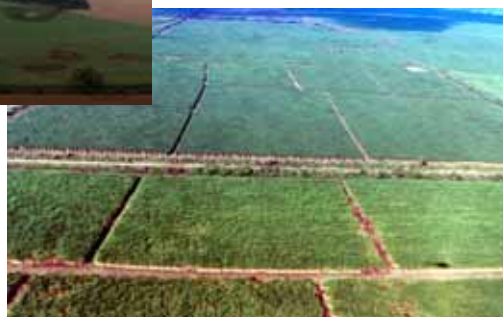
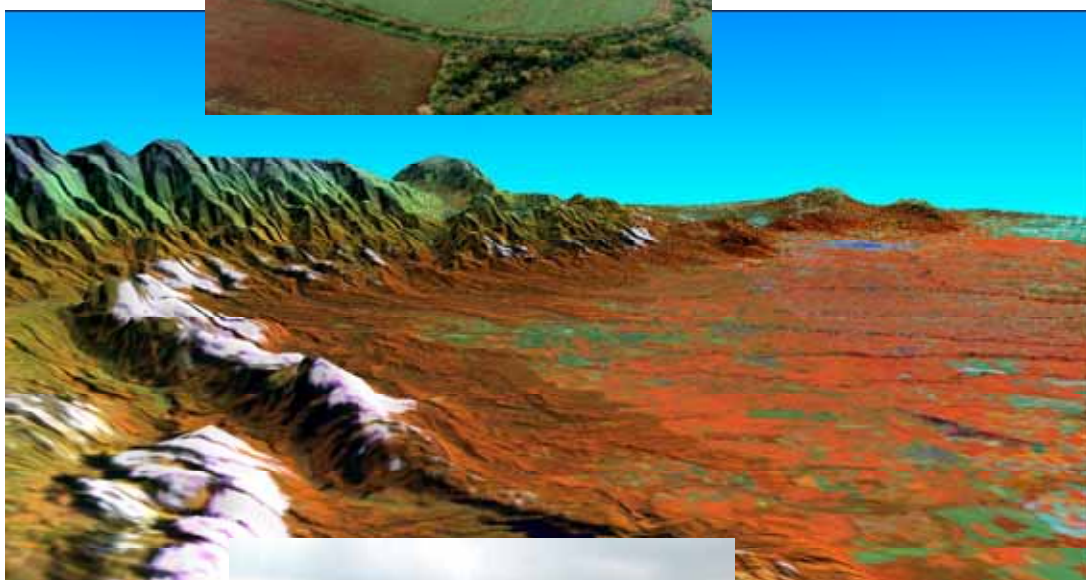


# ESTIMACIÓN DE SUPERFICIE CULTIVADA Y PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR PARA EL NOROESTE DE ARGENTINA

---

EEAOC  
PROSAP/SIIA  
CONAE

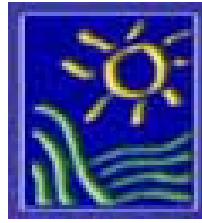


---

**INFORME DE AVANCE**

**Tucumán, Julio de 2003**

**Instituciones Participantes:**



**Estación Experimental Agroindustrial  
“Obispo Colombes”**

**Programa de Servicios Agrícolas Provinciales  
Sistema Integrado de Información Agropecuaria**

**Comisión Nacional de Actividades Espaciales**

**Ejecución del Proyecto:**

**Ing. Agr. Jorge Scandaliaris**

**Lic. Federico J. Soria**

**Ing. Agr. Carmina Fandos**

# **ESTIMACIÓN DE SUPERFICIE CULTIVADA Y PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR PARA EL NOROESTE DE ARGENTINA**

