

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS CONTENIDOS DE FÓSFORO DISPONIBLE EN SUELOS DEL ÁREA CAÑERA DE TUCUMÁN, ARGENTINA

Esteban A. Arroyo*; Agustín Sanzano*; Hugo C. Rojas Quinteros* y Jessica P. Navarro Di Marco*

RESUMEN

La caña de azúcar, para alcanzar un rendimiento cultural cercano a las 100 t/ha, extrae entre 800 y 1500 kg/ha/año de nutrientes. En experiencias locales se estimó para un ciclo completo de un cañaveral (una planta y cuatro socas) extracciones de fósforo de 67,7 kg/ha con riego y 56,6 kg/ha en secano, valores que incrementan si se elimina total o parcialmente el residuo agrícola de cosecha. En Tucumán, la información sobre la distribución del contenido de fósforo disponible en suelos cañeros es escasa. El objetivo de este trabajo fue elaborar un mapa de la distribución espacial de los contenidos de P disponible de los suelos cultivados con caña de azúcar en Tucumán, Argentina. A tal efecto se extrajeron muestras de suelo a 0 – 30cm de profundidad en 2.900 sitios distribuidos en toda el área cañera. Los datos fueron cargados y procesados en el sistema de información geográfica libre QGIS versión 2.14.11-Essen, donde se elaboró el mapa de la distribución espacial de P disponible para la capa superficial del suelo con el método de interpolación Kriging Ordinario (KO). Los resultados indican que los suelos cañeros con niveles de P disponible menores a 13 partes por millón (ppm) medidos por el método de Bray y Kurtz II, donde se podría esperar respuesta a la fertilización fosfatada, están concentrados en el área noreste de Tucumán, en los límites de los departamentos Burruyacú y Cruz Alta. Los contenidos considerados medios o de respuesta probable al fósforo (13 a 25 ppm) se ubican en Burruyacú, Cruz Alta y norte de Leales. Los lotes que reportan niveles de fósforo considerados altos, donde no hay respuesta a la fertilización fosfatada, se extienden desde la zona centro-norte hasta el sur del área cañera. El mapa de fertilidad obtenido es un aporte al conocimiento del ordenamiento espacial de los contenidos de fósforo en el territorio que ayuda en la toma de decisiones del productor.

Palabras clave: mapa, fósforo disponible, caña de azúcar.

ABSTRACT

Spatial distribution of soil available phosphorus contents in sugarcane area in Tucumán, Argentina

It has been reported that sugarcane requires around 800 - 1500 kg/ha year-1 of nutrients. Local studies estimated phosphorus extractions of 67,7 kg/ha and 56,6 kg/ha for drip irrigated and rainfed sugarcane respectively considering a 5 years period (plant cane and 4 ratoon). This magnitudes supposes a green harvested cane and the crop residues not burnt or removed. There is scarce information about phosphorus's spatial distribution in Tucuman's soils. The objective of this work was to build a map of phosphorus availability for the sugarcane area in Tucuman, Argentina. Soil samples were taken at 0-30cm depth in 2900 sites distributed throughout the sugarcane area. The data was loaded and processed in geographic information system QGIS versión 2.14.11-Essen. The map was made using the Ordinary Kriging interpolation method (KO). Results indicated that the soils with available P levels lower than 13 ppm, range with response to fertilization, were located at Burruyacú and Cruz Alta departments. Soils with moderate P contents and probable response to P-fertilization (13 to 25 ppm) represent a larger area, also located at Burruyacú and Cruz Alta plus north of Leales departments. The sugarcane fields with phosphorus's high levels, extend from the north-central to the southeast area. This fertility map contributes to the knowledge of P spatial distribution in the Tucuman's sugarcane territory, helping local cane growers on decision taking.

Key words: map, phosphorus available, sugar cane.

