



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 99 (1):
21-27; 2022



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBRES
Tucumán | Argentina

Av. William Cross 3150
T4101XAC - Las Talitas.
Tucumán, Argentina.

Zonificación del área cañera tucumana según niveles de producción y relación con las regiones agrológicas y el índice de productividad de los suelos

Carmina Fandos*, Federico J. Soria*, Pablo Scandaliaris* y Javier I. Carreras Baldrés*

* Sección Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica; EEAOC. Email: carminaf@eeaoc.org.ar

RESUMEN

La zonificación de las áreas agrícolas posibilita el tratamiento diferencial de cada zona de acuerdo a las variables que limitan el potencial productivo. La teledetección permite el análisis de la biomasa de los cultivos, facilitando así las estimaciones de producción, mientras que los SIG agilizan la vinculación espacial de distintas fuentes de información. El uso combinado de la teledetección y los SIG presenta un gran potencial para la zonificación de cultivos de caña de azúcar. El área cañera tucumana se concentra en las regiones del Pedemonte, la Llanura deprimida y la Llanura chacopampeana. El conocimiento de los índices de productividad (IP) de los suelos permite recomendar prácticas de manejo para cada situación en particular. Los objetivos de este trabajo fueron realizar la zonificación del área cañera tucumana según los niveles de producción y relacionarla con las regiones agrológicas y el IP de los suelos. Se aplicó un análisis multitemporal de imágenes categorizadas, empleando técnicas de SIG. Se tomaron como base las clasificaciones de caña de azúcar según niveles de producción obtenidas para 2011, 2013, 2016, 2018, 2019 y 2020. La Llanura chacopampeana subhúmeda húmeda y el Pedemonte presentaron los mayores porcentajes de IP alto; sin embargo, las zonas de alta producción alcanzaron valores en el orden del 2%. Además, en la región pedemontana se destacó una elevada concentración de zonas de baja producción. En la Llanura deprimida oriental los porcentajes de los distintos IP se corresponden con los porcentajes alcanzados por las diferentes zonas de producción, en líneas generales, mientras que la Llanura deprimida occidental presentó menores producciones en relación a lo esperado según los IP. Los resultados de este trabajo permitieron constatar que el manejo del cultivo es un factor de gran incidencia en los rindes de los cañaverales tucumanos.

Palabras clave: caña de azúcar, teledetección, SIG.

ABSTRACT

Zonation of the sugarcane planted area in Tucumán province according to production levels and its relationship with the agrológica regions and the Soil Productivity Index

The zonation of agricultural areas enables differential treatment of each zone according to the variables that limit productive potential. Remote sensing allows the analysis of crop biomass, which facilitates production estimates, while GIS facilitates the spatial linkage of different information sources. The combined use of remote sensing and GIS has great potential for sugarcane crop zonation. The sugarcane planted area in Tucumán province is concentrated in the Pedemonte and Deprimida and Chacopampeana plain regions. Knowledge of the productivity indexes (PI) of the soils allows management practices to be recommended for each particular situation. The aims were to carry out the zonation of the sugarcane planted area of Tucumán province according to production levels and to relate it to the agrológica regions and the PI of the soils. A multitemporal analysis of categorized images was applied, using GIS techniques. Sugarcane classifications according to production levels obtained for 2011, 2013, 2016, 2018, 2019 and 2020 were taken as a baseline. The humid sub-humid chacopampeana plains and the Pedemonte presented the highest percentages of high PI; however, the high production areas reached values in the order of 2%. In addition, in the Pedemonte region there was a high concentration of low production zones.

In the eastern Deprimida plain, the percentages of the different PI correspond to the percentages reached by the different production zones, in general terms, while the western Deprimida plain presented lower productions in relation to what was expected according to the PI. This work showed that crop management is a factor of great incidence in the yields of sugarcane fields in Tucumán province.

Key words: sugarcane, remote sensing, GIS.

Trabajo
parcialmente
presentado en
el 2 Congreso
Latinoamericano
de Agricultura de
Precisión (2 CLAP)

Fecha de
recepción:
03/02/2021

Fecha de
aceptación:
29/04/2021

■ INTRODUCCIÓN

Tucumán es la provincia más importante de la República Argentina en cuanto a producción de azúcar de caña, con una participación nacional de entre el 60 y 65% (Romero *et al.*, 2009).

El rendimiento del cultivo de caña de azúcar es el resultado de la conjunción de diferentes factores ambientales y de manejo. Las características climáticas y edáficas definen el escenario para el desarrollo del cultivo, el cual puede ser intervenido por el manejo que se realice.

La identificación de ambientes de diferente producción en las áreas agrícolas contribuye a la zonificación y la gestión de prácticas que permitan el tratamiento diferencial de cada zona de acuerdo a las variables que limitan el potencial productivo. La zonificación de áreas agrícolas requiere de la información de distintas campañas, la cual puede ser obtenida rápidamente mediante el uso de la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Las técnicas de percepción remota posibilitan una visión sinóptica y el seguimiento temporal de las áreas agrícolas (Chuvienco, 2008). Al permitir el análisis de la biomasa de los cultivos, facilitan su identificación y monitoreo y las estimaciones de producción, entre otras aplicaciones. Con respecto al cultivo de caña de azúcar, existen numerosas publicaciones que hacen referencia a estimaciones de producción a partir de la información de imágenes satelitales (Noonan, 1999; Soria *et al.*, 2000; Aguilar-Rivera *et al.*, 2010; Moshir Rahman and Robson, 2016).