## **INFORME DE AVANCE**

### **INDICE:**

	<b>Página</b>
<b>1 - Introducción y Objetivos</b>	<b>4</b>
<b>2 - Avances obtenidos al mes de Julio de 2003</b>	<b>5</b>
<b>3 - Metodología de trabajo</b>	<b>6</b>
<b>4 - Estimación de superficie y producción de caña de azúcar para la zafra 2003 en la Provincia de Tucumán</b>	<b>8</b>
<b>4.1.- Imágenes satelitales utilizadas</b>	<b>8</b>
<b>4.2.- Criterios utilizados para la clasificación multiespectral</b>	<b>8</b>
<b>4.3.- Resultados</b>	<b>9</b>
<b>4.3.1.- Estimación de superficie discriminada en niveles productivos</b>	<b>9</b>
<b>4.3.2.- Estimación de producción de materia prima y azúcar</b>	<b>12</b>
<b>4.3.2.1.- Disponibilidad de materia prima</b>	<b>13</b>
<b>4.3.2.2.- Producción de azúcar</b>	<b>14</b>
<b>5 - Estimación de superficie ocupada con caña de azúcar para la zafra 2003 en las Provincias de Jujuy y Salta</b>	<b>15</b>
<b>5.1. - Imágenes satelitales utilizadas</b>	<b>15</b>
<b>5.2. - Resultados</b>	<b>15</b>
<b>5.2.1.- Estimación de superficie</b>	<b>15</b>
<b>6 - Consideraciones generales</b>	<b>18</b>

## 1 - Introducción y Objetivos

La determinación en forma anticipada de la superficie y producción de caña de azúcar en el NOA resulta sumamente importante en el trazado de estrategias para la actividad azucarera.

Desde el año 1997 la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) viene realizando, a partir de la información generada por imágenes satelitales, la estimación de superficie y producción de caña de azúcar en la Provincia de Tucumán, logrando ajustar una metodología cuya aplicación permitió la obtención de resultados con escaso margen de error.

El valor de la información obtenida antes de zafra en las últimas campañas abrió la posibilidad de su aplicación en las otras provincias del NOA y derivó en un Convenio de Colaboración y Cooperación entre el Programa de Servicios Agrícolas Provinciales/Proyecto del Sistema Integrado de Información Agropecuaria (PROSAP/SIIA) y la EEAOC para la realización de la “Estimación de superficie cultivada y producción de caña de azúcar en el NOA”.

El objetivo general es la estimación de la superficie cultivada y el volumen de caña de azúcar a producirse en las provincias de Tucumán, Jujuy y Salta, a principios de zafra y monitorear el avance de cosecha a mediados de la misma para ajustar el volumen final de azúcar.

Los objetivos específicos son:

- Calcular la superficie ocupada con caña de azúcar en las provincias de Tucumán, Jujuy y Salta, discriminando los resultados por Departamento.
- Estimar la producción de caña de azúcar discriminando tres niveles de rendimiento.
- Ajustar el método de estimación para cada región.
- Generar un equipo de trabajo para realizar las estimaciones en forma sistemática.

## **2 - Avances obtenidos al mes de Julio de 2003**

Según el Convenio citado, a la fecha ya se tendría que haber cumplido con la Primera etapa referida a la estimación de superficie y producción de caña de azúcar para las provincias de Tucumán, Jujuy y Salta.

En lo referente a la provincia de Tucumán, la Primera etapa ya fue completada. Con respecto a las provincias de Jujuy y Salta la dicha etapa no pudo ser cumplida debido a cuestiones ajenas a la EEAOOC y las cuales se detallan a continuación.

Por distintas razones la disponibilidad de imágenes satelitales Landsat7 ETM+ se encuentra dificultada. En primera instancia, las condiciones de excesiva nubosidad al momento de la pasada del satélite impidieron la adquisición de imágenes aptas para su análisis, contándose al día de la fecha sólo con imágenes correspondientes al mes de febrero, no aptas para la estimación de producción. En segundo lugar, se debe destacar la anomalía surgida en el satélite Landsat7.

Debido a la falta de imágenes en el catálogo de la CONAE, se procedió a recabar información a fin de determinar la razón de la falta de las mismas. Se consultó a técnicos de la CONAE Estación Terrena Córdoba, los cuales indicaron que el satélite estaba teniendo problemas en la captura de datos.

Para mayor información se consultó la página oficial del Proyecto LandSat, en la misma se expone que la anomalía se presentó a partir del 30 de mayo pasado, y no ha podido ser solucionada hasta la fecha. Los investigadores están analizando el problema que ocurrió con el SLC (Espejo corrector de barrido de líneas), y si bien existe electrónica redundante a bordo del satélite, se dispone solamente de un motor para realizar el movimiento del espejo.

Por otro lado, distintos equipos de científicos están analizando la validez de los datos en caso de no poder corregirse la falla, esto significa que mediante algoritmos se trataría de compensar los errores registrados para así poder utilizar las imágenes.