Fecha de recepción: 08/04/2019 - Fecha de aceptación: 29/07/2019

Sección Suelos y Nutrición Vegetal. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes, Las Talitas, Tucumán, Argentina.

INTRODUCCIÓN

La agricultura en Argentina se desarrolló aprovechando la fertilidad natural de los suelos, con un bajo uso de fertilizantes. Los sistemas productivos actuales de alta producción incrementan la tasa de extracción de nutrientes y ocasionan una disminución importante en la disponibilidad de los mismos (Cruzate y Rivero, 2008). La mayoría de los suelos agrícolas de Tucumán han sido clasificados dentro del orden Molisoles (Zucardi y Fadda, 1985), con buena fertilidad química. Sin embargo, la agricultura constante en los mismos produce una permanente exportación de nutrientes. Cultivos como la caña de azúcar, para alcanzar un valor de producción cercano a las 100 t/ha, deben extraer entre 800 y 1500 kg de nutrientes /ha por año (Romero *et al.*, 2009). En experiencias locales, Romero *et al.* (2018) determinó extracciones anuales de fósforo en la variedad LCP 85-384 en condición de riego y secano de 15,1 kg/ha y 11,5 kg/ha respectivamente, estimando para un ciclo económico de un cañaveral (5 años) extracciones de 67,7 kg/ha con riego y 56,6 kg/ha en secano, valores que incrementan si se elimina total o parcialmente el residuo agrícola de cosecha.

Romero *et al.* (2009) señalaron que el fósforo ejerce un efecto decisivo en la brotación, en el desarrollo radical, en la elongación de los tallos, en el macollaje y en la cantidad de tallos molibles del cultivo de caña de azúcar. Pérez Zamora (1999) en ensayos locales estableció como criterio de interpretación la existencia de tres zonas bien definidas de abastecimiento del suelo: bajo contenido (<13 ppm de P), contenido medio (13 a 20 ppm de P) y alto contenido (>20 ppm de P), asociadas a una respuesta segura, respuesta probable y sin respuesta a la fertilización fosfatada, respectivamente.

Algunos suelos cañeros de Tucumán presentan contenidos de fósforo insuficientes (menos de 25 ppm en suelo, según Bray y Kurtz II) limitando la producción de caña (Romero *et al.*, 2009). Sanzano *et al.* (2017) también detectaron sitios en Tucumán que podrían requerir una especial atención para satisfacer los requerimientos de P para el cultivo de caña de azúcar.

La fertilidad de los suelos se evalúa a partir de análisis químicos, físicos o biológicos, lo que resulta tedioso y con poca o ninguna visualización espacial del comportamiento edáfico (Calderón *et al.*, 2012); es por ello que los mapas de fertilidad de suelos constituyen una manera práctica y global para detectar áreas o regiones con diferentes niveles de nutrientes (Bertsch, 1986). Esto permite a los técnicos y productores cañeros adoptar tecnologías de manejo diferenciales para cada situación en particular (Sanzano y Fadda, 2009). Es evidente la importancia del conocimiento, el registro y la ubicación espacial de las áreas que pudieran necesitar un manejo

especial, así como las que requieran diferentes niveles de nutrientes (Calderón *et al.*, 2012). Por otro lado, Tinghitella (2017) menciona que en Argentina, en cuanto a suelos, se está trabajando con información que proviene de la década del 80. A nivel local, la información general de la distribución de los suelos cañeros deficientes en fósforo es escasa y no permite visualizar las áreas deficientes en este elemento.

El objetivo de este trabajo fue elaborar un mapa que muestre la distribución espacial de los contenidos de P disponibles en los suelos del área cañera de la provincia de Tucumán, Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra localizada entre 26° 30' y 27° 52' Latitud Sur y entre 64° 38' y 65° 45' Longitud Oeste. La superficie neta cosechable total con caña de azúcar para el año 2018 en Tucumán fue estimada en 273.460 ha (Fandos *et al.*, 2018), donde la parte oeste se ubica en la región del pedemonte húmedo-perhúmedo, con precipitaciones medias anuales superiores a los 1200 mm; la parte centro-este corresponde a la llanura deprimida, subregión salina seca subhúmeda y los sectores noreste y sudoeste se hallan ubicados sobre la región de la llanura chacopampeana seca subhúmeda, ambas con precipitaciones anuales de 650 mm (Zucardi y Fadda, 1985).