La aplicación de metodologías de clasificación multispectral en imágenes satelitales facilita la obtención de capas categorizadas surgidas de la agrupación de los píxeles que componen la imagen en categorías temáticas. Dichas capas pueden ser empleadas para confeccionar mapas temáticos o realizar análisis multitemporales que permiten la detección de cambios (Chuvienco, 2008).

Por otra parte, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) agilizan la vinculación espacial de distintas fuentes de información, ya que permiten integrar datos de diversas áreas de conocimiento con diferentes niveles de detalle, lo que posibilita un enfoque holístico o multidisciplinario en el estudio del área geográfica de interés (Landau *et al.*, 2014). De allí que el uso combinado de la teledetección y los SIG presente gran potencial para la zonificación de cultivos de caña de azúcar, tal como lo expresan Aguilar-Rivera *et al.* (2010), que realizaron la zonificación productiva del área cañera de la Huasteca Potosina, México, tomando como base la información generada por la aplicación del índice Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

El área cañera tucumana se concentra principalmente en las regiones de Pedemonte, Llanura deprimida y Llanura chacopampeña (Zuccardi y Fadda, 1985). En cada una de ellas, las características climáticas, fisiográficas y edáficas son distintas, lo que genera diferentes condiciones y aptitudes para el cultivo de caña de azúcar.

El conocimiento de los índices de productividad (IP) de los suelos y de los factores que los condicionan puede constituir herramientas útiles para recomendar prácticas de manejo específicas para cada situación en particular. En Sanzano *et al.* (2018) se estimaron los IP de los suelos cultivados con caña de azúcar de 2550 sitios en diferentes regiones agrológicas de la provincia de Tu-

cumán, analizando la incidencia de cada factor condicionante de la productividad. Los resultados mostraron que un 63% y un 78% de los suelos de las regiones del Pedemonte y de la Llanura Chacopampeña, respectivamente, presentaron IP altos (mayores a 69), mientras que en la subregión occidental de la Llanura Deprimida, un 53% de los sitios fueron de IP de rango medio (55-69), y en la subregión oriental el 58% fueron IP de rango bajo y muy bajo (40-54 y menores a 39, respectivamente).

La Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes (EEAOC) dispone de mapas de niveles de producción de caña de azúcar para diferentes zafras en la provincia de Tucumán. Fueron obtenidos a partir de clasificaciones multispectrales de imágenes satelitales, a partir de la información de campo relevada para las diferentes campañas agrícolas.

Tomando como base las capas temáticas de niveles de producción para diferentes zafras cañeras, los objetivos del trabajo fueron realizar la zonificación del área cañera tucumana según los niveles de producción de caña de azúcar y relacionarla con las regiones agrológicas y el IP de esos suelos.

■ MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio es la región cultivada con caña de azúcar en la provincia de Tucumán, que se concentra principalmente en las regiones de Pedemonte, Llanura deprimida y Llanura chacopampeña (Zuccardi y Fadda, 1985). La región pedemontana es el área de transición entre las montañas y la llanura. Las pendientes, por donde bajan numerosos cursos de agua, varían entre el 1% y 5%, perdiendo intensidad al entrar en contacto con la llanura de sedimentación hacia el este de la región. Los suelos son bastantes heterogéneos, aunque existe predominio de texturas francas y franco arenosas, en algunos casos con pequeñas piedras. Son suelos entre fuerte y ligeramente ácidos, de baja capacidad de retención de agua, agravada por su declive, que propicia el escurrimiento superficial del agua que les llega por las lluvias o el riego.

La Llanura deprimida se trata en general de una planicie con pendientes menores del 0,5%, afectada por la presencia de una capa freática a poca profundidad. La parte occidental de la llanura presenta una densa red hidrográfica constituida por ríos y arroyos provenientes del área montañosa. Esta llanura se divide en dos subregiones, no salina y salina. En la subregión no salina los suelos son muy heterogéneos, pero en general, los que ocupan los sectores más altos presentan mayor contenido de arena, mientras que los más pesados o arcillosos se ubican en los sectores más bajos. Presenta una capa freática que fluctúa durante el año a relativamente poca profundidad, ocasionando excesos de agua de lenta eliminación. Los suelos tienen reacción química desde neutra a ligeramente alcalina. En la subregión salina los suelos también muestran texturas heterogéneas entre sus características constitutivas. Se caracterizan por una capa freática que presenta mayor contenido de sales debido a que llueve menos y existen menos redes naturales de drenaje. En general, los suelos con mayores problemas de salinidad o alcalinidad se encuentran en las posiciones bajas del relieve. El pH va desde moderado a muy fuertemente alcalino, lo que afecta la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes.

