56 t/ha): **144.300 ha;**
- rendimientos culturales medios (entre 57 y 75 t/ha) **37.900 ha;**
- rendimientos culturales altos (≥ 76 t/ha) **17.900 ha.**

La resolución espacial del sensor utilizado, inevitablemente determina que en la clasificación resultante queden incorporados como áreas cultivadas sectores marginales incultos aledaños a ella tales como caminos perimetrales e internos de la plantación y espacios destinados a otros servicios (acopio, vivienda, galpones, etc); en razón de lo antedicho la superficie que se logra clasificar en nuestro caso se define como bruta.

Resulta usual ponderar en promedio el área inculta de las explotaciones cañeras como un 15% del total de la propiedad (Sección Agronomía de caña de azúcar, EEAOC); adoptando dicho factor de corrección la **superficie total neta** del cultivo en el territorio de la provincia, estimada para el año 2000, es de **170.100 ha** y su desagregamiento por niveles de rendimiento es de:

- rendimientos culturales bajos (≤ 56 t/ha) **122.500 ha;**
- rendimientos culturales medios (entre 57 y 75 t/ha) **32.300 ha;**
- rendimientos culturales altos (≥ 76 t/ha) **15.300 ha.**

Estos resultados manifiestan que del total de la superficie implantada el 72% respondió a cañaverales de bajo nivel de producción, el 19% a los de rendimiento intermedio y el 9% restante a los de alta producción (Figura 3). Conforme lo que se puede apreciar en el mapa temático correspondiente, los rendimientos presentaron una distribución espacial similar, en líneas generales, a la obtenida en la campaña 1999; las áreas de nivel alto se concentraron en el extremo noreste y sur del área cañera, los de rendimiento intermedio se agruparon alrededor de los anteriores localizándose preponderantemente al este del río Salí y al sur del río Gastona, en tanto que los de bajo rendimiento mayoritariamente se focalizaron en la región central y sur. Respecto de los valores porcentuales correspondientes a los distintos niveles de producción se observó que los de bajo rendimiento han incrementado su participación en un 11% (de 61 a 72%), los de rendimiento intermedio han disminuido en un 12% (de 31 a 19%) y los de rendimiento alto se han mantenido en valores similares (8% y 9% actual).

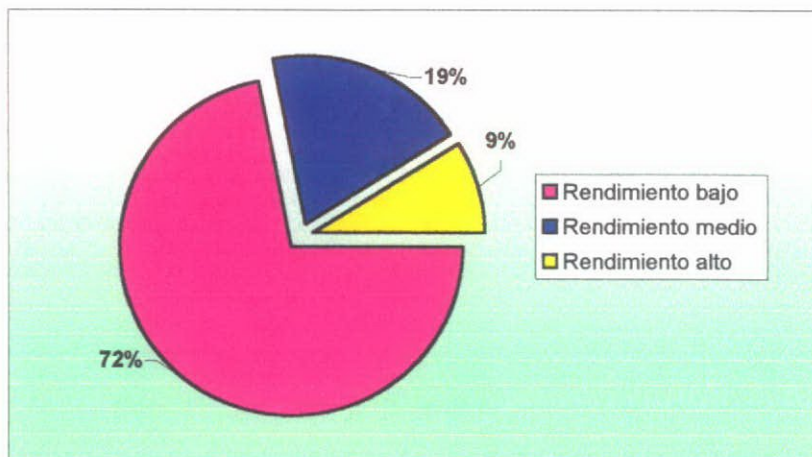


Figura 3: Distribución porcentual de los niveles de rendimiento de caña, zafra 2000. Fuente: EEAOC

1.3.3 - Validación de los resultados

Conforme el equipamiento para procesar las imágenes estuvo disponible recién a fines del mes de agosto, momento al cual la cosecha de caña ya se encontraba muy avanzada, no se pudo validar a campo los resultados obtenidos en la clasificación, por lo cual la misma se validó, solamente, confrontando sus resultados con información levantada en predios de control no utilizados en la obtención de firmas espectrales, lo que implicó disponer de la realidad de campo sobre 12.800 ha de cultivo, que importó casi el 8 % de la superficie total neta clasificada.

Las verificaciones de validación determinaron, dentro de la superficie correspondiente a niveles de rendimientos culturales medios y altos, diferencias respecto a lo asignado del orden del 4%, porcentual que en definitiva se adoptó como error ($\pm 4\%$) para ambos niveles.

En el nivel de rendimientos culturales bajos, se determinaron mayores diferencias, del orden del 9 %, en mayor medida por ausencia de reconocimiento en predios con rendimientos culturales muy bajos, derivada de irregular distribución y desarrollo del cañaveral, enmalezamiento y anegamiento de los mismos; lo antedicho produjo un enmascaramiento en las respuestas espectrales y una consecuente falta de clasificación.

Si bien fueron variados los factores que determinaron pérdidas de rendimiento del cañaveral a nivel general, a saber, sequía primaveral, cosecha tardía, manejo inadecuado del cultivo, fue el exceso de precipitaciones acaecidas en febrero y marzo y su

consecuente disminución de niveles térmicos, heliofanía y anegamientos, el factor que mayor incidencia tuvo en el comportamiento del cañaveral, aspecto que se notó en los sectores minifundistas de cultivo.

En consecuencia, los lotes cosechados en forma tardía, ubicados en zonas con drenaje inadecuado y con limitaciones de manejo, especialmente en lo que se refiere a fertilización y control de malezas, mostraron una condición claramente diferenciada en relación a aquellos con buen drenaje y tratamiento apropiado. Esta situación se evidenció en mayor medida en los cañaverales localizados en la "llanura deprimida", en los que se observó, como respuesta al exceso hídrico, retracciones diferenciales en el crecimiento e incluso pérdida total de lotes según la mayor o menor anegabilidad de los lotes implantados.

El porcentaje indicado anteriormente fue el que se determinó como error **-9%** para el nivel de rendimientos culturales bajos (el valor negativo se debe a que la superficie resultante se considera subestimada).

Finalmente es de señalar que la clasificación inicial, esto es previa a su validación, no requirió de ajustes posteriores en razón del bajo error porcentual de fallos verificados. La circunstancia de coincidir en su gran mayoría dichos fallos con predios de bajo rendimiento y reducida expresión areal y la posibilidad que, al forzar la clasificación con valores espectrales influenciados por las condiciones de fondo imperante para dichas situaciones se categorizaran áreas incultas o pertenecientes a otros cultivos hacía innecesario tal ajuste.

1.4 - CONCLUSIONES

- La superficie total neta estimada para el cultivo en estudio (**170.100 ha**) se encuentra subestimada debido a la presencia de nubes y sus sombras sobre el área cañera, lo que implica que aproximadamente 18.700 ha. quedaron sin información útil.
- Desagregado el valor de superficie total neta en los niveles de rendimiento considerados se obtuvo:

❖ rendimientos culturales bajos (≤ 56 t/ha)	122.500 ha;
❖ rendimientos culturales medios (entre 57 y 75 t/ha)	32.300 ha;
❖ rendimientos culturales altos (≥ 76 t/ha)	15.300 ha.

- La distribución en el territorio provincial de los distintos niveles de rendimiento se mantiene similar a la de la zafra 1999.
- La distribución porcentual de los niveles de rendimiento presenta modificaciones con respecto a la zafra 1999. La participación del nivel de bajo rendimiento fue incrementada; la de nivel intermedio fue sensiblemente disminuida, mientras que la participación porcentual del nivel de rendimiento alto se mantuvo.
- En el proceso de verificación se detectó que la superficie indicada para el nivel de rendimiento bajo fue subestimada, debido fundamentalmente al enmascaramiento producido en lotes con rendimientos culturales muy bajos, enmalezados y/o inundados. Esta situación de falta de clasificación se localizó, principalmente, en el área de la “llanura deprimida”.

2 - CULTIVO: TABACO CAMPAÑA 2000/2001

2.1 - Aspectos generales del cultivo

La zona NOA (Salta, Jujuy, Tucumán) es productora de tabacos claros y su producción es de buena calidad, especialmente en los niveles de combustibilidad, contenido de nicotina y Nitrógeno.

En la provincia de Tucumán, el cultivo de tabaco tiene su origen a fines del siglo XIX, pero en esa época no llegó a constituirse en un cultivo de importancia económica dado lo reducido del área sembrada.

Hacia el año 1966 se reactivó la actividad tabacalera, favorecida por la radicación de plantas acopiadoras en el sur de la provincia. Los productores tabacaleros iniciaron entonces la producción de tabaco Virginia, Oriental y Burley, para luego dedicarse casi exclusivamente a la producción de éste último.

El cultivo de tabaco tuvo una indudable importancia, tanto desde el punto de vista económico, al haber reactivado en parte la economía del sur de la provincia, como social por la gran ocupación de la mano de obra, ya que se trata de un cultivo hasta el presente casi eminentemente manual, sobre todo su cosecha.

Otro aspecto que resalta la relevancia del cultivo es el hecho de que utiliza mano de obra desocupada de la industria azucarera, por cuanto se cosecha entre los meses de noviembre y febrero, que corresponden a un período interzafra.

La zona tabacalera está ubicada al sur de la provincia, en los departamentos Río Chico, J. B. Alberdi, Graneros y La Cocha, ocupando la subregión subhúmeda sur de la región pedemontana donde las precipitaciones anuales son de 900 – 700 mm en régimen monzónico, y la subregión subhúmeda seca de la llanura Chaco-Pampeana donde las precipitaciones son de 750-650 mm.

Los suelos en el área de cultivo varían entre franco-arenosos a arenoso-francos, con adecuada retención y fácil circulación de agua y con buena fertilidad natural, por lo que

son óptimos para el cultivo de tabaco ya que el mismo requiere suelos aireados y livianos. Sólo hacia la ciudad de Graneros predominan los suelos del tipo franco-limoso.

La planta de tabaco silvestre es de naturaleza perenne, pero debido a que no sobrevive al tiempo de heladas se cultiva como anual. Presenta un tallo cilíndrico, herbáceo y erecto, que puede desarrollar desde 0.80 a 3 m. de altura (en promedio 1.20-1.80 m.), foto subsiguiente.



Sub-estación La Invernada –EEAOC- (Depto. La Cocha),
coordenadas aproximadas 3.544.454 / 6.939.614

El sistema radical está medianamente desarrollado pudiéndose extender hasta 0.30-0.35 m de profundidad. La hoja presenta formas variables según el tipo de tabaco, pudiendo ser: elípticas, lanceoladas, acorazonadas u ovaladas. La inflorescencia es un racimo paniculado, formado por muchos ejes florales, como se observa en la próxima foto. Se pueden encontrar hasta 150 flores por inflorescencia, que dan alrededor de 1.000.000 de semillas.