Con las imágenes disponibles, fue posible el logro parcial de los objetivos propuestos. Según el Convenio mencionado, se acordó en dividir las tareas en dos grandes

unidades de trabajo, por un lado el área cañera de la Provincia de Tucumán y por otro la región cañera de las provincias de Jujuy y Salta en conjunto.

Las tareas realizadas para las dos unidades de trabajo se enuncian a continuación:

- Estimación de superficie y producción de caña de azúcar para la zafra 2003 en la Provincia de Tucumán.
- Estimación de superficie ocupada con caña de azúcar para la zafra 2003 en las provincias de Jujuy y Salta.

### **3 - Metodología de trabajo**

El procedimiento de análisis y la metodología propuesta fue la de clasificación multiespectral supervisada.

En líneas generales, la clasificación de la caña de azúcar involucró el desarrollo secuencial de los siguientes pasos:

- A) Selección de lotes de control o campos de entrenamiento: áreas piloto con cultivos de caña de azúcar reconocidos a ser utilizadas para identificar las respuestas espectrales de los mismos.
- B) Georreferenciación de los campos o lotes seleccionados: identificación de la localización geográfica de los lotes de control a los efectos de su posterior ubicación en las imágenes.
- C) Recolección de información relevante respecto de los cultivos y fincas involucrados en los campos de control.
- D) Selección y obtención de imágenes, ajustadas al calendario agrícola del cultivo.
- E) Corrección geométrica y radiométrica, georreferenciación y mosaiqueado de las imágenes.

F) Reconocimiento de las condiciones de campo imperantes en los puntos de control, durante el período de pasadas útiles del satélite, para su uso posterior en el análisis de las imágenes.

G) Interpretación digital y clasificación de las imágenes seleccionadas.

H) Elaboración de mapas temáticos discriminando la superficie ocupada por el cultivo.

El software empleado para el procesamiento de imágenes satelitales fue el ERDAS Imagine, versión 8.4.

A continuación se exponen las características específicas para cada unidad de trabajo.

## 4 - Estimación de superficie y producción de caña de azúcar para la zafra 2003 en la Provincia de Tucumán

### 4.1. - Imágenes satelitales utilizadas

Las características de las imágenes utilizadas para la clasificación del área y de los niveles productivos de caña de azúcar se exponen en el Cuadro 1:

Orbital	Centro de imagen	Fecha de adquisición	Sensor
230	78	20/04/03	LandSat7 ETM
230	79	20/04/03	LandSat7 ETM
231	79	11/04/03	LandSat7 ETM

*Cuadro 1: Listado de imágenes utilizadas para la clasificación de caña de azúcar en la Provincia de Tucumán, zafra 2003.*

Durante la presente campaña no fue posible la adquisición de imágenes totalmente libres de nubes en el sector occidental del área cañera de la provincia el cual es cubierto por el orbital 231, por lo que las imágenes seleccionadas fueron las de menor cobertura nubosa. En consecuencia faltó la información digital de algunos departamentos del Oeste del área cañera.

### 4.2. - Criterios utilizados para la clasificación multiespectral

Para la identificación de las firmas espectrales, con las cuales se llevaría a cabo el proceso de clasificación, se tuvo en cuenta el mismo criterio de separación de niveles productivos que el utilizado en las campañas precedentes, dichos niveles se especifican a continuación:

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

### 4.3 - Resultados

#### 4.3.1.- Estimación de superficie discriminada en niveles productivos

La superficie bruta total de la caña de azúcar correspondiente a la zafra 2003 para la Provincia de Tucumán fue estimada en **222.640 ha** (Anexo: Mapa Temático), desagregando dicho valor en los tres niveles de rendimiento considerados se obtiene:

Rendimientos culturales bajos ( $\leq 56$ t/ha)	<b>150.950 ha</b>
Rendimientos culturales medios (entre 57 y 75 t/ha)	<b>53.630 ha</b>
Rendimientos culturales altos ( $\geq 76$ t/ha)	<b>18.060 ha</b>