Se extrajeron muestras de suelo compuestas con pala barreno entre los años 2013 al 2017, georreferenciadas (GPS Garmin Etrex 35) en 2900 sitios distribuidos en toda el área cañera, a 0-30 cm de profundidad. Se analizaron en el laboratorio de Suelos de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes (EEAOC), donde se determinó el contenido de fósforo disponible por la metodología de Bray y Kurtz II para cada sitio.

Los datos fueron cargados y procesados en el sistema de información geográfica libre QGIS versión 2.14.11-Essen, usando como cartografía de base la división política de la provincia de Tucumán. El mapa de la distribución espacial de P disponible para la capa superficial del suelo se realizó con el método de interpolación Kriging Ordinario (KO), que es uno de los métodos más comúnmente usados en el procesamiento espacial de datos (Villatoro *et al.*, 2008). Posteriormente se utilizó como capa máscara la superficie del área cañera del año 2017, para acotar los resultados al área de cultivo de caña de azúcar (Figura 1-a).

Se procedió a una reclasificación categórica de los contenidos de P disponible en suelo: contenido bajo (<13 ppm de P), medio (13-25 ppm de P) y alto (>25 ppm de P), de acuerdo a las recomendaciones para la fertilización con fósforo en caña de azúcar en Tucumán (Pérez Zamora, 1999) (Tabla 1).