Sub-estación La Invernada –EEAOC- (Depto. La Cocha),
coordenadas aproximadas 3.544.403 / 6.939.420

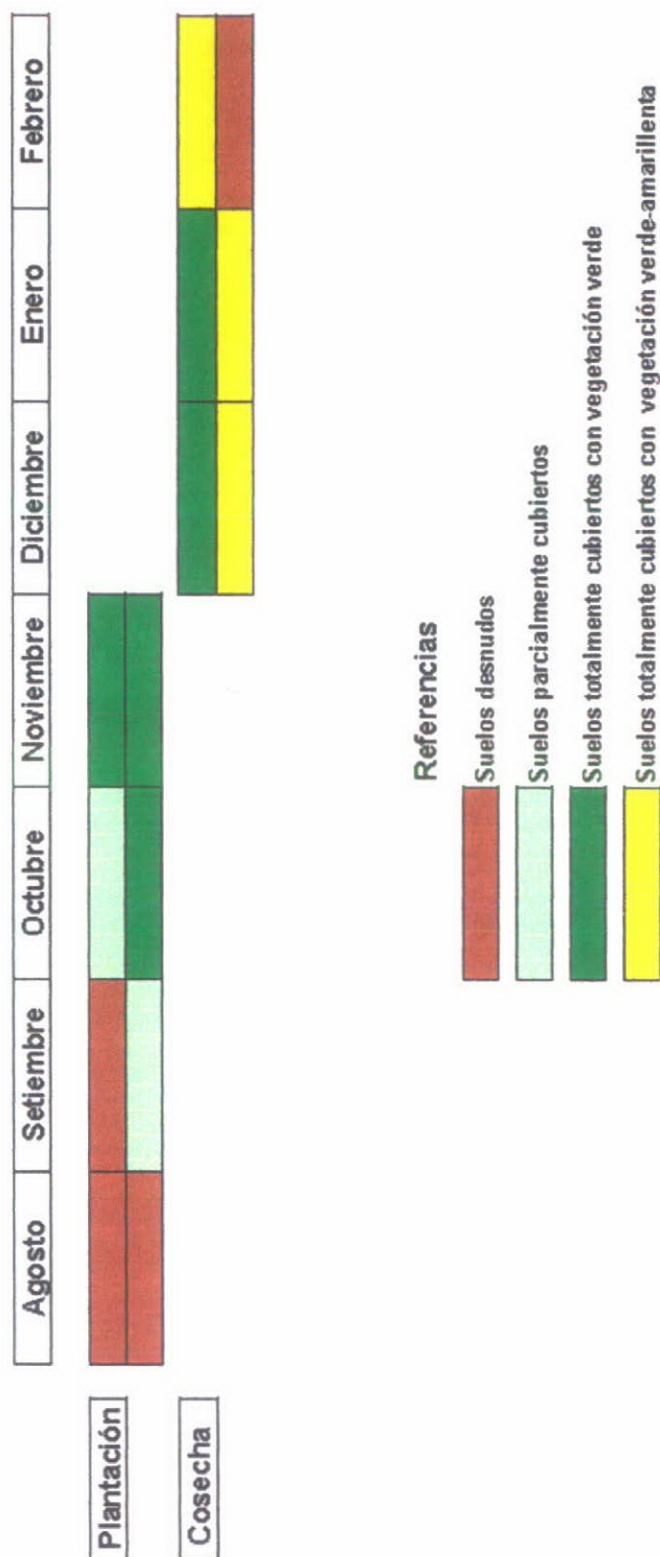
La capacidad de acumular nicotina en las hojas es un aspecto característico de la planta de tabaco. La nicotina es un alcaloide que se sintetiza en las raíces, pero se encuentra en todos los órganos de la planta, excepto en las semillas maduras, y se acumula más abundantemente en las hojas. La cantidad de nicotina difiere considerablemente en los distintos tipos de tabaco.

2.2 - Estadios del cultivo con significación para el procesamiento digital

A los fines del procesamiento digital es necesario identificar los estadios del ciclo evolutivo del cultivo en donde el mismo presenta características homogéneas que permitan su diferenciación. A continuación se indican las etapas relevantes del ciclo evolutivo del tabaco (Figura 4: Aspectos de la cobertura del suelo durante el ciclo del tabaco).

El tabaco tipo Burley en Tucumán presenta un ciclo de 90 a 100 días, desde transplante a cosecha. Es sensible a heladas, sus primeras etapas se cumplen en almácigo, lo que facilita sus cuidados. La época de siembra del almácigo está determinada por la fecha en que se prevee hacer el transplante, es escalonada y se realiza entre los meses de mayo y julio.

Figura 4: Aspectos de la cobertura del suelo durante el ciclo del tabaco



Fuente: EEAOC

La separación en las fechas de siembra determina que no madure toda la plantación en el mismo momento, de esta forma se puede cosechar en varios meses, lo que permite al productor la utilización de los galpones para el secado en dos oportunidades.

El trasplante en general comienza en el mes de agosto prolongándose en algunos casos hasta los primeros días de noviembre. Previo al trasplante el terreno es roturado y sistematizado.

La planta al momento del trasplante presenta una altura de 0.12-0.15 m. A los 30 días del trasplante alcanza una altura aproximada de 0.35 m como se observa en la foto subsiguiente.



Sub-estación La Invernada –EEAOC- (Depto. La Cocha),
coordenadas aproximadas 3.544.454 / 6.939.614

Transcurridos 60 días, mide alrededor de 0.70 m. y comienza la floración, la cual se generaliza a los 65-70 días del trasplante. Es en este momento cuando se realiza la eliminación de la flor, “capado” o “desflore” (foto siguiente), ya que su presencia resta energía para el adecuado crecimiento de las hojas, que son los órganos de importancia económica.



Sub-estación La Invernada –EEAOC- (Depto. La Cocha),
coordenadas aproximadas 3.544.403 / 6.939.420

Producido el desflore se inicia el “amarillamiento” de las hojas, el cual comienza en la base de la planta.

La cosecha se inicia a principios de diciembre y se extiende hasta febrero. Debido a que en la provincia se utiliza el sistema de cosecha por planta, esta comienza cuando la maduración se da en el tercio superior de la planta. La misma presenta una coloración “verde-amarillenta” generalizada, tal como se observa en la foto siguiente y la altura desde la base al ápice es de 1.50-1.80 m. Este estado se manifiesta a los 90-100 días del trasplante.



La Invernada (Depto. La Cocha),
coordenadas aproximadas 3.543.472 / 6.939.705

El tabaco cosechado es colocado en “secaderos”, que son los galpones donde se realiza la “curación” del tabaco (foto subsiguiente). La curación implica la desecación de la hoja en determinadas condiciones de temperatura y humedad para favorecer transformaciones bioquímicas en el interior de la hoja que permitan obtener un producto adecuado según los requerimientos del mercado. El proceso mencionado dura de 1.5-2 meses.



La Calera (Depto. J. B. Alberdi),
Coordenadas aproximadas 3.526.244 / 6.948.092

Cabe destacar que no se pudo realizar un seguimiento del ciclo evolutivo del cultivo, en el marco del presente proyecto, ya que al reinicio de actividades, 15 de diciembre de 2000, el mismo se encontraba en la etapa de madurez y cosecha.

2.3 - Proceso de clasificación

2.3.1 - Selección de imágenes

De acuerdo a los estadios fenológicos del tabaco, se consideraba a priori, que imágenes obtenidas entre mediados de noviembre a mediados de diciembre resultarían adecuadas para la clasificación del cultivo.

Por las condiciones de nubosidad imperantes se seleccionó la imagen obtenida a principios de diciembre, la cual resultó adecuada por dos razones: a) un alto porcentaje del transplante se realizó en el mes de septiembre, predominando, por lo tanto, las plantaciones ya desarrolladas y b) todavía no se había generalizado la cosecha.

La imagen utilizada para la clasificación del área ocupada por el cultivo de tabaco se identifica en el Cuadro 3.

Orbital	Centro de imagen	Fecha de adquisición	Sensor
231	79	06/12/00	LandSat5 TM

Cuadro 3: Imagen utilizada para la clasificación de tabaco, campaña 2000/2001

Las condiciones climáticas bajo las cuales fue tomada la imagen de referencia se exponen en los Datos Climáticos del Anexo.

2.3.2 - Obtención y selección de firmas espectrales

Para la selección de las firmas espectrales se dispuso de 34 campos de control distribuidos en el área tabacalera (Anexo: Planilla de Campo Tabaco 2001), con información de los mismos discriminada a nivel de:

Área: región agrológica en la que se encuentra;

Ruta: ruta o camino de acceso a la finca;
Departamento: en la que se ubica la propiedad;
Localidad: en la que se ubica la propiedad;
Lote: nomenclatura de identificación de los lotes;
Superficie: área del campo de control expresada en hectáreas ;
Tipo: nombre del tipo de tabaco cultivado en el campo de control;
Fecha de transplante: a campo;
Observaciones: otra información de relevancia;
Latitud: coordenada geográfica en grados;
Longitud: coordenada geográfica en grados;
X: coordenada plana en metros;
Y: coordenada plana en metros.

Toda la información relativa a los campos de control se encuentra referenciada, dentro de las distintas explotaciones, mediante planos y/o croquis.

La selección de firmas espectrales comprendió el siguiente proceso:

- Selección preliminar de lotes, de los campos de control disponibles, para la obtención de firmas espectrales de cultivos con distintas fechas de transplante conforme la información de campo obtenida;
- Obtención de las firmas espectrales en los lotes seleccionados;
- Comparación entre las firmas obtenidas y selección de firmas representativas de las distintas fechas de transplante;

Los valores medios de los niveles digitales (ND) obtenidos para las distintas fechas de transplante (Anexo: Firmas espectrales de tabaco campaña 2000/2001) pueden apreciarse en el histograma de la Figura 5.

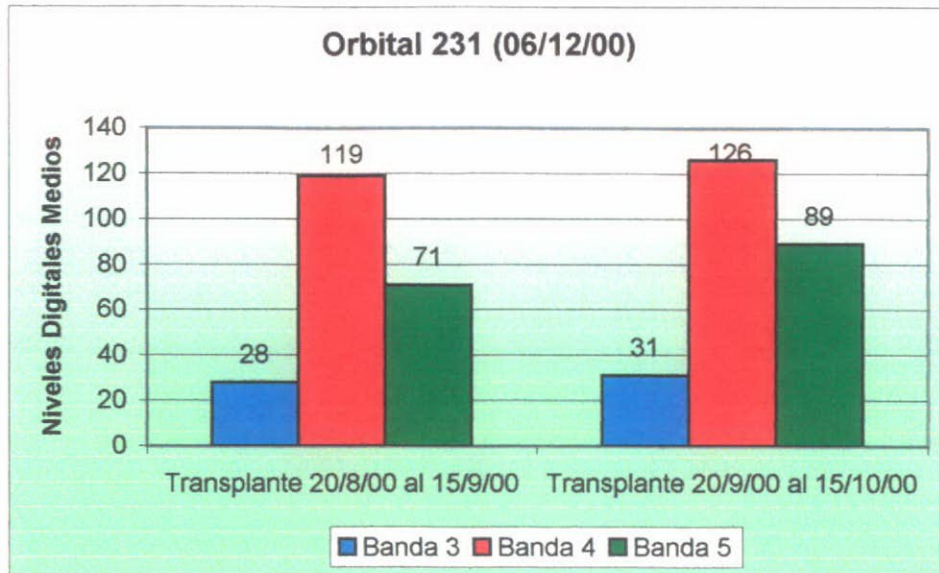


Figura 5: Histograma de los niveles digitales medios para el cultivo de tabaco, campaña 2000/2001.

Fuente: EEAOC

2.3.3 - Clasificación multiespectral

Al trabajar sobre una sola imagen quedó eliminado el problema de la temporalidad suscitado en clasificaciones realizadas en campañas anteriores para otros cultivos (caña de azúcar, citrus, soja, poroto, trigo), en las cuales se tuvo que trabajar con imágenes de orbitales distintos, lo que implicaba exposiciones bajo condiciones atmosféricas y fenológicas distintas.