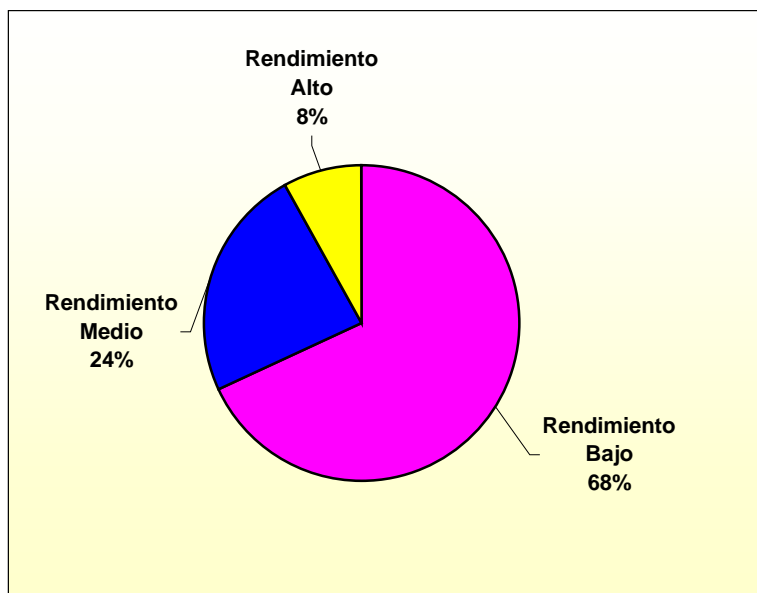
Por la resolución espacial del sensor LandSat (30 m), en la clasificación digital del cultivo de caña de azúcar resultan involucradas las zonas sin cultivo que se encuentran dentro de las explotaciones cañeras; estas zonas corresponden a las áreas de servicios, caminería interna, etc. Según investigaciones realizadas por la Sección Agronomía de caña de azúcar de la EEAOC, dichos espacios incultos en la provincia de Tucumán representan, en promedio, un 15 % del total de una finca cañera. Al descontar dicho porcentaje de los valores de superficie bruta total se obtiene que la **superficie neta total** estimada para la zafra 2003 fue de **188.920 ha**. La superficie neta que corresponde a cada nivel de rendimiento se indica a continuación:

Rendimientos culturales bajos ( $\leq 56$ t/ha)	<b>128.170 ha</b>
Rendimientos culturales medios (entre 57 y 75 t/ha)	<b>45.460 ha</b>
Rendimientos culturales altos ( $\geq 76$ t/ha)	<b>15.290 ha</b>

Como se mencionó en párrafos anteriores, debido a las coberturas nubosas, no fue posible la adquisición de imágenes con información digital útil de toda el área cañera. Por esta razón los departamentos Famaillá, Monteros, Río Chico, J. B. Alberdi y La Cocha, ubicados en las zonas Oeste y Sud de la provincia, no fueron clasificados. Para determinar los valores de superficie correspondientes a la presente zafra, se convino en tomar los mismos valores de superficie que los obtenidos en la zafra 2002.

El análisis porcentual de los valores de superficie neta obtenidos revela que el 68 % del área clasificada correspondió a cañaverales con nivel de rendimiento bajo,

mientras que el 24 % y 8 % restantes, se distribuyen en las áreas cañeras de nivel de rendimiento medio y bajo, respectivamente, (Figura 1).



*Figura 1: Distribución porcentual de los niveles de rendimiento de caña de azúcar, Provincia de Tucumán, zafra 2003.*

En el mapa temático resultante se observa que las áreas con altos niveles de rendimientos se focalizan en los sectores Noreste y Sudoeste de la provincia, mientras que los cañaverales de rendimiento bajo predominan en la zona central del área cañera.

Los valores de superficie neta a nivel departamental, discriminados en cada uno de los niveles de rendimiento se indican en el Cuadro 2:

Departamento	Rto Bajo (ha)*	Rto Medio (ha)*	Rto Alto (ha)*	Total Departamental (ha)*
Cruz Alta	22.100	11.000	6.190	<b>39.290</b>
Leales	21.860	7.340	2.080	<b>31.280</b>
Simoca	22.060	6.930	1.870	<b>30.860</b>
Monteros	17.680	1.960	220	<b>19.860</b>
Chicligasta	9.580	4.220	990	<b>14.790</b>
Río Chico	8.810	3.430	960	<b>13.200</b>
Burruyacu	6.350	2.660	1.300	<b>10.310</b>
Lules	5.220	2.630	760	<b>8.610</b>
Famailla	6.580	1.530	40	<b>8.150</b>
J. B. Alberdi	4.960	1.990	540	<b>7.490</b>
La Cocha	1.020	1.040	180	<b>2.240</b>
Graneros	1.390	420	60	<b>1.870</b>
Tafí Viejo	370	160	20	<b>550</b>
Yerba Buena	140	120	70	<b>330</b>
Capital	50	30	10	<b>90</b>
<b>Total Provincial</b>	<b>128.170</b>	<b>45.460</b>	<b>15.290</b>	<b>188.920</b>

\*:Superficie neta.