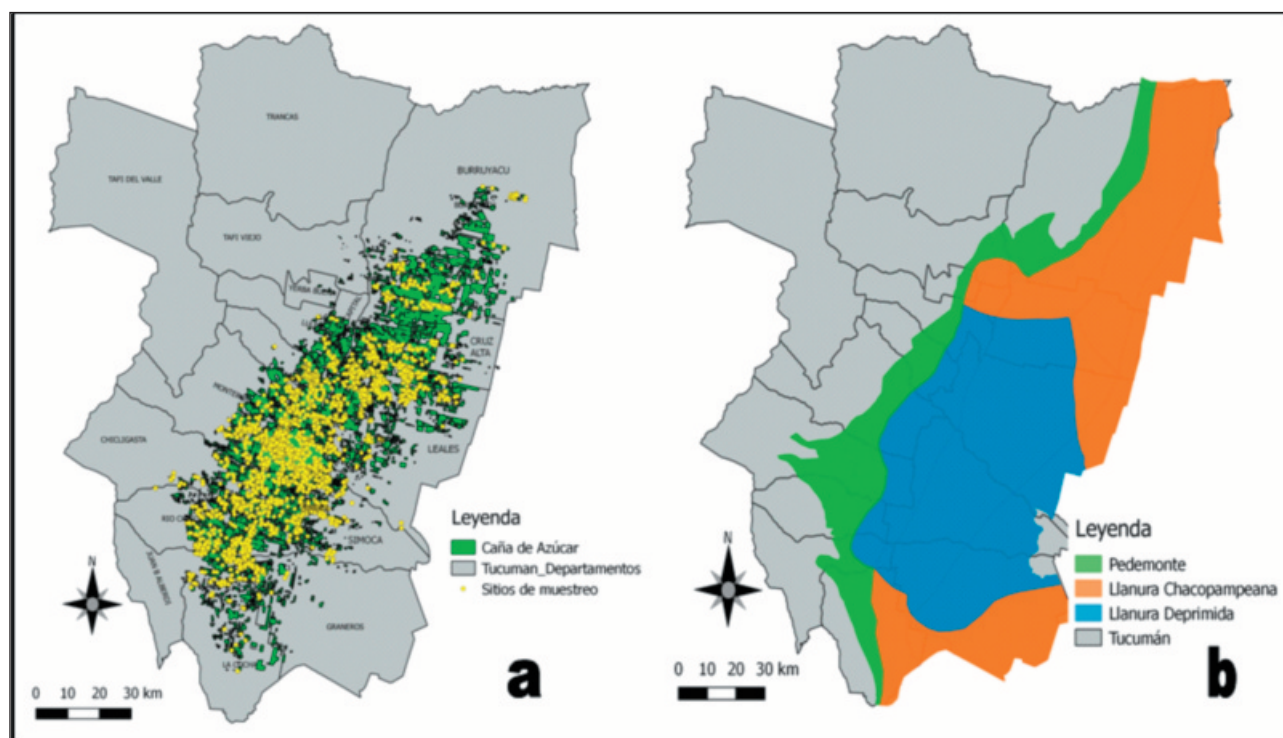


Figura 1. a) Área cañera de la provincia de Tucumán, Argentina, zafra 2017, sitios de toma de muestras y división política provincial. b) Regiones agroecológicas de Tucumán en la que se cultiva caña de azúcar.

Tabla 1. Recomendaciones para la fertilización con fósforo en caña de azúcar en Tucumán, Argentina.

Categoría	Contenido de P en el suelo (ppm de P)	Dosis de P ₂ O ₅ de acuerdo a la producción esperada
Baja	Suelo BrayKurtz II <13	30-35 kg/ha/año (>80 t caña/ha)
		20 Kg/ha/año (<80 t caña/ha)
Media	Suelo BrayKurtz II 13-25	20 kg/ha/año
Alta	Suelo BrayKurtz II >25	Sin respuesta

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este trabajo muestra una aproximación de la distribución espacial de los contenidos de fósforo disponible para el área cañera de Tucumán, Argentina (Figura 2). Se observó que los suelos cañeros con niveles de fósforo disponible menores a 13 ppm, donde se podría esperar respuesta a la fertilización fosfatada, están concentrados en el área noreste de la provincia de Tucumán, en los límites de los departamentos Burruyacú y Cruz Alta. Los contenidos considerados medios ocupan un área mayor, extendiéndose en los departamentos Burruyacú, Cruz Alta y norte de Leales. Los lotes cañeros que reportaron niveles de fósforo considerados altos se extienden desde la zona centro-norte hasta el sur del área ocupada con caña de azúcar. Además, se observó que los contenidos de fósforo estimados en la zona pedemontana predominan entre 25 – 50 ppm de P

disponible. Los contenidos más altos de este elemento se reportaron en la zona centro y sureste del área cañera, incluyendo el sur del departamento Leales, Simoca, este de Chicligasta y Río Chico, y los departamentos Juan Bautista Alberdi y La Cocha.

Se estimó que un 4% del área cañera tucumana, lo que correspondería a aproximadamente 10.000 ha, mostraron contenidos bajos de fósforo, indicando la necesidad de una fertilización fosfatada para aumentar los rendimientos culturales del cultivo. Los lotes que poseen contenidos medios ascienden aproximadamente a un 16%, lo que representa unas 44.000 ha del área cañera que deberían recibir el aporte de P en menores cantidades. Asimismo, de estos resultados se desprende que el 80% del área provincial dedicada a caña de azúcar presentaría valores de suficiencia de este elemento.