Al momento de toma de la imagen utilizada para la clasificación (6 de diciembre de 2000) los cultivos de granos no presentaban un desarrollo importante que pudiera complicar la clasificación de tabaco, sin embargo la caña de azúcar que fue cosechada al inicio de la zafra (mediados de mayo a fines de junio) y los lotes que no fueron cosechados ("caña en pie") presentaban una altura y desarrollo vegetal similar al tabaco, lo que dificultaba una precisa discriminación de los cultivos.

Este problema fue resuelto mediante la utilización de las clasificaciones de caña de azúcar, realizadas en las campañas 1999 y 2000, como información auxiliar a fin de estratificar la imagen previamente a su clasificación.

Definidos los juegos de firmas espectrales se hizo correr el proceso de clasificación sobre la imagen, obteniéndose los siguientes resultados.

2.4 - Resultados

2.4.1 - Salida gráfica

El mapa temático resultante de la clasificación digital muestra el área ocupada con cultivos de tabaco para la cosecha 2001.

Para mejorar la salida gráfica del mapa, se le aplicó un filtro de “paso bajo” a los efectos de realzar la imagen definitiva (Anexo: Mapa temático Tabaco 2001).

2.4.2 - Cálculo de superficies

Realizada la conversión de los pixeles a valores de superficie, la clasificación arrojó una **superficie bruta total** ocupada con cultivos de tabaco para la campaña 2001 de **6.300 hectáreas**.



2.4.3 - Validación de los resultados

La clasificación se validó confrontando sus resultados con información levantada en campos de control no utilizados en la obtención de firmas espectrales, lo que implicó disponer de la realidad de campo sobre 570 ha de cultivo, aproximadamente, que importó casi el 9% de la superficie total bruta clasificada.

La verificación de campos clasificados como tabaco, no incluidos entre los campos de control, se realizó sobre un total de 150ha, aproximadamente.

Las verificaciones de validación determinaron un error de $\pm 5\%$. El error de omisión estuvo dado por la presencia de campos transplantados muy tardíamente los cuales presentaban plantaciones que todavía no habían cubierto totalmente el suelo; el error de inclusión se debió a campos enmalezados o con plantaciones domesticas de maíz, principalmente en las zonas donde predominan minifundios (La Calera, Corralito y Yánima).

2.5 – Conclusiones

- La **superficie bruta total** ocupada con cultivos de tabaco para la campaña 2001, en la Provincia de Tucumán, se estimó en **6.300 hectáreas**.
- La discriminación de la superficie bruta total por departamentos se aprecia en el Cuadro 4 y su participación porcentual en la Figura 6.

Departamento	Superficie* (ha)
La Cocha	4.560
J. B. Alberdi	1.130
Graneros	520
Río Chico	90
Total Provincial	6300

*: Superficie bruta

Fuente: EEAOC

Cuadro 4: Distribución departamental de los cultivos de tabaco, campaña 2000/2001.

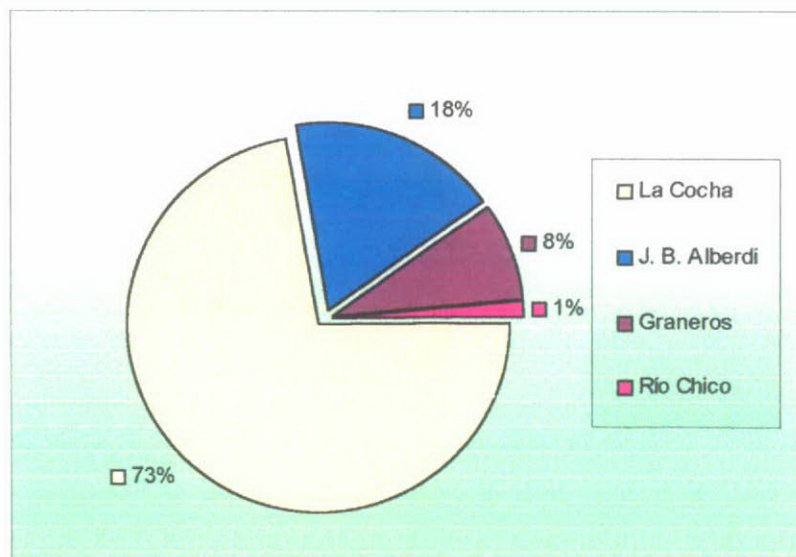


Figura 6: Distribución porcentual, por departamento, de los cultivos de tabaco, campaña 2000/2001.

Fuente: EEAOC

- Durante el proceso de clasificación quedó evidenciada la importancia de contar con información auxiliar, en este caso provista por layers (capas) temáticos de clasificaciones de otros cultivos (caña de azúcar).
- Una vez más el conocimiento de la realidad de campo cobró relevancia durante el análisis de las imágenes. Las tareas de campo se vieron facilitadas por la concentración del cultivo de tabaco en el sudoeste de la Provincia.
- En el proceso de verificación de los resultados se observó que los campos transplantados muy tardíamente no se clasificaban en su totalidad, mientras que en las zonas de minifundios, principalmente, la presencia de campos domésticos de maíz o enmalezados inducían a un error de inclusión.

3 - CULTIVO: SOJA CAMPAÑA 2000/2001

3.1 – Características de la campaña

El inicio de la campaña sojera 2000/2001 en la Provincia de Tucumán tuvo características climáticas y de mercado que la diferenciaron de campañas anteriores.

Desde el punto de vista climático las oportunas precipitaciones de octubre y noviembre determinaron muy buenas condiciones de humedad, provocando que el inicio de la siembra se generalizara en los primeros días de noviembre, situación poco frecuente en años anteriores y que permite considerar a estas siembras como extratempranas.

Posteriormente las labores de siembra se desarrollaron prácticamente de manera continua hasta fines de diciembre y primeros días de enero, momento en que finalizaron las siembras de grano grueso en la provincia. Sumando otro rasgo distintivo de la presente campaña se destaca que las buenas condiciones de humedad para la siembra, se dieron simultáneamente en toda el área sojera de la provincia (Sección Granos, EEAOC).

En lo referido a la situación de mercado cabe destacar que los buenos rindes obtenidos en campañas anteriores y los alentadores precios a nivel internacional que se registraron al inicio de la campaña provocaron un aumento en la intención de siembra de los productores y determinaron, en consecuencia, un marcado incremento en la superficie sembrada, avanzando el cultivo sobre zonas anteriormente destinadas a maíz o poroto.

3.2 - Proceso de clasificación

3.2.1 - Selección de imágenes

Para la clasificación digital del cultivo de soja se dispuso de imágenes de los satélites LandSat5 y LandSat7 de fecha 8 y 9 de febrero respectivamente.

Estas fechas coincidieron con el periodo en el que, la gran mayoría de los campos de soja presentaban una coloración verde intensa y las plantas cubrían totalmente el espacio entre las líneas de siembra. Esta situación fue favorecida debido a la concentración de siembra al inicio de la campaña por las razones mencionadas anteriormente.

Las imágenes utilizadas se identifican en el Cuadro 5.

Orbital	Centro de imagen	Fecha de adquisición	Sensor
231	78	08/02/01	LandSat5 TM
231	79	08/02/01	LandSat5 TM
230	78	09/02/01	LandSat7 ETM+
230	79	09/02/01	LandSat7 ETM+

Cuadro 5: Listado de las imágenes utilizadas en la clasificación de soja, campaña 2000/2001.

Las condiciones climáticas bajo las cuales fueron adquiridas las imágenes de referencia se exponen en los Datos Climáticos del Anexo.

3.2.2 - Obtención y selección de firmas espectrales

Para la selección de las firmas espectrales se dispuso de 221 campos de control distribuidos en el área sojera (Anexo: Planilla de Campo Granos 2001), con información de los mismos discriminada a nivel de:

Área: región agrológica en la que se encuentra;

Ruta: ruta o camino de acceso a la finca;

Departamento: en la que se ubica la propiedad;

Localidad: en la que se ubica la propiedad;

Sección - Lote: nomenclatura de identificación de los lotes ;

Superficie: área del campo de control expresada en hectáreas ;

Especie: nombre de la especie cultivada en el campo de control;

Variedad: nombre de la variedad cultivada en el campo de control;

Fecha de siembra: fecha en que el lote fue sembrado;

Observaciones: otra información de relevancia;

Manejo: sistema de labranza;

Latitud: coordenada geográfica en grados;

Longitud: coordenada geográfica en grados;

X: coordenada plana en metros;

Y: coordenada plana en metros.

La planilla descripta es compartida por los cultivos de soja, maíz y poroto.

Toda la información relativa a los campos de control se encuentra referenciada, dentro de las distintas explotaciones, mediante planos y/o croquis.

En la selección de los lotes donde se extractaron las firmas espectrales se tuvo en cuenta su distribución geográfica, las fechas de siembra y las diferentes variedades, a los efectos de obtener firmas representativas de las situaciones presentadas.

Debido a que los orbitales fueron adquiridos por distintos sensores, TM para el orbital 231, y ETM+ para el orbital 230, este proceso de selección de firmas se realizó en cada orbital por separado.

Las diferencias entre los valores medios de los niveles digitales (ND) obtenidos en los distintos orbitales (Anexo: Firmas espectrales de granos 2001) pueden observarse en el histograma de la Figura 7.

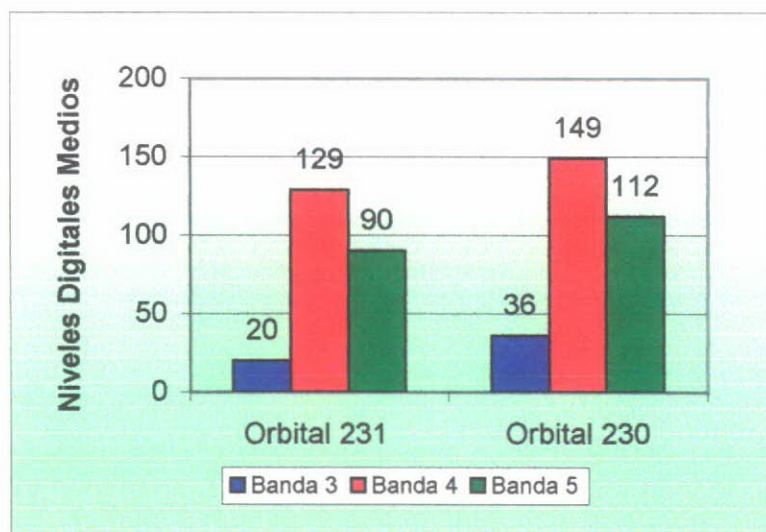


Figura 7: Histograma de los niveles digitales medios para el cultivo de soja, campaña 2000/2001.

Fuente: EEAOC

3.2.3 - Clasificación multiespectral

El problema de la temporalidad suscitado en clasificaciones realizadas en las campañas anteriores, en las cuales las fechas de adquisición entre un orbital y otro fue de varios días, se vio minimizado, ya que la diferencia temporal entre tomas fue de solo un día. Por lo tanto las condiciones atmosféricas y fenológicas no resultaron muy disímiles.

Definidos los juegos de firmas espectrales se hizo correr el proceso de clasificación sobre las imágenes, obteniéndose los siguientes resultados.

3.3 - Resultados

3.3.1 - Salida gráfica

El mapa temático resultante de la clasificación digital muestra el área ocupada con cultivos de soja, sembrados hasta el 28 de diciembre, para la cosecha 2001.

Para mejorar la salida gráfica del mapa, se le aplicó un filtro de “paso bajo” a los efectos de realzar la imagen definitiva (Anexo: Mapa temático de Granos campaña 2000/2001).