Cuadro 2: Distribución departamental de la estimación de los niveles de rendimiento, Provincia de Tucumán, zafra 2003

La expresión porcentual de los totales departamentales se visualizan en la Figura 2.

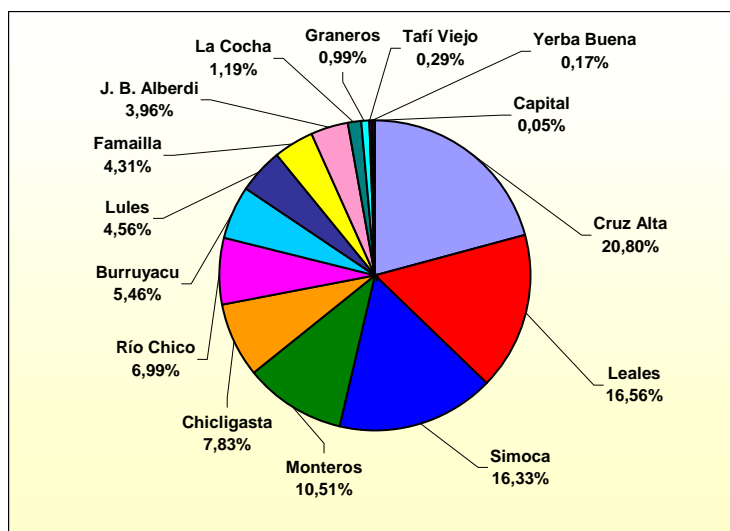


Figura 2: Distribución porcentual por departamento del cultivo de caña de azúcar, Provincia de Tucumán, zafra 2003

La distribución porcentual de los niveles de rendimiento en cada departamento se aprecia en la Figura 3. Entre los 10 departamentos que concentran más del 95 % del área cañera tucumana se destaca por presentar mejores niveles de rendimiento el departamento Cruz Alta, al que le siguen los departamentos Lules, Burruyacu y Chicligasta.

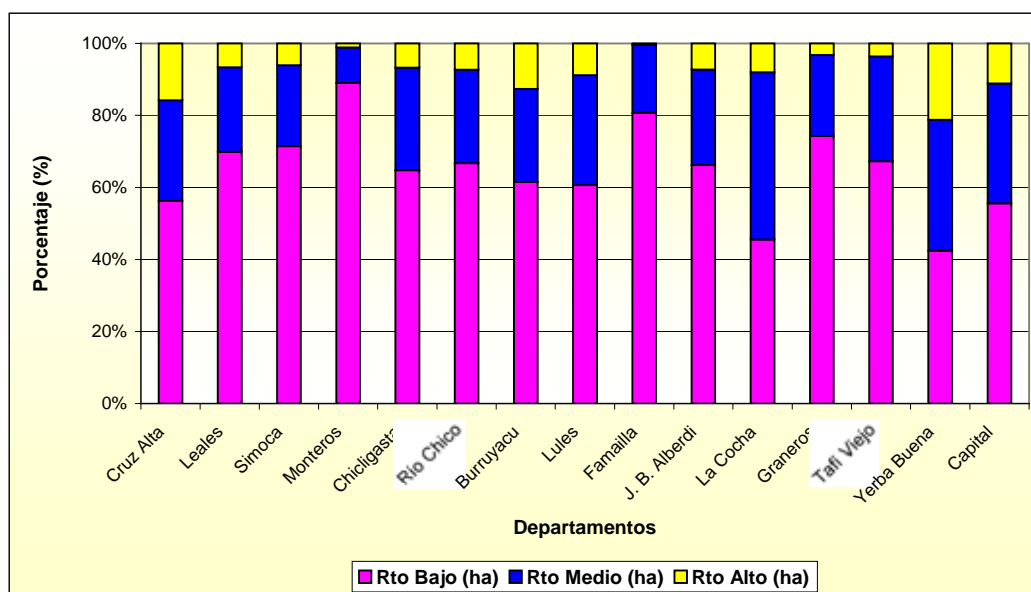


Figura 3: Distribución porcentual de los rendimientos a nivel departamental, Provincia de Tucumán, zafra 2003