La Llanura chacompampeana es una amplia llanura con pendientes largas y débiles, con valores que raramente sobrepasan el 1%. Dominan los suelos franco limosos en superficie y franco arcillo limosos o franco limosos a partir de los 40-50 cm de profundidad. Este tipo de textura le otorga al suelo alta capacidad de retención de agua. Presentan pH desde ligeramente ácido a neutro y contenido de materia orgánica medio, entre 2,0% y 2,5%. Son suelos propensos a la formación de capas compactadas superficiales (planchado) y subsuperficiales que dificultan la exploración radicular o el movimiento del agua (Sanzano, 2019).

La situación relativa del área de estudio se visualiza en la Figura 1.

El trabajo se realizó mediante un análisis multi-temporal de imágenes categorizadas (Chuvieco, 2008),

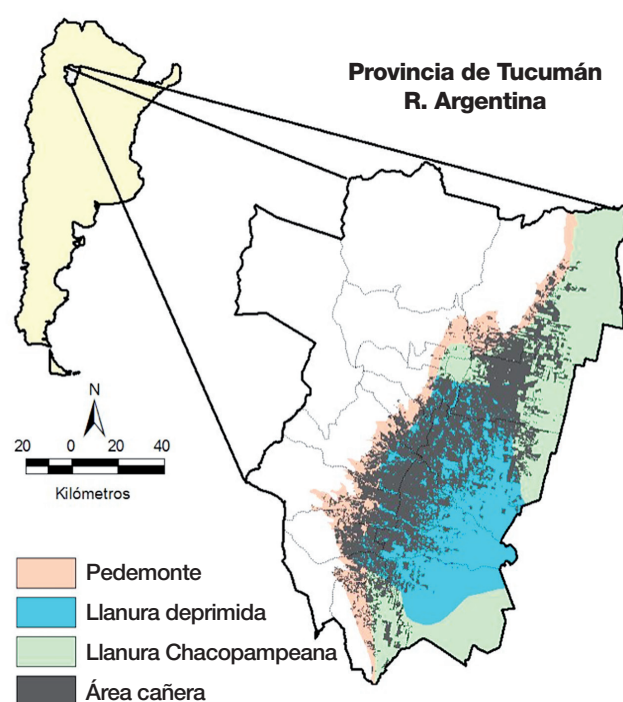


Figura 1. Situación relativa del área de estudio.

empleando técnicas de SIG. Las coberturas temáticas utilizadas como base fueron las clasificaciones de caña de azúcar según niveles de producción para la provincia de Tucumán, obtenidas para los años 2011, 2013, 2016, 2018, 2019 y 2020. Dichas capas temáticas fueron generadas a partir de clasificaciones multispectrales de imágenes satelitales Landsat 5 TM, Landsat 8 OLI y Sentinel 2A y 2B MSI, obtenidas de los sitios <https://catalogos.conae.gov.ar/landsat8/> y <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, respectivamente.

Las clasificaciones se hicieron analizando las bandas espectrales situadas en el rojo, el infrarrojo cercano y el infrarrojo medio, donde la vegetación tiene su mayor respuesta espectral. Las bandas analizadas fueron las 3, 4 y 5 del satélite Landsat 5 TM; 4, 5 y 6 del satélite Landsat 8 OLI; y las 4, 8 y 11 del Sentinel 2A y 2B MSI (Fandos *et al.*, 2011; 2013; 2016; 2018; 2019; 2020).

Se estimó conveniente analizar varios ciclos agrícolas, de manera de contemplar diferentes condiciones

climáticas y de manejo del cañaveral.

En primera instancia, debido a la diferente resolución espacial de los sensores utilizados, las coberturas presentaban distinto tamaño de pixel, por lo que se realizó el redimensionamiento de pixel para ajustarlo a 30 m, valor correspondiente al pixel de las imágenes Landsat 8 OLI.

Las capas temáticas base de caña de azúcar contenían tres categorías de niveles de producción, según el rendimiento cultural: bajo (menor a 56 t/ha), medio (entre 56 y 75 t/ha) y alto (mayor a 76 t/ha). Para el análisis, a los pixeles correspondientes al nivel bajo se les asignó el valor 1, al nivel medio, el valor 10; y el valor 100 al nivel alto.

Como resultado de la sumatoria de capas temáticas se obtuvo una capa resumen para las 6 campañas agrícolas consideradas, con valores entre 1 y 600, en la cual la unidad corresponde al nivel bajo, la decena, al medio y la centena, al alto.

A fin de zonificar el área cañera, se optó por considerar tres zonas de producción: baja, intermedia y alta; y la asignación de las clases a cada zona se realizó considerando el número con mayor valor, según este se localizara en la unidad, decena o centena. Ejemplo: las clases 1, 24 y 123 fueron asignadas a la zona de producción baja; las clases 10, 21 y 231 a la zona de producción intermedia; y las clases 100, 211 y 510 a la zona de producción alta. Las clases sin predominio de valores fueron asignadas priorizando el nivel de menor producción.