El área señalada como deficiente en fósforo se corresponde con algunos datos reportados por Zuccardi y

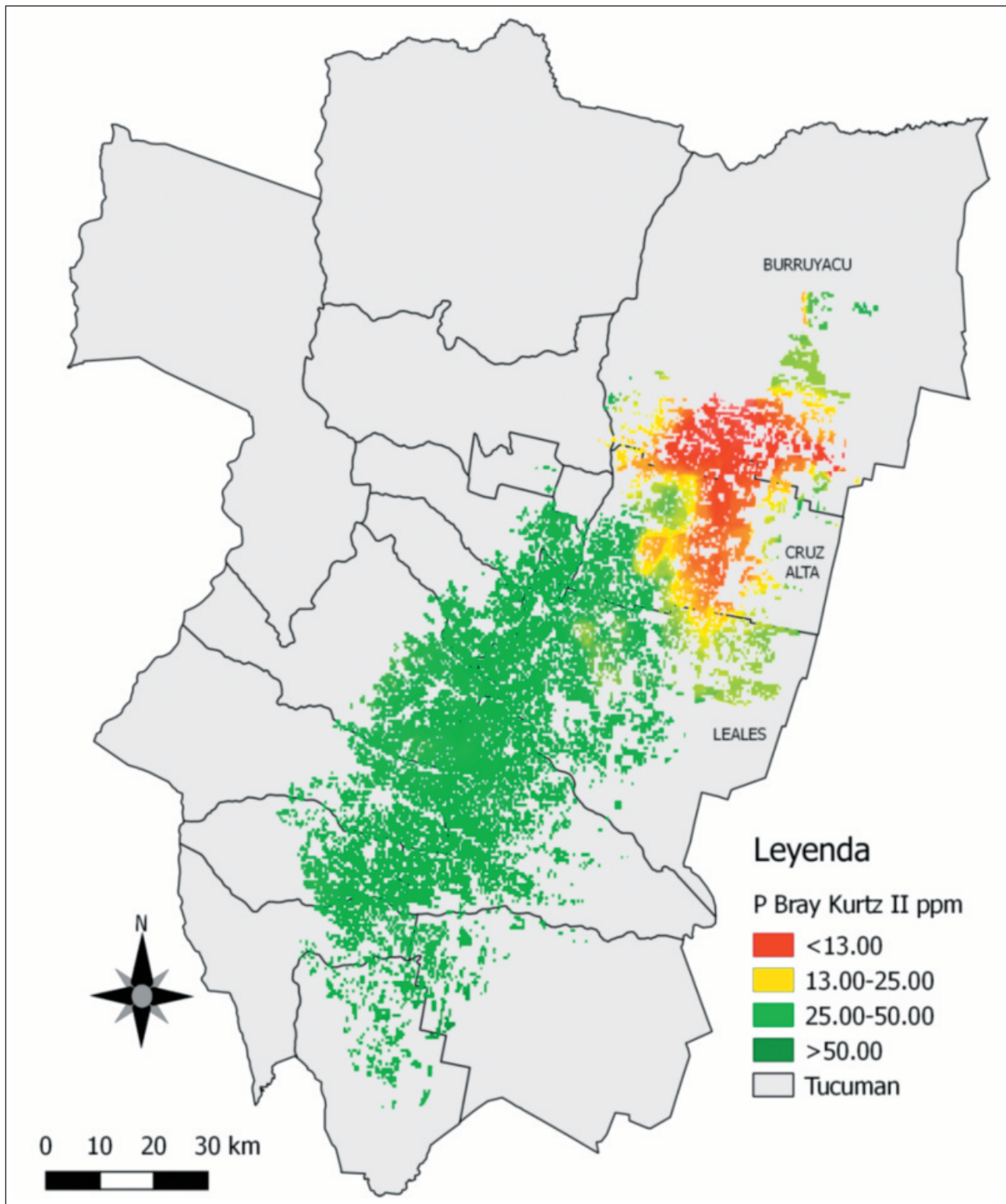


Figura 2. Mapa de contenidos de fósforo (ppm Bray-Kurtz II) del área cañera de Tucumán, Argentina.