#### 4.3.2.- Estimación de producción de materia prima y azúcar para la zafra 2003

Para realizar el cálculo de materia prima disponible para la fabricación de azúcares se necesita tener en cuenta una serie de factores, entre ellos se destacan: el desarrollo de la zafra anterior, las condiciones agroclimáticas pasadas y previstas, el estado del cañaveral, y las estimaciones de superficie, rendimientos culturales y rendimientos fabriles realizadas en pre-zafra.

El último ciclo vegetativo de la caña de azúcar se puede dividir claramente en tres etapas bien diferenciadas. La primera de ellas transcurrió durante el invierno y los primeros días de la primavera, caracterizándose por un déficit hídrico que facilitó el desenvolvimiento de la cosecha pero que al, mismo tiempo, pudo ser una limitante para el crecimiento inicial de las cañas, especialmente de las plantas.

La segunda comenzó en la última quincena de octubre, que es cuando se inician las lluvias, que en general han sido buenas hasta el mes de diciembre. Durante los meses indicados el cañaveral recibió un buen manejo por parte del productor, consistente en la aplicación de programas de fertilización ajustados a las necesidades de las plantas, laboreos adecuados y buen control de malezas. Todo ello, sumado a la finalización temprana de la zafra 2002, posibilitó que el cañaveral tucumano alcanzara buenas tasas de crecimiento por lo que en el mes de enero se podía apreciar que Tucumán estaba recuperando una gran parte del cañaveral y que se podrían, en consecuencia, alcanzar niveles productivos mejorados en relación a la campaña anterior. Para esta condición también ayudaba el hecho de que durante el invierno y especialmente la primavera los cañaverales se renovaron en un alto porcentaje.

En la tercera etapa se presentó un quiebre de las buenas condiciones señaladas; para algunas zonas el inicio fue en el mes de enero y para otras en el mes de febrero según la distribución y volumen de las precipitaciones. Con el paso del tiempo se notaba que las áreas con problemas de déficit hídrico se iban incrementando y generalizando a medida que transcurrían los meses de febrero y marzo.

La sequía no afectó de igual manera a todos los cañaverales de la provincia, apreciándose al inicio de zafra una gran variabilidad en los rendimientos culturales, como consecuencia de la irregularidad espacial de las lluvias, la disponibilidad de riego y características del suelo y cultivo.

#### **4.3.2.1.- Disponibilidad de materia prima**

En función a la superficie y nivel productivo de los cañaverales, el volumen global disponible de caña de azúcar para la zafra 2.003 ha sido estimado en **9.700.000 t**.

De ese total se estima que se deben deducir unas 500.000 t que representan la caña semilla que se puede utilizar durante el invierno y la primavera del 2.003. Descontando la caña semilla, quedaría un volumen de 9.200.000 t. En consecuencia, la **materia prima disponible para molienda**, según la ocurrencia de heladas sería la siguiente, teniendo en consideración las pérdidas de caña que están asociadas a las características de las heladas:

Sin heladas	9.200.000 t
Con heladas suaves y moderadas	9.100.000 t
Con heladas severas	8.930.000 t

Como no se pueden precisar las características y alcances que puedan tener las heladas en el presente año se elaboraron tres hipótesis de rendimiento fabril final para la zafra 2003 que fundamentalmente están asociados a la intensidad, frecuencia y duración de las heladas.

La proyección de la zafra que se puede realizar a partir de la disponibilidad de materia prima del presente año y teniendo en cuenta la evolución de la maduración, permite inferir los siguientes niveles de rendimiento fabril según las condiciones de heladas:

Sin heladas	10.60 (Rto. Fabril Estimado)
Con heladas suaves y moderadas	10.20 (Rto. Fabril Estimado)
Con heladas severas	9.95 (Rto. Fabril Estimado)

#### **4.3.2.2.- Producción de azúcar**

En base a la materia prima estimada y a la calidad media inferida, las alternativas de **producción probable de azúcar para Tucumán** para la zafra 2003 podrían ser:

Sin heladas	<b>975.000 t</b>
Con heladas suaves y moderadas	<b>928.000 t</b>
Con heladas severas	<b>888.500 t</b>

## 5 - Estimación de superficie ocupada con caña de azúcar para la zafra 2003 en las provincias de Jujuy y Salta

Con las imágenes disponibles, a pesar que no eran de fechas de adquisición óptimas, fue posible realizar la estimación de la superficie ocupada con cultivos de caña de azúcar (Cuadro 3).