3.3.2 - Cálculo de superficies

Al realizar la conversión de los píxeles a valores de superficie, la clasificación arrojó una **superficie bruta total** ocupada con cultivos de soja para la campaña 2001 de **199.800 hectáreas**.

Los valores areales obtenidos corresponden a la superficie sembrada con soja hasta el 28 de diciembre de 2000, los cultivos implantados con posterioridad a la fecha mencionada no lograron ser discriminados. Cabe destacar, tal como se mencionó en párrafos precedentes, que casi la totalidad de la siembra se realizó durante los meses de noviembre y diciembre, resultando exigua la superficie sembrada a partir de esa fecha.

3.3.3 - Validación de los resultados

Para la validación de los resultados obtenidos se dispuso de la información de aproximadamente 23.700 ha de campos de control no incluidos en la selección de firmas espectrales, prácticamente un 12% de la superficie bruta total calculada.

La verificación de campos clasificados como soja, no incluidos entre los campos de control, se realizó sobre un total de 10.700ha, aproximadamente.

Las verificaciones de validación determinaron un error de $\pm 3\%$. El error de omisión estuvo dado por la presencia de campos de soja sembrados tardíamente o enmalezados, esto último en menor proporción, mientras que el error de inclusión se debió a campos con pasturas y a lotes con maizales sembrados tardíamente.

3.4 – Comparación entre las campañas 1998/1999 y 2000/2001

En la campaña 2000/2001 la superficie del área sojera se incrementó en un 25%, aproximadamente, con respecto a la campaña 1998/1999. Mientras que en 1999 se cultivaron 160.000 ha, en el año 2001 se implantaron 199.800 ha.

Para realizar la comparación y cálculo de las superficies ocupadas en ambas campañas se utilizó la herramienta GIS Analisis del módulo Interpreter en el software ERDAS Imagine 8.4. Mediante la misma, se obtiene una imagen compuesta que es el resultado de la adición de los valores de los pixeles de dos imágenes temáticas de entrada.

De esta manera utilizando las imágenes temáticas con las áreas cultivadas con soja en 1999 y en el 2001 se obtuvieron los siguientes resultados:

- Lotes con soja en ambas campañas: 123.000 ha.
- Lotes con soja en la campaña 2001 solamente: 77.000 ha
- Lotes con soja en 1999 no ocupados con soja en el 2001: 46.000 ha

Del análisis anterior se pudo constatar que en 123.000 ha ocupadas con soja en 1999, durante la campaña 2000/2001 se repitió el cultivo de soja en los mismos lotes.

El incremento del área sojera se debió a su avance sobre zonas anteriormente destinadas a otros cultivos (maíz, poroto, etc.) y sobre desmontes realizados durante los dos últimos años.

La herramienta utilizada se muestra útil para determinar en que grado se aplican las prácticas de rotación de cultivos.

3.5 – Conclusiones

- La **superficie bruta total** ocupada con cultivos de soja para la campaña 2000/2001, en la Provincia de Tucumán, se estimó en **199.800 hectáreas**.
- La **superficie bruta total** discriminada por departamento se expone en el Cuadro 6.

Departamento	Superficie* (ha)	Porcentaje (%)
Burruyacu	96.910	48,50
Cruz Alta	31.040	15,55
La Cocha	27.000	13,52
Leales	25.920	12,98
Graneros	15.600	7,80
Simoca	2.340	1,18
J. B. Alberdi	290	0,14
Chicligasta	240	0,12
Famaila	130	0,06
Río Chico	130	0,06
Capital	110	0,05
Tafi Viejo	70	0,03
Lules	20	0,01
Total Provincial	199.800	100

*: Superficie bruta

Fuente: EEAOC

Cuadro 6: Distribución departamental del cultivo de soja

- De la observación del cuadro anterior se desprende la preponderancia del departamento Burruyacu sobre los demás, y que mas del 90% de la superficie sembrada se concentró en los cuatro primeros departamentos, situación que se visualiza en la Figura 8.

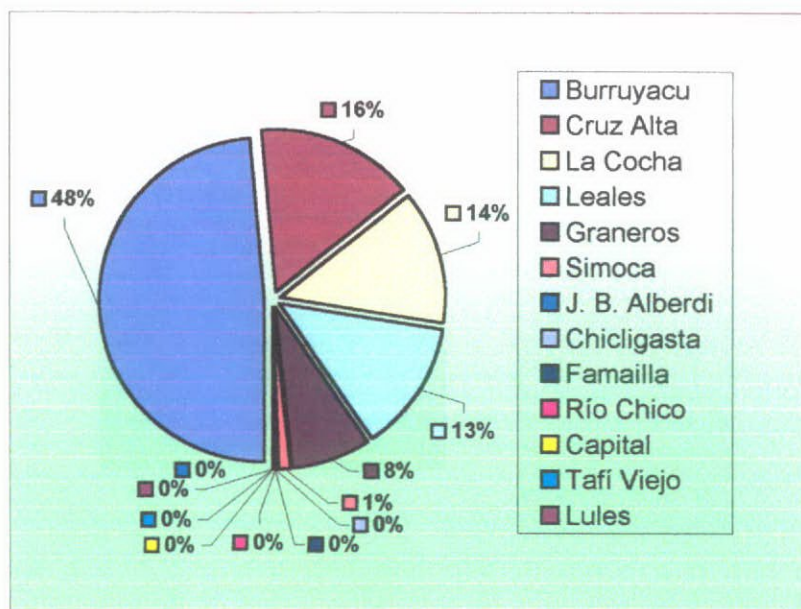


Figura 8: Distribución porcentual, por departamento, de los cultivos de soja, campaña 2000/2001.

Fuente: EEAOC

- En la campaña 2000/2001 la superficie del área sojera se incrementó en un 25%, aproximadamente, con respecto a la campaña 1998/1999.

4 - CULTIVO: MAIZ CAMPAÑA 2000/2001

4.1 – Características de la campaña

Si bien en la Provincia de Tucumán es frecuente la existencia de lotes cultivados con maíz en casi todo el territorio provincial, la mayor producción de maíz se concentra en el área de la llanura, en campos de considerable superficie y en condiciones de secano. El destino de dicha producción es, principalmente, la comercialización como grano.

El resto de la producción de maíz se completa con siembras realizadas en lotes de escasa superficie. El mismo se destina, en parte a choclo o fresco para consumo y en parte como grano para el consumo doméstico.

Con respecto a la presente campaña, si bien se produjo una retracción en el área de siembra, originada por la menor rentabilidad del cultivo derivada de los bajos precios del mercado, el inicio de la siembra fue normal, ya que las condiciones de humedad fueron buenas para la siembra en casi toda la provincia. La siembra se concentró, mayoritariamente, en la segunda quincena de diciembre y solo algunos lotes en la primera semana de enero en zonas alejadas del pedemonte, hacia el este tucumano (Sección Granos, EEAOC).

4.2 - Proceso de clasificación

4.2.1 - Selección de imágenes

Para la clasificación digital del cultivo de maíz se utilizaron las mismas imágenes que se dispusieron para el cultivo de soja, de fechas 8 y 9 de febrero (Cuadro 5).

En los campos sembrados con maíz los espacios entre líneas se hallaban cubiertos, presentando las plantas un considerable desarrollo vertical y una coloración que variaba del verde claro al verde oscuro, según el estadio fenológico correspondiente. Esta situación era la que predominaba en la llanura tucumana a la fecha de pasada de los satélites.

4.2.2 - Obtención y selección de firmas espectrales

Para la selección de las firmas espectrales se dispuso de 58 campos de control distribuidos en el área maicera (Anexo: Planilla de Campo Granos 2001), la planilla de datos de campo es común a los cultivos de soja, maíz y poroto.

La metodología seguida para la obtención y selección de firmas espectrales es la misma que la descrita para el cultivo de soja.

En el histograma de la Figura 9 puede apreciarse las diferencias entre los niveles digitales (ND) medios obtenidos en los distintos orbitales (Anexo: Firmas espectrales de granos 2001)

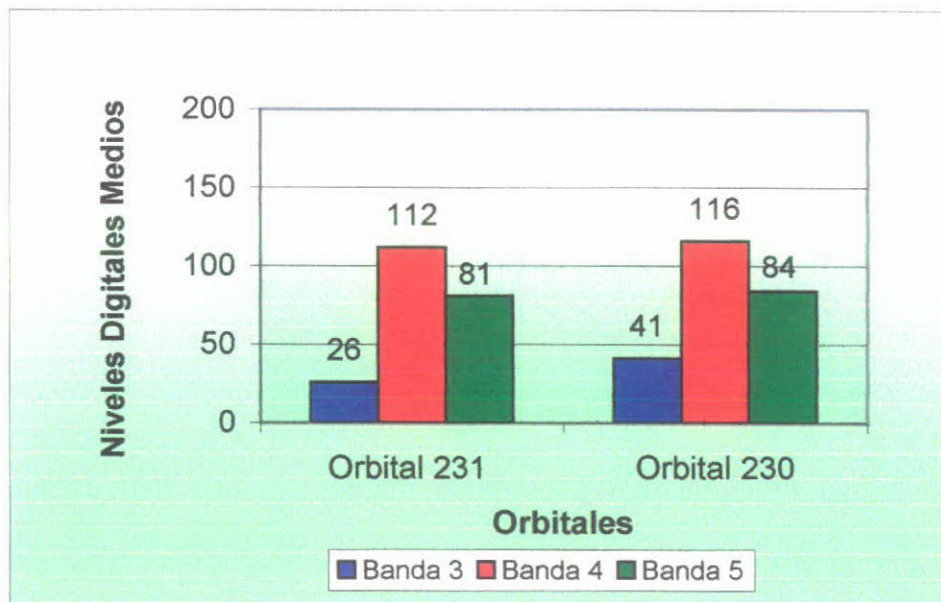


Figura 9: Histograma de los niveles digitales medios para el cultivo de maíz, campaña 2000/2001.

Fuente: EEAOC

4.2.3 - Clasificación multiespectral

Debido a las interferencias que provocaban las plantaciones de caña de azúcar en la discriminación del cultivo de maíz, se recurrió a la utilización de las clasificaciones de caña de azúcar del año 2000 como información auxiliar a fin de estratificar la imagen. Esto significa que se "filtró" de la imagen a clasificar, el área cañera clasificada en el año

2000. Para esta tarea se utilizó la herramienta Mask del módulo Interpreter en el software ERDAS Imagine 8.4.

4.3 - Resultados

4.3.1 - Salida gráfica

La salida gráfica es el mapa temático donde se muestra la distribución territorial de los cultivos de maíz sembrados hasta el 31 de diciembre de 2000.

Para mejorar la salida gráfica del mapa, se le aplicó un filtro de "paso bajo" a los efectos de realzar la imagen definitiva (Anexo: Mapa temático de Granos campaña 2000/2001).

4.3.2 - Cálculo de superficies

Al realizar la conversión de los pixeles a valores de superficie, la clasificación arrojó una **superficie bruta total** ocupada con cultivos de maíz para la campaña 2000/2001 de **31.500 hectáreas**.

La superficie obtenida corresponde a los campos sembrados con maíz hasta el 31 de diciembre de 2001 y cuyas superficies superan las 3 ha.

Los cultivos implantados con posterioridad a la fecha mencionada no lograron ser discriminados. Como la siembra se realizó, en mayor medida, en el mes de diciembre, los campos que quedaron sin clasificar son asimilados dentro del error consignado.

En lo que respecta a los campos de menos de 3 ha, la resolución espacial del sistema impide su correcta identificación. Se mencionó en el punto 4.1 de la página 42 que normalmente estos campos son los que se destinan al cultivo de maíz para uso doméstico.