Fadda (1985) para suelos de la Llanura chacopampeana subregión seca subhúmeda. Por otra parte, Sainz Rozas *et al.* (2011), en un trabajo regional sobre las áreas productoras de granos de la Argentina, detectaron con Bray y Kurtz I niveles bajos a moderados para el este de Tucumán. Pérez Zamora *et al.* (1999) reportó respuesta a la fertilización en lotes cañeros ubicados en el departamento Cruz Alta. Sanzano *et al.* (2017), analizando numerosos lotes cañeros, detecta un 2% de casos con tenores de fósforo menores de 13 ppm y un 6% de casos entre 13 y 25 ppm, áreas susceptibles de recibir aportes de este elemento por medio de fertilizantes y/o abonos. En ese sentido Aso y Bustos (1981) señalaron que en abonos orgánicos como la cachaza, el fósforo se encuentra en una mayor proporción, seguido del nitrógeno y finalmente del potasio. Asimismo, Fogliata (1995) menciona que el agregado de cachaza en general aumenta la disponibilidad de fósforo en el suelo. Por lo tanto, estos suelos deficientes podrían recibir el aporte de fósforo a partir del uso de residuos de la industria azucarera como la cachaza.

El análisis de los contenidos de P en los lotes ubicados en la región chacopampeana, mostró que el 26% de los casos tenían tenores de P considerados bajos, el 34% contenidos medios y un 40% de los casos estudiados mostraban niveles mayores a 25 ppm de P en suelo (Tabla 2).

La región cañera ubicada en el pedemonte tucumano no evidenció valores de fósforo en suelo que limiten el logro de altos rendimientos en caña de azúcar. En este sentido, Zuccardi y Fadda (1985) tampoco señalan en estos suelos al P como un nutriente limitante en la producción agrícola. De las muestras analizadas, el 98% de los sitios reportó valores por encima del crítico para caña de azúcar. Valores similares fueron encontrados para la región central ubicada dentro de la Llanura Deprimida, en la cual solamente el 5% de los sitios están por debajo del crítico de P para caña; sin embargo, debido al bajo número de casos y la dispersión de los sitios, no muestran entidad suficiente para ser

visibilizados en el mapa.

Los mapas de fertilidad proporcionan información valiosa sobre el estado nutricional de los suelos, que moviliza a buscar un balance adecuado en el suministro de nutrientes y en el manejo de otras alternativas orientadas al reciclaje de los mismos (Calderón *et al.*, 2012). Si bien este análisis incluye numerosos lotes cañeros que sirvieron de base para la obtención del mapa de fertilidad fosfórica orientada a caña de azúcar, estos resultados deben ser considerados como orientativos y no eximen al productor de realizar el análisis de suelos de sus lotes para valorar la aptitud productiva y los tenores de fertilidad, ajustándolos a cada situación particular. Además, se debe dar continuidad a los trabajos de investigación de este tipo, ya que permitirán incrementar la cantidad de sitios analizados y mejorar la distribución espacial de los mismos en el área cañera para lograr mayor robustez, alcance y exactitud en las predicciones de los niveles de fertilidad fosfórica y/o de otros nutrientes.

CONCLUSIONES

El mapa de fertilidad de fósforo obtenido en este trabajo es un primer aporte al conocimiento de la distribución espacial de los contenidos de fósforo en el área cañera de Tucumán, Argentina, lo que permitirá discriminar e identificar áreas según la cantidad de fósforo disponible en el suelo, ubicarlas geográficamente y valorar la importancia de esta limitante para la producción de caña de azúcar en nuestra provincia.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo financiero para el análisis de los datos en laboratorio realizados en el marco del Programa para Incrementar la Competitividad del Sector Azucarero (PROICSA) y a los productores cañeros que realizaron sus análisis en el laboratorio de suelos de la EEAOC.

Tabla 2. Porcentaje de casos según contenido de P por región agroecológica.