### 5.1. - Imágenes satelitales utilizadas

Orbital	Centro de imagen	Fecha de adquisición	Sensor
231	76	06/02/03	LandSat7 ETM
231	77	06/02/03	LandSat7 ETM
230	76	20/04/03	LandSat7 ETM
230	77	20/04/03	LandSat7 ETM

Cuadro 3: Listado de imágenes utilizadas para la estimación de superficie de caña de azúcar en las provincias de Jujuy y Salta, zafra 2003

### 5.2 - Resultados

#### 5.2.1.- Estimación de superficie

La **superficie bruta total** de la caña de azúcar correspondiente a la zafra 2003 para la provincias de Jujuy y Salta, fue estimada en **71.420 ha** y **25.970 ha**, respectivamente (Anexo: Mapas Temáticos).

La discriminación departamental de los valores de superficie expresados en hectáreas y en porcentaje, para cada provincia, se exponen en los Cuadros 4 y 5 y Figuras 4 y 5.

Departamentos	Superficie bruta (ha)
Ledesma	31.200
San Pedro	23.180
Santa Bárbara	15.160
El Carmen	1.880
<b>Total provincial</b>	<b>71.420</b>

Cuadro 4: Distribución departamental de los cultivos de caña de azúcar en la Provincia de Jujuy, zafra 2003

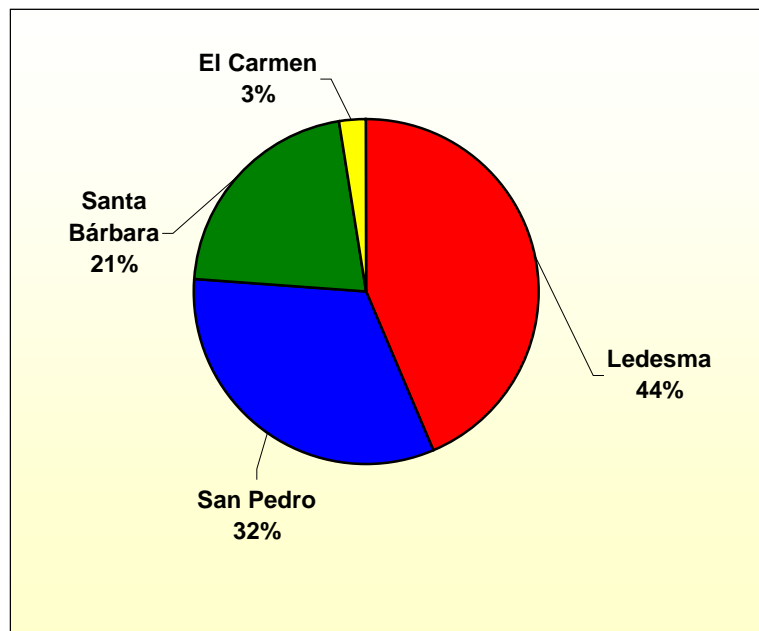
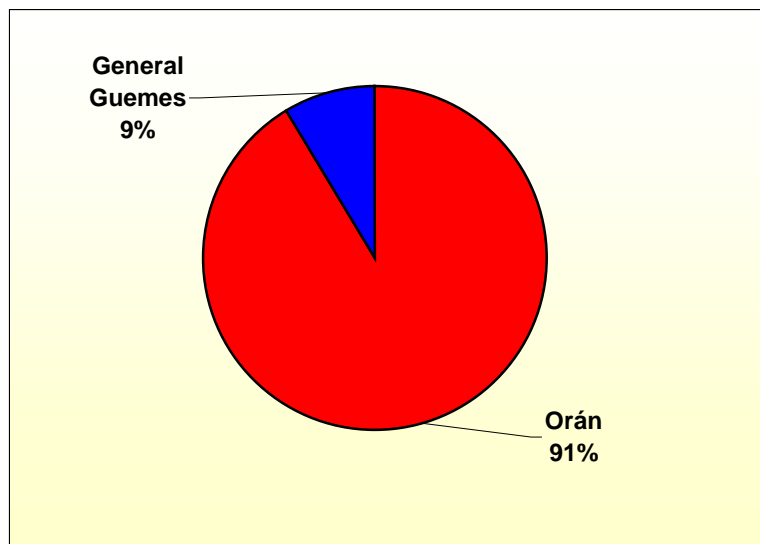