4.3.3 - Validación de los resultados

Para la validación de los resultados obtenidos se dispuso de la información de aproximadamente 7.500 ha de campos de control no incluidos en la selección de firmas espectrales, prácticamente un 24% de la superficie bruta total calculada.

La verificación de campos clasificados como maíz, no incluidos entre los campos de control, se realizó sobre un total de 1.600 ha, aproximadamente.

Las verificaciones de validación determinaron un error de $\pm 5\%$. El error de omisión estuvo dado por la presencia de campos de maíz sembrados tardíamente y el error de inclusión se debió a campos enmalezados y áreas desmontadas no cultivadas.

4.4 – Conclusiones

- La **superficie bruta total** ocupada con cultivos de maíz para la campaña 2000/2001, en la Provincia de Tucumán, se estima en **31.500 hectáreas**.
- La **superficie bruta total** discriminada por departamento se indica en el Cuadro 7:

Departamento	Superficie* (ha)	Porcentaje (%)
Burruyacu	17.700	56,20
Cruz Alta	5.100	16,20
Leales	3.700	11,75
Graneros	2.300	7,30
La Cocha	1.770	5,61
Trancas	510	1,61
Simoca	380	1,21
Tafi Viejo	40	0,12
Total Provincial	31.500	100

*: Superficie Bruta

Fuente: EEAOC

Cuadro 7: Distribución departamental del cultivo de maíz.

- Al igual que en el caso del cultivo de soja, el Depto. Burruyacu se presenta como el principal productor de maíz de la provincia. Los porcentajes obtenidos se grafican en la Figura 10.

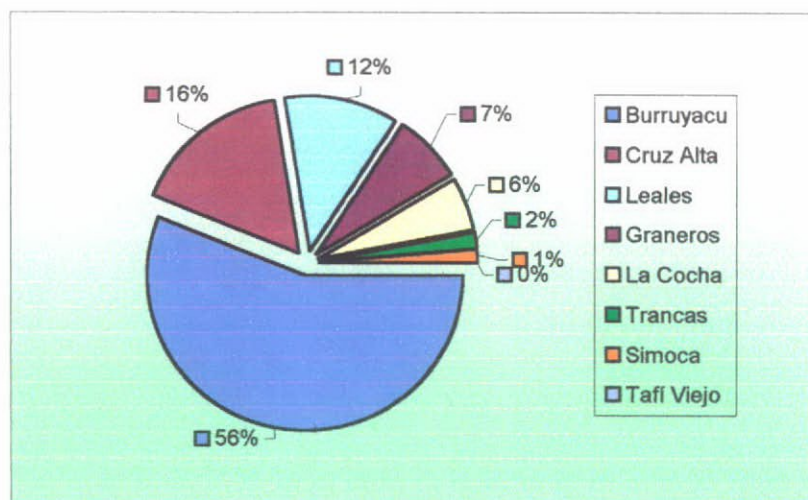


Figura 10: Distribución porcentual, por departamento, de los cultivos de maíz, campaña 2000/2001.

Fuente: EEAOC

5 – CULTIVO: POROTO CAMPAÑA 2000/2001

5.1 – Características de la campaña

La actual campaña de poroto en la Provincia de Tucumán estuvo condicionada por las especiales características que presentó la campaña 1999-2000. En aquella campaña se presentaron diversos problemas entre los que se destacó el exceso de lluvias registrado durante la mayor parte del ciclo del cultivo, sobre todo en los meses de febrero y marzo, que fueron predisponentes para la alta manifestación de las enfermedades, y que determinaron que los rendimientos obtenidos estuvieran muy por debajo de las expectativas generadas.

A la mala cosecha del año 2000 se le sumó la existencia de remanentes de mercadería de campañas anteriores, que determinaron una baja demanda del producto, y precios muy por debajo de los valores históricos. (Sección Granos, EEAOC)

Por los aspectos mencionados, en la presente campaña, muchos productores de poroto se inclinaron, principalmente, a la producción de cultivos de soja. En consecuencia la intención de siembra de poroto fue marcadamente inferior a la de años anteriores.

5.2 - Proceso de clasificación

5.2.1 – Selección de imágenes

En el año 1999 se utilizó para la clasificación del poroto imágenes adquiridas en el mes de febrero de ese año. En dicha imagen, la selección de firmas espectrales y la clasificación se hicieron sobre campos recientemente sembrados, momento en que todavía el cultivo no cubría totalmente el terreno. Esto significó que el criterio se basara, prácticamente, en clasificar suelos que por las labores de siembra se encontraban semidesnudos.

El criterio adoptado fue válido en dicha campaña ya que por las favorables condiciones de mercado, imperantes al momento del inicio de la misma, existía una marcada intención de siembra por parte de los productores, incluso superior a la de campañas

anteriores, lo que permitía presuponer que los campos laboreados, que no habían sido sembrados con soja o maíz, seguramente iban a ser destinados al cultivo de poroto.

Para la presente campaña se consideró que el criterio de clasificación adoptado en la campaña 1998/1999 no resultaba adecuado. Como se mencionó en el punto 5.1 de la página 47, las malas condiciones en que se desarrolló la campaña 1999/2000 determinaron que muchos productores de poroto se inclinaron, principalmente, a la producción de cultivos de soja, por lo tanto no se podía presuponer que los lotes desnudos, sin cultivos de soja o maíz, serían destinados al cultivo de poroto.

Por las razones mencionadas, si bien se disponía de imágenes de febrero, se consideró más apropiado realizar la clasificación sobre imágenes en las que el cultivo estuviera desarrollado y que permitieran, en consecuencia, la clasificación del cultivo propiamente dicho. Las imágenes disponibles fueron las de marzo para la cuenca Tapia-Trancas y abril para el sector de la llanura del este. La descripción detallada de las imágenes se indica en el Cuadro 8.

Orbital	Centro de imagen	Fecha de adquisición	Sensor
231	78	28/03/01	LandSat5 TM
230	78	14/04/01	LandSat7 ETM+
230	79	14/04/01	LandSat7 ETM+

Cuadro 8: Listado de imágenes utilizadas para la clasificación del cultivo de poroto, campaña 2000/2001.

Las condiciones climáticas imperantes al momento de la adquisición de las imágenes pueden apreciarse en los Datos Climáticos del Anexo.

El desfase en las fechas de adquisición de las imágenes se debió a la imposibilidad de contar con imágenes de abril para el orbital 231, por lo cual se recurrió a la imagen de marzo.

En ambas imágenes el poroto sembrado entre mediados de enero y la primera decena de febrero, en su mayoría ya había "cerrado", es decir se presentaba como una cobertura verde continua. Esta situación era mas frecuente en la imagen de abril que en la de marzo.

5.2.2 – Obtención y selección de firmas espectrales

El relevamiento y recolección de datos de campo en fincas que destinaron lotes al cultivo de poroto se vio dificultado por las razones mencionadas en párrafos anteriores. Campos que en campañas anteriores fueron cultivados con poroto, en la presente campaña fueron ocupados con cultivos de soja o con maíz en menor proporción, todo lo cual conllevó a la imposibilidad de obtener un mayor número de lotes de control.

Para la selección de firmas espectrales se contó con 15 campos de control distribuidos en la provincia (Anexo: Planilla de Campo Granos 2001).

La metodología seguida para la obtención y selección de firmas espectrales es la misma que la descripta para el cultivo de soja.

En el siguiente histograma de la Figura 11, pueden apreciarse las diferencias entre los niveles digitales (ND) medios obtenidos en los distintos orbitales (Anexo: Firmas espectrales de granos 2001)

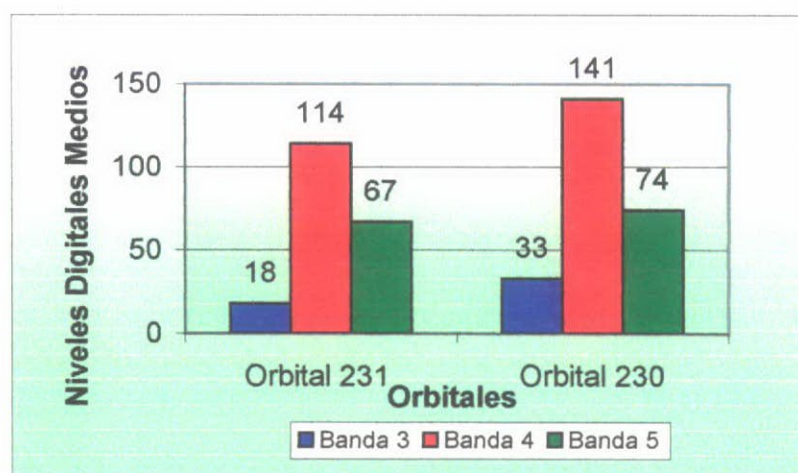


Figura 11: Histogramas de los niveles digitales medios para el cultivo de poroto, campaña 2000/2001.

Fuente: EEAOC

5.2.3 – Clasificación multiespectral

La clasificación se realizó siguiendo, en líneas generales, la metodología descrita en los cultivos anteriores.

Al igual que en la clasificación de poroto de la campaña 1998/1999 se diferenciaron dos ámbitos de cultivos muy distintos. Por un lado el área de la llanura del este tucumano y por otro el de la cuenca Tapia-Trancas.

El ámbito de la llanura no presentó mayores dificultades al momento de la clasificación, por tratarse de un paisaje abierto en el cual predominan campos de considerable superficie los cuales se destinan, regularmente, a los cultivos de soja, maíz o poroto. Esto permitió aplicar el criterio de las distintas fechas de siembra, favorecido aún más por que en esta campaña la siembra de soja y maíz, en su gran mayoría, fue temprana. Esto último determinó que las diferencias fenológicas entre cultivos se acentúen más.

Por el contrario la clasificación en el área de la cuenca Tapia-Trancas nuevamente se vio dificultada por las características agroecológicas y agronómicas de la misma, aún cuando se utilizó un criterio de clasificación distinto al empleado en la campaña 1998/1999, cuando se tomaron los suelos recién laboreados o recién sembrados como criterio de clasificación.

Fundamentalmente las dificultades estuvieron dadas por la presencia de:

- Lotes de escasa superficie (en gran número de menos de una hectárea) y enmarcados, en muchos casos, por serranías.
- Riego artificial que permite realizar múltiples cultivos en la misma época.
- Pasturas destinadas a la alimentación del ganado, que cobraban importancia tanto por la superficie ocupada como por la confusión espectral que generaban las distintas especies forrajeras implantadas.

La confluencia de todos estos factores determinó la inclusión, en la clasificación, de lotes cultivados con otras especies distintas al poroto en una elevada proporción.

5.3 - Resultados

5.3.1 – Salida gráfica

El mapa temático representa la clasificación de las áreas ocupadas con poroto en la llanura del este tucumano durante la campaña 2000/2001 (Anexo: Mapa temático de Granos campaña 2000/2001).

5.3.2 - Cálculo de superficies

De la clasificación resultó una **superficie bruta total** ocupada con poroto de **2.330 ha** en la llanura del este y de **1.300 ha** en la cuenca Tapia-Trancas

5.3.3 - Validación de los resultados

Para validar los resultados obtenidos en el área de la llanura del este se dispuso de la información de aproximadamente 800 ha de campos de control no incluidos en la selección de firmas espectrales, prácticamente un 34% de la superficie bruta total calculada. La verificación a campo se realizó sobre lotes no incluidos en los campos de control, los que sumaron un total de 150 ha aproximadamente.