P disponible BrayKurtz II	LL.Chacopampeana	Pedemonte	LL.Deprimida
	% de casos	% de casos	% de casos
<13 ppm P	26%	0%	1%
13-25 ppm P	34%	2%	4%
>25 ppm P	40%	98%	95%
Total	100%	100%	100%

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Aso, P. J. y V.N. Bustos. 1981.** Características y empleo de la cachaza como fertilizante. *Avance Agroind.* 2 (5): 10-12.
- Bertsch, F. 1987.** Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. Oficina de publicaciones de la Universidad de Costa Rica, pp 7-15. ISBN 9977-917-55-8
- Cruzate, G. & E. Rivero. 2008.** Potasio, Calcio y Magnesio: Mapas de disponibilidad en distintos suelos de la República Argentina. Resúmenes del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. ISBN 978-987-9269-61-6.
- Calderón Puig, A.; D. Lara Franquiz & A. Cabrera Rodríguez. 2012.** Confección de mapas temáticos para evaluar fertilidad del suelo en las áreas agrícolas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. *Cultivos Tropicales.* Vol. 33 (1): 11-18.
- Fandos C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris; F. Soria & J. Carreras Baldrés. 2018.** Área cosechable y producción de caña de azúcar y azúcar para la zafra 2017 en Tucumán. *Reporte Agroind.* EEAOC 138.
- Fogliata, F. A. 1995.** Fertilización. En: *Agronomía de la Caña de Azúcar*, Vol. 3. El Graduado. Tucumán.
- Pérez Zamora, F. 1999.** Los suelos y el uso de los fertilizantes en la Caña de Azúcar para la provincia de Tucumán. Tesis Doctoral. INICA. La Habana, Cuba.
- Pérez Zamora, F. 2005.** Caña de Azúcar. En: Echeverría, H. y F. García (eds.), *Fertilidad de los suelos y fertilización de cultivos.* Ediciones INTA. Balcarce. Argentina, pp. 379-397.
- Romero, J. I.; A. Sanzano; E. R. Romero; F. Madrid; Y. Navarro Di Marco; R. Miranda; H. Rojas Quinteros; G. Juárez y R. Dellmans. 2018.** Extracción y balance de macronutrientes en caña de azúcar con riego por goteo y en secano. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamerica.* I. A. 30: 8-13.
- Romero, E. R.; L. Alonso; S. Casen; F. Leggio Neme; J. Tonatto; J. Scandaliaris; P. Digonzelli; J. Giardino & J. Fernández de Ulivarri. 2009.** Fertilización de la caña de azúcar. Criterios y recomendaciones. En: Romero, E. R.; P. Digonzelli y J. Scandaliaris (eds.), *Manual del Cañero.* EEAOC. Tucumán. Argentina, pp. 87-100.
- Sanzano, G. A; E. Arroyo; N. Aranda; H. Rojas Quinteros; F. Madrid & J. Di Marco. 2017.** Muestreo intensivo para determinar la fertilidad del área cañera de la provincia de Tucumán-Argentina. XIV Congreso Internacional sobre el azúcar y derivados. Cuba.
- Sanzano, G. A. & G. Fadda. 2009.** Características de los suelos para caña de azúcar. Recomendaciones de manejo. En: Romero, E. R.; P. Digonzelli y J. Scandaliaris (eds.), *Manual del Cañero.* EEAOC. Tucumán. Argentina, pp. 23-34.
- Sainz Rozas, H.; H. E. Echeverría & H. P. Angelini. 2011.** Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeanas. *Informaciones Agronómicas* 2: 1-7.
- Tinghitella, G. 2017.** La agricultura digital. Territorio de la oferta y demanda. *Avance Agroind.* 38 (2): 4-9.
- Villatoro, M.; C. Henríquez; F. Sancho. 2008.** Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo. *Agronomía Costarricense* 32(1): 95-105.
- Zuccardi, R. B. & G. Fadda. 1985.** Bosquejo agroecológico de la provincia de Tucumán. Misc. 86. Facultad de Agronomía y Zootecnia. UNT. Tucumán. Argentina.