Seguidamente, se superpuso la capa resumen de zonas de producción con la correspondiente a regiones y subregiones agrológicas de la provincia de Tucumán (Zuccardi y Fadda, 1985). En la Tabla 1 se indican las subre-

Tabla 1. Regiones y subregiones agrológicas del área cañera tucumana. Adaptado de Zuccardi y Fadda (1985)

Región	Subregión
Pedemonte (1)	1-a-1 Pedemonte húmedo y perhúmedo de suelos automorfos
	1-a-2 Pedemonte húmedo y perhúmedo de suelos hidromorfos
	1-b Pedemonte subhúmedo húmedo
	1-c Pedemonte subhúmedo seco
Llanura deprimida (2)	2-a Llanura deprimida no salina u occidental
	2-b-1 Llanura deprimida salina u oriental seca subhúmeda
	2-b-2 Llanura deprimida salina u oriental semiárida
Llanura chacopampeana (3)	3-a Llanura chacopampeana suhúmeda húmeda
	3-b-1 Llanura chacopampeana seca subhúmeda no salina
	3-b-2 Llanura chacopampeana seca subhúmeda con salinidad
	3-c-1 Llanura chacopampeana semiárida no salina
	3-c-2 Llanura chacopampeana semiárida con salinidad

giones de cada una de las regiones agrológicas donde se desarrollan los cultivos de caña de azúcar.

En una etapa posterior se analizaron en conjunto las zonas de producción y los IP de los suelos cañeros estimados por Sanzano *et al.* (2018) para algunas de las diferentes regiones y subregiones agrológicas, los cuales fueron determinados considerando características climáticas y físico-químicas de los suelos (Figura 2).

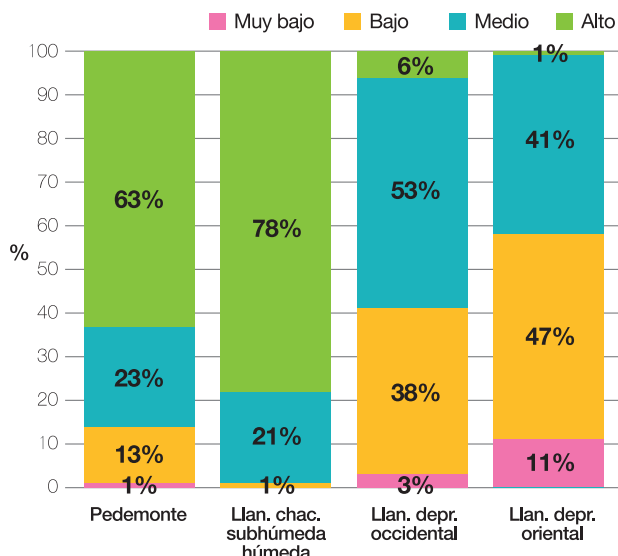


Figura 2. Índice de Productividad de suelos en distintas regiones y subregiones cañeras. Adaptado de Sanzano *et al.* (2018).

Los softwares utilizados para el trabajo fueron ERDAS Imagine, versión 8.4. y ARC GIS versión 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 3 expone la superficie total ocupada por cada zona de producción según el criterio adoptado en el trabajo. Se constata que alrededor de la mitad de la superficie cañera corresponde a zonas de producción baja.

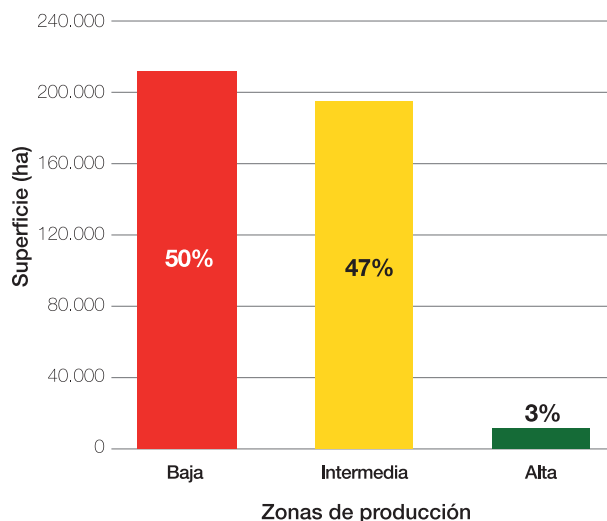


Figura 3. Superficie cañera según zonas de producción. Tucumán

En la Figura 4 se muestra la relación entre la zonificación del área cañera y las regiones agrológicas. En primera instancia se aprecia que más de la mitad del área cañera se localiza en la región de la Llanura deprimida, la mitad restante se reparte entre las regiones de Llanura chacopampeana y Pedemonte. Además, se constata que las regiones de Pedemonte y Llanura deprimida concentran los mayores porcentajes de zonas de baja producción.