Las verificaciones de validación, para el área de la llanura del este, determinaron un error de $\pm 5\%$. El error de omisión estuvo dado por la presencia de campos de poroto sembrados tardíamente y el error de inclusión se debió a lotes con soja tardía y campos dedicados a pasturas.

En lo que respecta a la cuenca Tapia-Trancas, para la validación de resultados se contó con 250 ha de lotes de control no empleados en la selección de las firmas espectrales, un 19% de la superficie bruta total calculada. La verificación de campos clasificados como poroto, no incluidos en los campos de control, se realizó sobre un total de 90 ha.

El error estimado para la clasificación en la cuenca Tapia-Trancas fue de $\pm 15\%$. Por las características propias de la cuenca, ya mencionadas en el punto 5.2.3 página 50, en la

clasificación quedaron incluidos campos con cultivos hortícolas y pasturas (alfalfa y avena principalmente), actividades de gran importancia y difusión en la cuenca. El error de omisión estuvo dado por la ausencia de clasificación de los campos sembrados con poroto tardíamente.

La magnitud del error en la mencionada cuenca determinó la decisión de no incluir en el mapa temático el área clasificada, ya que se inducía al lector a una falsa idea de la ubicación e importancia del cultivo de poroto en la cuenca y en la provincia.

En la campaña 1998/1999 se mapeó el área de la cuenca lo que causó confusión en los lectores de dicho mapa, ya que la misma acusaba un elevado error en su clasificación. Por esta experiencia es que se decidió omitir en la salida grafica la clasificación correspondiente al área de la cuenca Tapia-Trancas.

5.4 – Conclusiones

- La superficie bruta total ocupada con cultivo de poroto para la campaña 2000/2001 en el área de la llanura del este tucumano se estimó en **2.330 ha**.
- Dicha superficie discriminada por departamento se indica en el Cuadro 9.

Departamento	Superficie* (ha)	Porcentaje (%)
Graneros	1.190	51,07
Burruyacu	600	25,75
Leales	400	17,17
Cruz Alta	100	4,29
Tafi Viejo	40	1,72
Total Área de la Llanura	2.330	100

*: Superficie Bruta

Fuente: EEAOC

Cuadro 9: Distribución departamental del cultivo de poroto en el área de la llanura tucumana.

- Analizando los valores, se observó que en este caso es el departamento Graneros el que cobra mayor importancia, ya que más del 50% del total cultivado en la llanura del este tucumano se desarrolla en dicho departamento. La grafica de la Figura 12 permite apreciar lo expuesto.

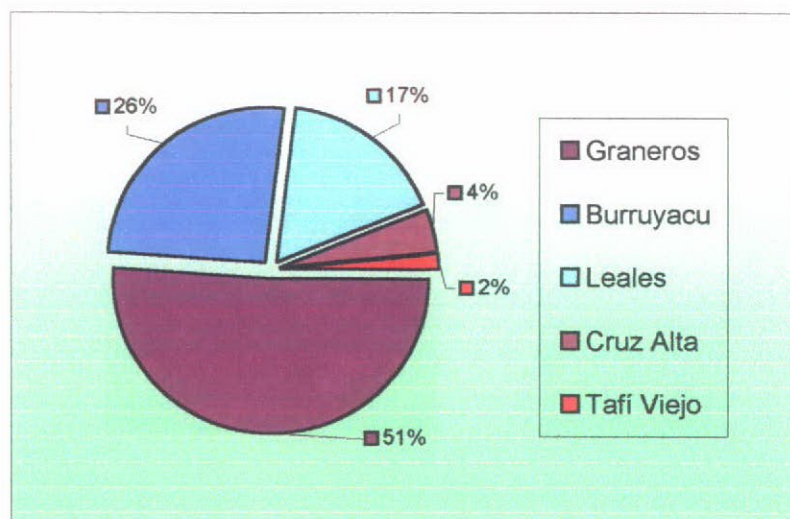


Figura 12: Distribución porcentual por departamento del poroto de la llanura del este, campaña 2000/2001.

Fuente: EEAOC

- La superficie bruta total ocupada con cultivo de poroto para la campaña 2000/2001 en el área de la cuenca Tapiá-Trancas, debido al elevado error calculado en la verificación, se considera que no representa fehacientemente la realidad, por lo que debe ser tomada solo como referencia.
- Para subsanar los inconvenientes suscitados durante la clasificación en la cuenca Tapiá-Trancas se deberían profundizar los estudios, intentando el análisis de imágenes de fechas posteriores a las analizadas, donde el cultivo alcance su máximo desarrollo vegetal, y analizando la información adquirida por otro tipo de sensores que mejoren la resolución espacial y radiométrica de los satélites LandSat.
- Realizada la comparación con la campaña 1998/1999, contrastando los datos de la llanura del este tucumano, resulta que en la campaña 2000/2001 se registró una **reducción del 94%** de la superficie ocupada con poroto, de 40.400 ha en el año 1999 se pasó a 2.330 ha en la campaña actual.

Esta diferencia tan grande se explica si se analizan las especiales condiciones en que se desarrollaron ambas campañas. En la campaña 1998/1999 las favorables condiciones de mercado, imperantes al momento del inicio de la misma, motivaron un marcado incremento de la superficie sembrada con poroto respecto de

campañas anteriores. Por el contrario, para la presente campaña la intención de siembra de los productores disminuyó sensiblemente, por un lado debido a los resultados adversos de la campaña anterior, a consecuencia de las malas condiciones climáticas que imperaron durante la mayor parte del ciclo evolutivo y a la caída del precio del producto, y por otra parte a las buenas expectativas que generaba la siembra de soja al inicio de la campaña .

6 - CULTIVO: CAÑA DE AZÚCAR ZAFRA 2001

6.1 - Características de la campaña

En el inicio del periodo vegetativo se presentaron condiciones desfavorables para la brotación de la soca y de las plantaciones del año como consecuencia de la persistencia de la sequía estacional que fue positiva para el desarrollo de la zafra 2000, pero que limitó en alguna medida la brotación normal del cañaveral. En el mes de octubre se interrumpió el periodo seco y comenzó una etapa con lluvias que en general tuvieron valores superiores a lo normal, especialmente en los meses de noviembre, enero, marzo, abril y mayo en forma general y con una distribución espacial irregular en los meses de diciembre y febrero.

Las condiciones de buenos niveles hídricos y temperaturas favorables posibilitaron altas tasas de crecimiento del cañaveral, especialmente durante los meses de enero y febrero en aquellos lotes en que se practicó un manejo apropiado para generar las mejores condiciones de crecimiento. Sin embargo, en este sentido hay que destacar que un amplio sector del cañaveral de la provincia no recibió en tiempo y en forma todas las prácticas necesarias para su buen desarrollo, destacándose en este aspecto la falta de fertilización o fertilización tardía, el inadecuado control de malezas, etc.

La difícil situación económica de muchos productores, que se venía arrastrando desde las dos últimas zafras, determinó que además de no realizar todas las erogaciones necesarias para un buen cultivo, algunos productores tomaran la decisión de abandonar total o parcialmente la producción de caña para la zafra 2001 (Sección Agronomía de Caña de Azúcar, EEAOC).

Otro factor que actuó negativamente sobre las posibilidades de crecimiento del cañaveral, fue el anegamiento a que estuvieron expuestos muchos lotes de zonas bajas en la provincia de Tucumán. En la siguiente foto se observa el encharcamiento de los lotes de caña y el crecimiento diferencial de los cañaverales.



San Antonio, Depto Leales, coordenadas aproximadas 3.567770 / 6.991.450

6.2 - Proceso de clasificación

6.2.1 - Selección de imágenes

Las imágenes utilizadas para la clasificación del área y de sus niveles productivos se consignan en el Cuadro 10:

Orbital	Centro de imagen	Fecha de adquisición	Sensor
230	78	29/03/2001	LandSat7 ETM+
230	79	29/03/2001	LandSat7 ETM+
231	78	28/03/2001	LandSat5 TM
231	79	28/03/2001	LandSat5 TM

Cuadro 10: Listado de las imágenes utilizadas para la clasificación de la caña de azúcar, zafra 2001.

Las condiciones climáticas bajo las cuales fueron adquiridas las imágenes de referencia se exponen en los Datos Climáticos del Anexo.

6.2.2 - Obtención y selección de firmas espectrales

Para la selección de las firmas espectrales se dispuso de 334 campos de control distribuidos en el área cañera (Anexo: Planilla de Campo caña de azúcar 2001), con información de los mismos desagregada a igual nivel que la planilla de campo caña de azúcar 2000.

En el proceso de selección de firmas espectrales se siguieron los pasos descritos en el punto 1.2.2 de pagina 14.

La comparación de los niveles digitales (ND) medios obtenidos en las distintas bandas involucradas en las firmas espectrales (Anexo: Firmas espectrales de caña de azúcar 2001) repite el patrón obtenido en las zafras 1999 y 2000. La banda 4 es la que permitió establecer las diferencias más significativas entre los distintos niveles de rendimiento preestablecidos, tal como se observa en los histogramas de la Figura 13.

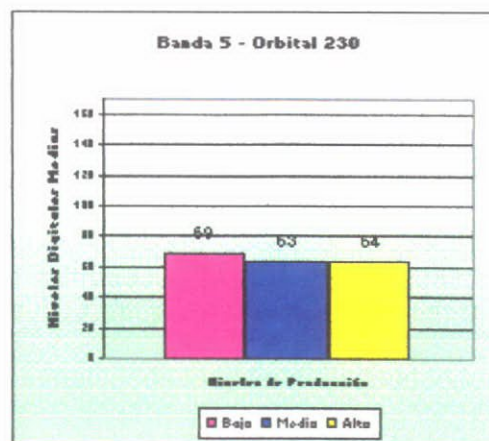
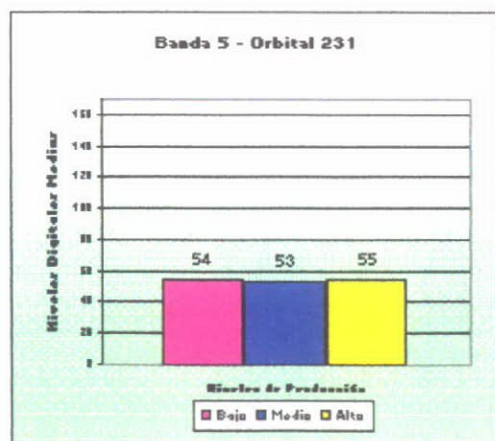
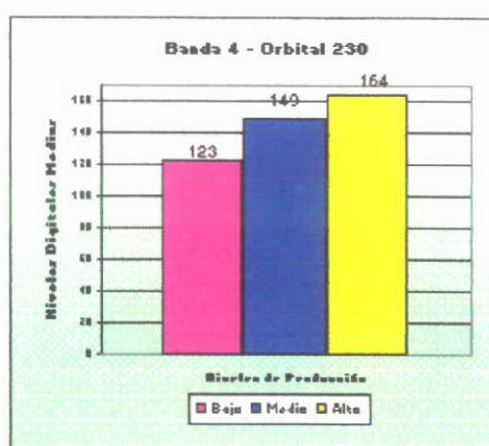
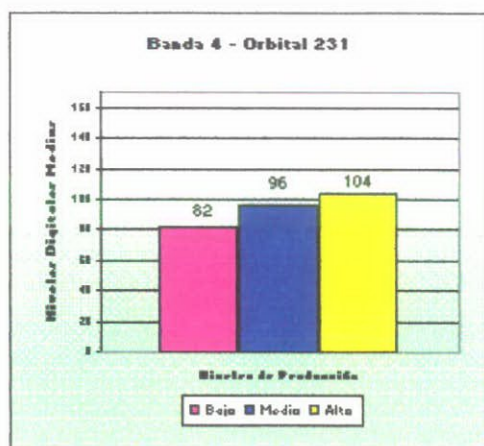
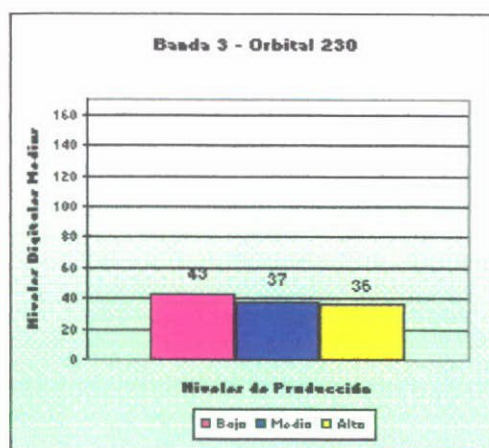
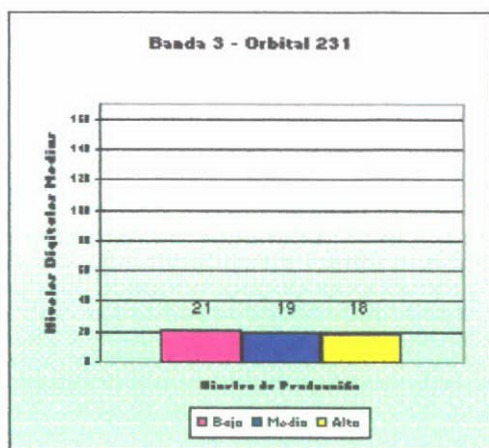
6.2.3 - Clasificación multiespectral