Figura 4: Distribución porcentual por departamento del cultivo de caña de azúcar en la Provincia de Jujuy, zafra 2003

Departamentos	Superficie bruta (ha)
Orán	23.740
General Guemes	2.230
<b>Total provincial</b>	<b>25.970</b>

Cuadro 5: Distribución departamental de los cultivos de caña de azúcar en la Provincia de Salta, zafra 2003



*Figura 5: Distribución porcentual por departamento del cultivo de caña de azúcar en la Provincia de Salta, zafra 2003*

Como se mencionó en párrafos anteriores, la ausencia de imágenes satelitales útiles del orbital 231 (el cual cubre aproximadamente el 70% del área cañera) determinó que para el proceso de clasificación digital se utilizaran las imágenes adquiridas en el mes de febrero. Se esperaba contar con imágenes correspondientes al trimestre marzo-abril-mayo, meses en los cuales el cañaveral se presenta ya como una densa masa vegetal “verde”, condición óptima para su identificación y diferenciación de niveles productivos.

Clasificar niveles de producción en las imágenes disponibles de febrero, causaría un elevado margen de error no aceptable a los fines del presente proyecto. Este error tendría dos orígenes, por un lado el escaso desarrollo de algunos cañaverales no permitiría su clasificación y por otro, el período transcurrido entre la clasificación y la zafra hubiera sido muy prolongado, aumentando considerablemente el riesgo de que condiciones agroclimáticas y fitosanitarias puedan hacer cambiar el rendimiento del cañaveral.

Por los motivos mencionados es que se optó por realizar solamente la estimación de la superficie ocupada con cultivos de caña de azúcar.

## **6 - Consideraciones generales**

En lo que respecta a la Provincia de Tucumán se debe resaltar que la estimación brindada se anticipó a las estimaciones normales que viene realizando la EEAOC, en el sentido de que se entregó una primera aproximación al momento de iniciarse la zafra. Por esto y además por la imposibilidad de contar con la información completa de una de las imágenes satelitales, se esperaba ajustar estos guarismos con imágenes del mes de junio, lo cual fue imposible de cumplir por las anomalías ocurridas en el satélite LandSat7.

Con la experiencia adquirida durante el presente proyecto se desprende la necesidad de trabajar con sensores auxiliares o sustitutos del sensor ETM+ de LandSat7. En campañas futuras se espera contar con información de sensores como el MMRS del satélite SAC-C, si bien su resolución gráfica es menor al del LandSat, puede servir como alternativo, ya que la disponibilidad de las imágenes está incluida en convenios con la CONAE. Por este motivo la EEAOC comenzó un programa de evaluación del sensor MMRS a fin de determinar el grado de precisión a que se puede llegar con el análisis de la información brindada por este sensor.

Se aconseja para campañas futuras agilizar las gestiones administrativas a fin de posibilitar el inicio de tareas en término, esto es a más tardar a principios de marzo.

## **Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombes”**

AV. William Cross 3150

-4101- Las Talitas

Prov. de Tucumán

ARGENTINA

Tel.: 0381-4276561

Fax: 0381-4276404

E\_mail: [srysig@eeaoc.org.ar](mailto:srysig@eeaoc.org.ar)

## **Sistema Integrado de Información Agropecuaria**

Av. Paseo Colon 982 3º piso, of.142

-1063- Ciudad Autónoma de Buenos Aires

ARGENTINA

Tel.: 011-43492798

E\_mail: [camado@sagpya.minproduccion.gov.ar](mailto:camado@sagpya.minproduccion.gov.ar)

## **Comisión Nacional de Actividades Espaciales**

Paseo Colon 751-1097- Ciudad Autónoma de Buenos Aires

ARGENTINA

Tel.: 011-43310074

Fax: 011-43313446

E\_mail: [jizaurra@conae.gov.ar](mailto:jizaurra@conae.gov.ar)