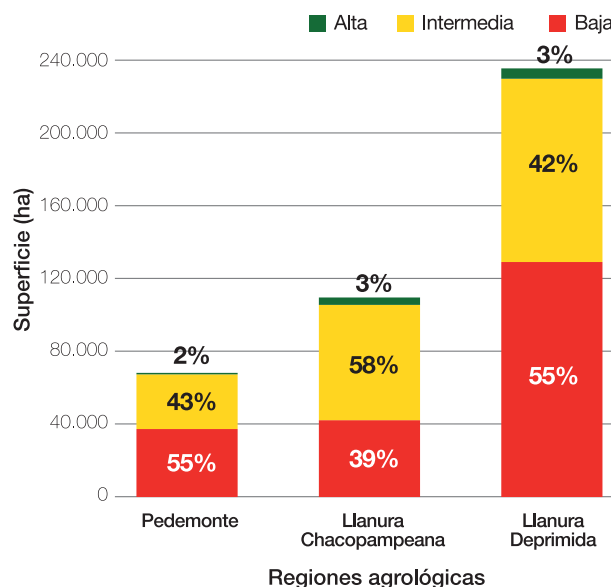


Figura 4. Zonas de producción de caña de azúcar según regiones agrológicas. Tucumán.

El detalle de las zonas de producción según regiones y subregiones agrológicas se presenta en la Figura 5. Se aprecia que el área cañera se concentra mayormente en las subregiones de la Llanura deprimida salina seca subhúmeda (2-b-1), con 34% del total provincial, y Llanura deprimida no salina u occidental (2-a), con un 23%, seguidas por las subregiones Llanura chacopampeana seca subhúmeda no salina (3-b-1), Pedemonte húmedo y perhúmedo de suelos automorfos (1-a-1) y Llanura chacopampeana subhúmeda húmeda (3-a), con valores entre 12% y 9% en cada caso. El análisis de la composición porcentual de las zonas de producción en las cinco subregiones principales de caña de azúcar indica que la mayor proporción de zonas de baja producción se localiza en la subregión 2-a, seguida de la subregión 1-a-1; mientras que si se analiza la sumatoria de los porcentajes de las zonas de producción intermedia y alta, se aprecia que los mayores valores corresponden a la subregión 3-a, seguida por la subregión 3-b-1.

La distribución espacial de las zonas de producción según regiones y subregiones agrológicas se muestra en la Figura 6. Si bien las zonas de producción baja se disponen en toda el área cañera, se constata un predominio en los sectores centrales de las subregiones 2-a y 2-b-1, las cuales pueden estar asociadas a la presencia de una capa freática relativamente cercana a la superficie del suelo que adolece, en el sector oriental, de la falta de una red de drenaje definida. Esta combinación lleva a la acumulación de excesos hídricos que perjudican la cali-

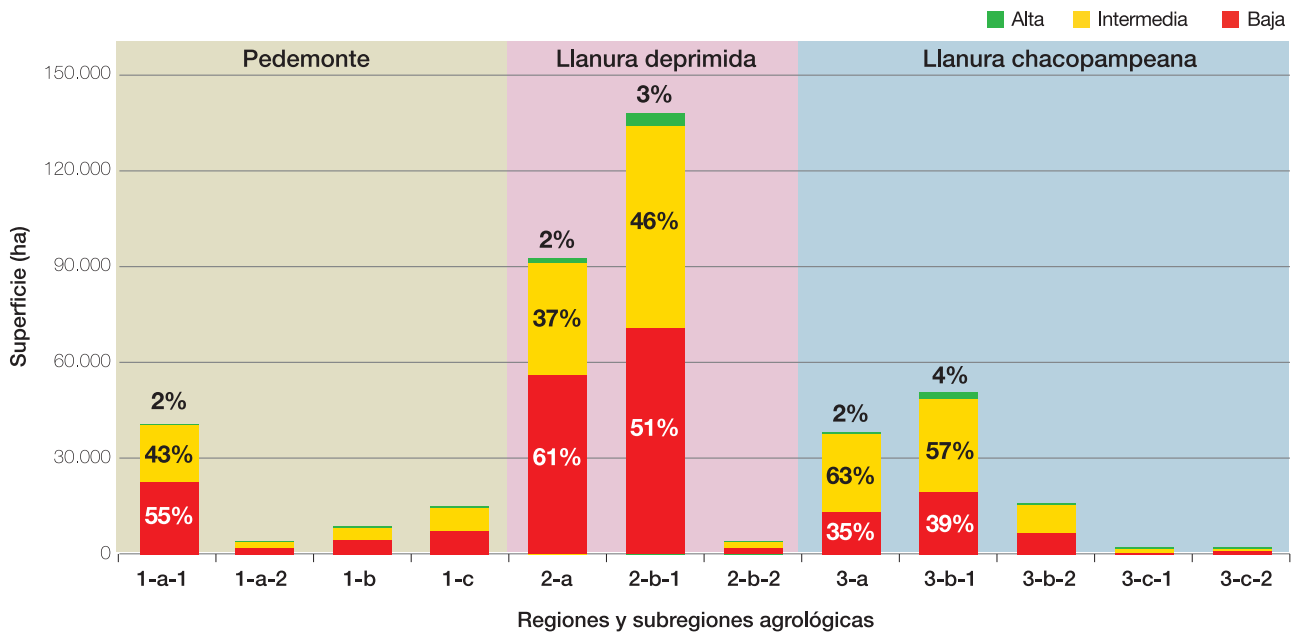


Figura 5. Zonas de producción de caña de azúcar según regiones y subregiones agrológicas. Tucumán.

dad productiva del suelo (Sanzano, 2019). Además, es la zona del minifundio cañero caracterizado en general por una baja tecnología, mano de obra familiar y rendimientos que no pasan las 40 t/ha (Santillán *et al.*, 2012).