En el presente trabajo, para la clasificación multiespectral y discriminación de los niveles productivos de caña de azúcar, se mantuvo el mismo criterio utilizado en campañas anteriores, a saber:

Producción BAJA:	Rendimientos ≤ 56 t/ha
Producción MEDIA:	Rendimientos entre 57 y 75 t/ha
Producción ALTA:	Rendimientos ≥ 76 t/ha

Al igual que en la zafra 2000 las imágenes correspondientes a cada orbital fueron adquiridas por sensores distintos, LandSat5 TM para el orbital 231 y Landsat7 ETM+ para el orbital 230. Las fechas de toma de las imágenes tuvieron un desfasaje de solo un día.

Figura 13: Comparación de los Niveles Digitales Medios para el cultivo de Caña de azúcar, zafra 2001



Fuente: EEAOC

6.3 - Resultados

6.3.1 - Salida gráfica

El mapa resultante muestra la ubicación territorial y superficie ocupada por el cultivo, disponible para la zafra 2001 (Anexo: Mapa temático caña de azúcar zafra 2001).

6.3.2 - Cálculo de superficies

La **superficie bruta total** de caña de azúcar para la zafra 2001 fue estimada en **215.750 ha**, discriminada según los niveles de rendimiento preestablecidos se obtiene:

- rendimientos culturales bajos (≤ 56 t/ha): **151.510 ha;**
- rendimientos culturales medios (entre 57 y 75 t/ha) **54.050 ha;**
- rendimientos culturales altos (≥ 76 t/ha) **10.190 ha.**

Como ya se expuso en el punto 1.3.2 pagina 18, el área inculta de las explotaciones cañeras se pondera, en promedio, un 15% del total de la propiedad (Sección Agronomía de caña de azúcar, EEAOC); adoptando dicho factor de corrección la **superficie neta total** del cultivo en el territorio de la provincia, estimada para el año 2001, es de **183.390 ha** y su discriminación por niveles de rendimiento es de:

- rendimientos culturales bajos (≤ 56 t/ha) **128.780 ha**
- rendimientos culturales medios (entre 57 y 75 t/ha) **45.940 ha;**
- rendimientos culturales altos (≥ 76 t/ha) **8.670 ha.**

Expresando estos resultados en valores porcentuales (Figura 14) se advierte que el 70% de la superficie implantada correspondió al nivel de bajo rendimiento, el 25% al nivel de rendimiento medio y solo el 5% al nivel de rendimiento alto.

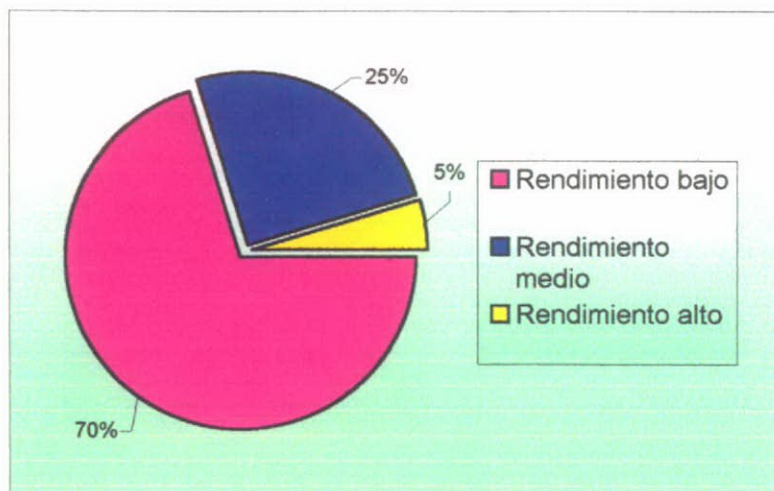


Figura 14: Distribución porcentual de los niveles de rendimiento de caña de azúcar, zafra 2001.

Fuente: EEAOC

En el mapa resultante se observa que la distribución espacial de los niveles de rendimiento mantuvo un patrón similar al de campañas anteriores. Si bien el nivel de rendimiento alto experimentó una reducción, del 9% en la zafra 2000 a un 5% en la zafra actual, se mantuvo en las mismas áreas, en el extremo noreste y sudoeste del área cañera. Los niveles de producción medios registraron un incremento, del 19% al 25%, manteniéndose alrededor de las zonas de alto rendimiento, al este del río Salí, al sur del río Gastona y en la zona pedemontana. Por último los niveles de producción bajos disminuyeron su participación, de un 72% en la zafra 2000 a un 70%, conservando, en líneas generales, las mismas áreas.

Al discriminar la superficie neta total por departamentos se encontró que de los 16 departamentos que componen la Provincia de Tucumán, 15 de ellos tenían plantaciones de caña de azúcar; en el Cuadro 11 se observa la producción estimada en cada uno de ellos

Departamento	Rendimiento Bajo (ha)*	Rendimiento Medio (ha)*	Rendimiento Alto (ha)*	Total Departamental (ha)*
Cruz Alta	16.460	15.570	5.710	37.740
Simoca	25.270	5.360	250	30.880
Leales	21.990	6.720	690	29.400
Monteros	18.550	1.620	30	20.200
Chicligasta	11.790	1.700	40	13.530
Rio Chico	9.940	3.190	220	13.350
Burruyacu	4.630	4.230	960	9.820
Lules	6.310	1.870	130	8.310
Famailla	6.720	1.100	50	7.870
J.B. Alberdi	4.670	2.420	350	7.440
La Cocha	940	1.210	90	2.240
Graneros	990	580	100	1.670
Tafi Viejo	330	190	30	550
Yerba Buena	150	130	10	290
Capital	40	50	10	100
Total Provincial	128.780	45.940	8.670	183.390

*: Superficie neta

Fuente: EEAOC

Cuadro 11: Distribución departamental de la estimación de los niveles de rendimiento, zafra 2001.

Para una mejor visualización de los datos, se graficó la distribución de cada nivel de rendimiento por departamento en valores porcentuales, (Figura 15)

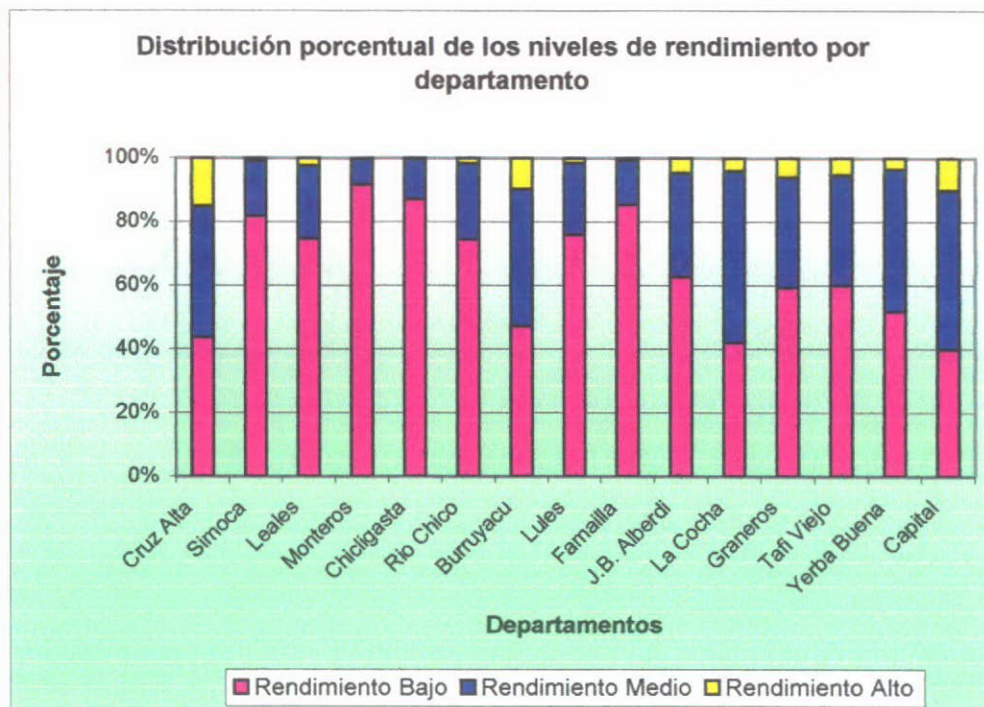


Figura 15: Distribución porcentual de los rendimientos a nivel departamental en la provincia de Tucumán (Zafra 2001). Fuente: EEAOC

6.3.3 - Validación de los resultados

Para la validación de los resultados obtenidos se contó con la información de aproximadamente 15.600 ha, 13.100 ha de campos de control no incluidos en la selección de firmas espectrales y el reconocimiento a campo de 2.500 ha de lotes de caña de azúcar, no incluidos entre los campos de control. Esto significó la verificación de aproximadamente el 9% de la superficie neta total clasificada.

Se determinó un error de $\pm 5\%$. Durante el proceso se verificó que no fueron clasificados los lotes que contabilizaban producciones estimadas inferiores a 400 Kg/surco, esto coincide con las situaciones observadas en la campaña anterior, ya que las condiciones climáticas y de manejo del cultivo fueron similares, registrándose la ausencia de clasificación, principalmente, en la zona de la "llanura deprimida".

En cuanto al error de comisión, este se dio fundamentalmente en las zonas de desmontes con renovales y en los humedales presentes en la llanura.

6.4 – Comparación entre las zafras 1999 y 2001

La comparación se realizó entre las campañas de los años 1999 y 2001 debido a que las imágenes utilizadas en el estudio correspondiente a la zafra 2000 presentaban una cobertura nubosa que involucraba 18.700 ha, aproximadamente. Por este motivo se consideró que la comparación no sería representativa.