En las subregiones correspondientes a la Llanura chacopampeana las bajas producciones podrían estar asociadas al déficit hídrico creciente hacia el este y a la baja estabilidad estructural de los suelos por el bajo contenido de limo, que genera condiciones propicias para escurrimientos superficiales de magnitud que ocasionan

procesos de erosión hídrica desde moderada a severa. En la región pedemontana, las bajas producciones podrían estar relacionadas con la falta de manejo adecuado que permita atenuar los efectos negativos derivados de la torrencialidad de las lluvias, que al sumarse a las fuertes pendientes y suelos con baja capacidad de retención de agua, generan pérdidas de suelo por erosión hídrica (Sanzano, 2019).

Por otra parte, se destaca el predominio de zonas de producción intermedia y alta en las subregiones 3-a y 3-b-1, sector norte de las subregiones 2-a y 2-b-1, y sector sur de las subregiones 1-a-1, 2-a y 2-b-1, que coinciden con departamentos que incluyen productores o empresas cañeras de mayor escala económica y de base productiva diversificada (Benedetti *et al.*, 2019), con poder negociador en el mercado, situación que facilita la adopción de prácticas de manejo de cultivo que por su costo pueden resultar de difícil incorporación para explotaciones de menor escala.

En la Tabla 2 se exponen los porcentajes alcanzados por cada zona de producción y la distribución porcentual del IP de los suelos en las principales regiones y subregiones cañeras sobre las que se disponía de información de IP.

Se constata que la Llanura chacopampeana subhúmeda húmeda y el Pedemonte presentaron los mayores porcentajes de IP alto. En la región de la Llanura chacopampeana, el alto contenido de limo del suelo fue determinante para los altos valores de IP obtenidos, mientras que en la región del Pedemonte fueron influenciados por el elevado contenido de materia orgánica del suelo, y menos significativamente por el contenido de limo y arcilla (Sanzano *et al.*, 2018). La gran concentración de IP alto en ambas regiones permitiría suponer una alta proporción de zonas de producción alta; sin embargo, dichas zonas alcanzaron valores en el orden del 2%.

Por otra parte, los mayores porcentajes de IP muy bajo y bajo se concentran en la Llanura deprimida oriental, seguida por la Llanura deprimida occidental. En la

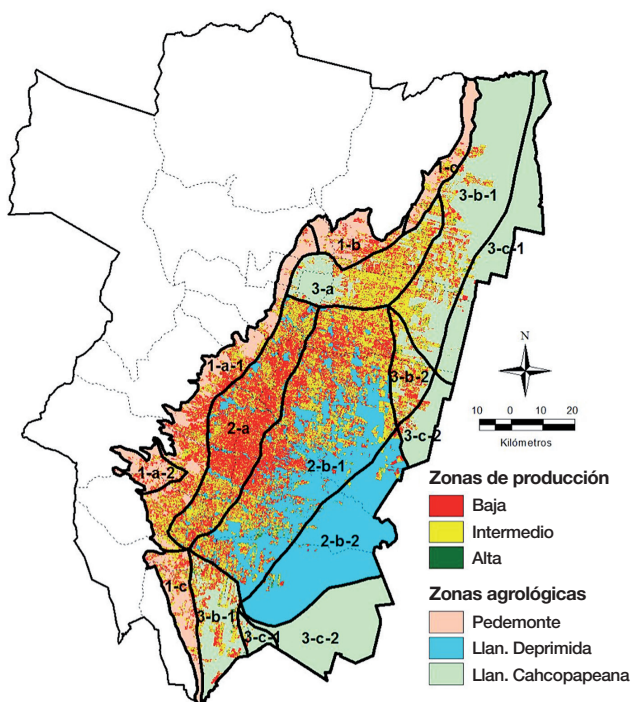


Figura 6. Distribución espacial de las zonas de producción de caña de azúcar según regiones y subregiones agrológicas. Tucumán.

subregión occidental de la Llanura deprimida, los bajos IP obtenidos se explicaron principalmente por el alto pH del suelo y/o por el contenido de CO_3Ca , mientras que en la subregión oriental a estos dos factores se agregó la conductividad eléctrica asociada negativamente a la productividad (Sanzano *et al.*, 2018). En líneas generales puede decirse que en la Llanura deprimida oriental los porcentajes de los distintos IP se corresponden con los porcentajes alcanzados por las diferentes zonas de producción, y que la Llanura deprimida occidental presentó menores producciones en relación a lo esperado según los IP.