La comparación y cálculo de la superficie de ambas campañas se realizó con la herramienta GIS Análisis del módulo Interpreter del software ERDAS Imagine 8.4.

Para la zafra del año 1999 se calculó una superficie neta total de 202.700 ha, mientras que para la zafra 2001 la superficie neta total estimada fue de 183.390 ha, lo que significa una retracción de la superficie neta total de alrededor del 10%. Del análisis comparativo se obtiene:

- Superficie clasificada con caña en ambas zafras: 164.490 ha.
- Superficie clasificada con caña en la zafra 2001 únicamente 18.900 ha.
- Campos con caña en 1999 no clasificados como caña en 2001 19.310 ha.

Se debe destacar que las 18.900 ha que se clasificaron con caña únicamente en el año 2001, engloban tanto las nuevas plantaciones de caña de azúcar realizadas en los dos últimos años como así también las áreas cañeras que en la zafra 1999 no fueron identificadas por el enmascaramiento en las respuestas espectrales y la consecuente ausencia de clasificación de lotes con rendimientos culturales muy bajos.

Por otra parte, los campos con caña en 1999 que no se clasificaron como caña en el año 2001, un total de 19.310 ha, responden fundamentalmente a dos motivos, campos descepadados destinados al cultivo de granos o de citrus y a lotes con caña que no fueron identificados por su bajo rendimiento y/o por estar anegados.

6.5 - CONCLUSIONES

- La **superficie neta total** estimada con cultivos de caña de azúcar para la zafra 2001 en la Provincia de Tucumán fue de **183.390 ha**.
- Discriminada según los niveles de rendimiento preestablecidos se obtuvo:
 - ❖ rendimientos culturales bajos (≤ 56 t/ha) **128.780 ha;**
 - ❖ rendimientos culturales medios (entre 57 y 75 t/ha) **45.940 ha;**
 - ❖ rendimientos culturales altos (≥ 76 t/ha) **8.670 ha.**
- La distribución en el territorio provincial de los distintos niveles de rendimiento se mantiene similar a la de las zafras 1999 y 2000.
- Con respecto a la zafra 2000, tanto los niveles de producción bajos como los de nivel alto, registraron un descenso en la participación porcentual, por el contrario los niveles de producción medio registraron un incremento.
- Durante el proceso de verificación se determinó que no fueron clasificados los lotes que contabilizaban producciones estimadas inferiores a 400 Kg/surco, esto coincide con las situaciones observadas en la campaña anterior, ya que las condiciones climáticas y de manejo del cultivo fueron similares, registrándose la ausencia de clasificación, principalmente, en la zona de la "llanura deprimida". En cuanto al error de comisión, este se dio fundamentalmente en las zonas de desmontes con renovales y en los humedales presentes en la llanura.
- Por las condiciones de nubosidad presentes en las imágenes utilizadas en la clasificación de la zafra 2000, se decidió realizar las comparaciones entre las zafras 1999 y 2001. Del análisis comparativo surge que la superficie cultivada con caña de azúcar en la zafra 2001 sufrió una retracción del 10% con respecto a la zafra 1999.

7 – CONCLUSIONES FINALES

- La experiencia obtenida durante la presente campaña se suma al conocimiento adquirido durante el desarrollo de campañas anteriores. Nuevamente la metodología de Clasificación Multiespectral Supervisada se manifestó adecuada para la clasificación de los cultivos estudiados, destacándose la importancia del conocimiento previo de la realidad de campo al momento de la elección de las áreas test. Una síntesis gráfica de los resultados obtenidos se aprecia en el mapa con las clasificaciones de los cultivos involucrados en la presente campaña (Anexo: Mapa temático Distribución geográfica de los cultivos de caña, soja, maíz y poroto - Campaña 2000/2001).
- Durante los procesos de clasificación quedó evidenciada la importancia de contar con información auxiliar en forma de layers o capas temáticas de distinta índole (clasificaciones de otros cultivos, de vegetación natural, de bosques implantados; coberturas vectoriales de mapas de rutas, hidrográficos, orográficos, de suelos, de aptitud, etc.).
- La ventaja de contar con la información de dos satélites distintos, LandSat5 TM y LandSat7 ETM+, aumentó la probabilidad de obtener imágenes útiles ya que el período de revisita de 16 días se disminuyó, en la práctica, a 8 días.
- Para subsanar los problemas suscitados durante la clasificación en la cuenca Tapia-Trancas, inconvenientes que pueden hacerse extensivos a otras áreas intermontanas, se deberían profundizar los estudios, intentando el análisis de imágenes de fechas posteriores a las analizadas, donde el cultivo alcance su máximo desarrollo vegetal, y analizando la información adquirida por otro tipo de sensores que mejoren la resolución espacial y radiométrica de los satélites LandSat.

- Si bien la extracción de firmas espectrales se realizó sobre los cultivos en el momento en que los mismos presentaban un desarrollo importante (cobertura vegetal uniforme), los modelos empleados para la clasificación de cada uno de ellos tienen validez solamente para su aplicación en las imágenes utilizadas en el presente estudio.

8 - BIBLIOGRAFIA

- Albertz, J.** 1991. Grundlagen der interpretation von luft und satellitenbildern. Alemania.
- Anderson, J. R.; Hardy, E.; Roach, J. T.; Witmer, R.E.** 1979. Sistema de clasificación del uso de la tierra y cobertura de suelos para su utilización con datos de sensores remotos. Río de Janeiro. Brasil.
- Andrade, F.; Cirilo, A.; Uhart S.; Otegui M.** 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce INTA. Buenos Aires. Argentina.
- Bähr, H. P.** 1991. Procesamiento Digital de Imágenes, Aplicaciones en Fotogrametría y Teledetección. Alemania.
- Chuvieco, E.** 1990. Fundamentos de Teledetección Espacial. Madrid. España.
- Fernández de Ulivarri, D.** 1990. El cultivo de los tabacos claros. Manual 1. INTA. Argentina.
- Fogliata, F. A.** 1995. Agronomía de la caña de azúcar. Tucumán. Argentina.
- Fontquer, P.** 1953. Diccionario de Botánica. España.
- Espino Marrero, E. et al.** 1998. Instructivo técnico para el cultivo del tabaco. Instituto de investigaciones del tabaco. La Habana. Cuba.
- Gastellu Etchegorry, J. P.** 1990. Satellite Remote Sensing for Agricultural Projects. World Bank Technical Paper Number 128. Washington. Estados Unidos.
- González Aguayo, R. E.** 1994. Diccionario de Términos SIG. Instituto de Economía y Geografía. Madrid. España.
- González Lelong, A.** 1997. Proyecto de estudio de la reconversión productiva del sector agropecuario. C.F.I.-E.E.A.O.C. Tucumán. Argentina.
- Hellmann, D. B.; Wallace M. G.; Platford, G. G.** 1995. Interpreting farm sugarcane yields using a geographic information system (GIS). Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association. Sudáfrica.
- Lamelas, C. M.; Forciniti, J. D.** 2000. El tiempo y los cultivos en el período Diciembre 1999-Febrero 2000. Avance Agroindustrial E.E.A.O.C. Tucumán. Argentina.
- Lamelas, C. M.; Forciniti, J. D.** 2000. El tiempo y los cultivos en el período Marzo-Abril 2000. Avance Agroindustrial E.E.A.O.C. Tucumán. Argentina.
- Lamelas, C. M.; Forciniti, J. D.** 2000. El tiempo y los cultivos en el período Mayo-julio 2000. Avance Agroindustrial E.E.A.O.C. Tucumán. Argentina.
- Lamelas, C. M.; Forciniti, J. D.** 2000. El tiempo y los cultivos en el período Agosto- Octubre 2000. Avance Agroindustrial E.E.A.O.C. Tucumán. Argentina.
- Lamelas, C. M.; Forciniti, J. D.** 2000. El tiempo y los cultivos en el período Noviembre 2000-Febrero 2001. Avance Agroindustrial E.E.A.O.C. Tucumán. Argentina.

- Lee-Lovick, G.; Kirchner, L.** 1991. Limitations of Landsat TM data in monitoring growth and predicting yields in sugar cane. Proceedings of Australian Society of sugar cane technologists. Australia.
- Norman, A. G.** 1983. Fisiología, Mejoramiento, Cultivo y Utilización de la soja. Michigan. Estados Unidos.
- Ploper, J.; Bulacio E.** 1998. El poroto. Facultad de Agronomía y Zootecnia de la U.N.T. Tucumán. Argentina.
- Scandaliaris, J. et al.** 1997. Empleo de imágenes satelitales para el relevamiento del área cañera de la provincia de Tucumán. Avance Agroindustrial E.E.A.O.C. Tucumán. Argentina.
- Villares, A.** 1988. Almacigos de tabaco. Gacetilla Agroindustrial. E.E.A.O.C. Tucumán. Argentina.
- Villares, A.** 1988. Calidad del tabaco. Gacetilla Agroindustrial. E.E.A.O.C. Tucumán. Argentina.
- Villares, A.** 1989. Variedades de tabaco Burley. Gacetilla Agroindustrial. E.E.A.O.C. Tucumán. Argentina.
- Villares, A.** 1994. Análisis de la situación tabacalera nacional y provincial. Avance Agroindustrial. 15 E.E.A.O.C. Tucumán. Argentina.
- Villares, A.** 1984. Tabaco Burley: necesidad de cosechar tabaco maduro. Avance Agroindustrial. E.E.A.O.C. Tucumán. Argentina.
- Villares, A.** 1989. Aplicación de la investigación tecnológica en el mercado del tabaco. Avance Agroindustrial. E.E.A.O.C. Tucumán. Argentina.
- Yocca, E.** 1986. El procesamiento del tabaco. Visita a la cooperativa de tabacaleros de Tucumán Ltda. Avance Agroindustrial. E.E.A.O.C. Tucumán. Argentina.
- Zuccardi, R. B. ; Fadda, G.** 1985. Bosquejo Agroecológico de la Provincia de Tucumán. Miscelánea 86. Facultad de Agronomía y Zootecnia de la U.N.T. Tucumán. Argentina.

9 – AGRADECIMIENTOS

Nuestro mas sincero agradecimiento a los productores y empresas agropecuarias que nos "abrieron las tranqueras" de sus campos brindándonos la información imprescindible para la concreción de este proyecto.

A los Ingenieros Agr. Guillermo Fadda y Jorge Scandaliaris, Directivos de la EEAOC, por el apoyo y sugerencias recibidas.

Al Lic. Bosidar Bakarcic, del C.F.I., por la lectura crítica de los informes parciales y sus acertadas sugerencias que enriquecieron este informe.

A los Técnicos de las secciones Granos, Agrometeorología, Comunicaciones, y Economía Agraria de la E.E.A.O.C., particularmente a los Ingenieros Agr. Mario Devani, Daniel Gamboa, Fernando Ledesma, Cesar Lamelas, Daniela Perez, al Lic. Jose L. Valderrabano, al D.G. Silvio Salmoiraghi y al Sr. Jorge Forciniti.

Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombres”

Av. William Cross 3150

-4101- Las Talitas

Prov. de Tucumán

ARGENTINA

Tel.: 0381 – 4276561

Fax: 0381 – 4276404

E_mail: srsig@eeaoc.org.ar

Consejo Federal de Inversiones

San Martín 871

-1004- Ciudad Autónoma de Buenos Aires

ARGENTINA

Tel.: 011 – 43170700

Fax: 011 – 43170793

E_mail: bbakarcic@cfired.org.ar