De lo expuesto se deduce que en el rendimiento de gran parte de los cañaverales tucumanos, además de los aspectos físicos y químicos del suelo, tienen una gran influencia los aspectos referidos al manejo del cultivo (el cual está condicionado, a la vez, por el tamaño de las parcelas y el régimen de tenencia de la tierra), el que en algunos casos permite subsanar las limitaciones fisiográficas y edáficas; y en otros, desaprovechar buenos ambientes para el cultivo de caña de azúcar. Con respecto a esto último, cabe mencionar que el minifundio es una limitante tanto a la incorporación de tecnología como a la adopción de buenas prácticas agrícolas, derivada, entre otras causas, de la arraigada tradición en el monocultivo de caña y sus prácticas ancestrales de manejo y el reducido tamaño de las explotaciones cañeras que obstaculiza, por ejemplo, la utilización de maquinarias (Giancola *et al.*, 2012).

CONCLUSIONES

La región agrológica con mayor concentración de superficie cañera es la Llanura deprimida, seguida por la Llanura chacopampeana y por último, el Pedemonte.

A nivel de subregiones, las más importantes son la Llanura deprimida salina u oriental seca subhúmeda (2-b-1) y la Llanura deprimida no salina u occidental (2-a), seguidas, pero con muy baja incidencia, por las subregiones Llanura chacopampeana seca subhúmeda no salina (3-b-1), el Pedemonte húmedo y perhúmedo de suelos automorfos (1-a-1) y la Llanura chacopampeana subhúmeda húmeda (3-a).

El análisis de las cinco subregiones principales consideradas indica que los mayores porcentajes de zonas de baja producción se localizaron en las subregiones 2-a y 1-a1; mientras que si se analiza la sumatoria de los porcentajes de las zonas de producción intermedia y alta, se aprecia que los mayores valores correspondieron a la subregión 3-a, seguida por la subregión 3-b-1.

El análisis de los valores de IP y las zonas de producción permitió constatar que el manejo del cultivo de caña de azúcar, condicionado a su vez por el tamaño de las parcelas y la tenencia de la tierra, es un factor de gran incidencia en los rindes de los cañaverales tucumanos.

El análisis SIG generó información numérica y gráfica que contribuye a las estadísticas del cultivo de caña de azúcar. Los mapas temáticos generados facilitan la identificación de zonas de diferente productividad en las distintas regiones agrológicas, lo que constituye una herramienta de gran utilidad para la elección de las prácticas

Tabla 2. Zonas de producción e índice de productividad de suelos en las principales regiones y subregiones cañeras.

Región o Subregión	Zonas de producción			Índice de productividad de suelos (IP)*			
	Baja (%)	Intermedia (%)	Alta (%)	Muy bajo (%)	Bajo (%)	Medio (%)	Alto (%)
Región 1	55	43	2	1	13	23	63
Subregión 2-a	61	37	2	3	38	53	6
Subregión 2-b-1	51	46	3	11	47	41	1
Subregión 3-a	35	63	2	0	1	21	78

*: Índice de productividad de suelos de Sanzano *et al.* (2018)

agrícolas más adecuadas que aporten al mantenimiento de la sustentabilidad del sistema productivo cañero. Por otra parte, sirven de base para análisis posteriores que incluyan otras variables de tipo ambiental, agronómico o económico.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Aguilar-Rivera, N.; C. Galindo Mendoza y J. Fortanelli Martínez. 2010.** Zonificación productiva cañera en la Huasteca Potosina México. *Rev. Agronomía Tropical* 60 (2): 139-154.
- Benedetti, P. E.; C. del C. Morales y R. A. Moreno. 2019.** Dinámica de plantación de caña de azúcar y rotación de cultivos a partir de sensores remotos, campaña 2018-2019. Ediciones INTA. Tucumán. [En línea] Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/dinamica-de-plantacion-de-cana-de-azucar-y-rotacion-de-cultivos-a-partir-de-sensores-remotos-campana-2018-2019> (consultado 26 octubre 2020).
- Chuvioco, E. 2008.** Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio (3 ed.). (Planeta, Ed.). Barcelona, España.
- Fandos, C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris; F. J. Soria y J. I. Carreras Baldrés. 2011.** Área ocupada con caña de azúcar y producción de caña de azúcar y azúcar para la zafra 2011 en Tucumán. Reporte Agroindustrial EEAOC 53 [En línea] Disponible en <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=ra53-area-ocupada-con-cana-de-azucar-y-produccion-de-cana-de-azucar-y-azucar-para-la-zafra-2011-en-tucuman> (consultado 27 enero 2021).
- Fandos, C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris, F. J. Soria y J. I. Carreras Baldrés. 2013.** Área cosechable y producción de caña de azúcar y azúcar para la zafra 2013 en Tucumán. Reporte Agroindustrial EEAOC 83 [En línea] Disponible en <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=ra83-area-cosechable-y-produccion-de-cana-de-azucar-y-azucar-para-la-zafra-2013-en-tucuman> (consultado 27 enero 2021).
- Fandos, C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris, J. I. Carreras Baldrés y F. J. Soria. 2016.** Área cosechable y producción de caña de azúcar y azúcar para la zafra

- 2016 en Tucumán. Reporte Agroindustrial EEAOC 124 [En línea] Disponible en <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=ra124-area-cosechable-y-produccion-de-cana-de-azucar-y-azucar-para-la-zafra-2016-en-tucuman> (consultado 27 enero 2021). Ediciones EEAOC. Tucumán.
- Fandos, C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris J. I. Carreras Baldrés; F. J. Soria; J. Giardina y E. R. Romero. 2018.** Área cosechable y producción de caña de azúcar y azúcar para la zafra 2018 en Tucumán. Reporte Agroindustrial EEAOC 148 [En línea]. Disponible en <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=ra148-area-cosechable-y-produccion-de-cana-de-azucar-y-azucar-para-la-zafra-2018-en-tucuman> (consultado 27 enero 2021).
- Fandos, C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris J. I. Carreras Baldrés; F. J. Soria; J. Giardina, Juan Fernández de Ullivarri y E. R. Romero. 2019.** Área cosechable y producción de caña de azúcar y azúcar para la zafra 2019 en Tucumán. Reporte Agroindustrial EEAOC 166 [En línea] Disponible en <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=ra-166-area-cosechable-y-produccion-de-cana-de-azucar-y-azucar-para-la-zafra-2019-en-tucuman> (consultado 27 enero 2021). Ediciones EEAOC. Tucumán.
- Fandos, C.; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés; F. J. Soria; J. Giardina; J. F. de Ullivarri y E. Romero. 2020.** Área cosechable y producción de caña de azúcar y azúcar para la zafra 2020 en Tucumán. Reporte Agroindustrial 190 EEAOC. Relevamiento satelital de cultivos en la provincia de Tucumán [En línea] Disponible en <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=ra-190-area-cosechable-y-produccion-de-cana-de-azucar-y-azucar-para-la-zafra-2020-en-tucuman> (consultado 26 octubre 2020). Ediciones EEAOC. Tucumán.
- Giancola, S. I.; J. L. Morandi; N. Gatti; S. Di Giano; V. Dowbley y C. Biaggi. 2012.** Causas que afectan la adopción de tecnología en pequeños y medianos productores de caña de azúcar de la Provincia de Tucumán: enfoque cualitativo. Serie: Estudios socioeconómicos de la adopción de tecnología. Boletín electrónico [En línea] Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-causas_que_afectan_la_adopcin_de_tecnologa_de_caa_de_.pdf (consultado 17 mayo 2017).
- Landau, E. C.; D. Pereira Guimaraes y A. Hirsch. 2014.** Uso de Sistemas de Informaciones Geográficas para espacialización de datos del área de producción agrícola. En: Manual de Agricultura de Precisión. Chartuni Mantovani, E. y C. Magdalena (Eds.), IICA, PROCISUR. Montevideo, Uruguay.
- Moshiur Rahman, M. and A. J. Robson. 2016.** A Novel Approach for Sugarcane Yield Prediction Using Landsat Time Series Imagery: A Case Study on Bundaberg Region. *Advances in Remote Sensing* 5 (2). [En línea] Disponible en https://www.scirp.org/pdf/ARS_2016060617281508.pdf (consultado 27 enero 2021)
- Noonan, M. 1999.** Classification of fallow and yields using Landsat TM data in the sugarcane lands of the Herbert River catchment. Herbert Resource Information Centre. In: Proceedings of 13th Annual Australian ESRI and ERDAS Users Conference. Adelaide.
- Romero, E. R.; J. Scandaliaris; P. A. Digonzelli; M. F. Leggio Neme; J. A. Giardina; J. Fernández de Ullivarri; S. D. Casen; M. J. Tonatto y L. G. P. Alonso. 2009.** La caña de azúcar, características y ecofisiología. En: Manual del cañero. Romero, E. R.; P. A. Digonzelli y J. Scandaliaris (Eds.), EEAOC, Tucumán, Argentina, pp. 13-21.
- Santillán, J.; E. Scala; B. Nestasio; I. Valdez; J. Perea y S. Bas Nahas. 2012.** Plan de Desarrollo Territorial de Tucumán. Boletín electrónico [En línea] Disponible en <https://www.rides.producciontucuman.gov.ar> (consultado febrero 10 de 2014)).
- Sanzano, G. A.; E. A. Arroyo; N. D. Aranda; M. Morandini; J. I. Romero; C. Sotomayor; F. Sosa y H. Rojas Quinteros. 2018.** Índice de productividad de los suelos cultivados con caña de azúcar en la provincia de Tucumán – Factores determinantes. En: Actas XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Tucumán, Argentina, pp. 1525-1531.
- Sanzano, A. 2019.** Suelos productivos de Tucumán, buenas prácticas. *Avance Agroindustrial*. 40 (1) 30-40. [En línea]. Disponible en <https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2019/06/avance40-1-suelosproductivos-de-tucuman.pdf> (consultado 15 enero 2021).
- Soria, F.; C. Fandos y J. Scandaliaris. 2000.** Determinación por imágenes satelitales del área cultivada con citrus y granos, y producción de caña de azúcar. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán* 77 (1): 49-69.
- Zuccardi, R. B. y Fadda, G. S. 1985.** Bosquejo Agrológico de la Provincia de Tucumán. *Miscelánea* 86. 63 p. Facultad de Agronomía y Zootecnia de la U.N.T. Tucumán. Argentina.