

Análisis de los factores determinantes del índice de productividad de los suelos cultivados con caña de azúcar en la provincia de Tucumán

G. Agustín Sanzano*, Nelson D. Aranda*, Esteban A. Arroyo*, Miguel Morandini*, Juan I. Romero*, Carolina Sotomayor*, Francisco Sosa* y Hugo Rojas Quinteros*

RESUMEN

Las diferentes regiones agroecológicas en las que se cultiva caña de azúcar en la provincia de Tucumán presentan una fuerte variabilidad climática y edáfica que influye sobre los rendimientos del cultivo. El conocimiento de los índices de productividad (IP) de los suelos y de los factores que los condicionan puede constituir herramientas útiles al momento de recomendar prácticas de manejo específicas para cada situación en particular. Se estimaron los IP de 2550 sitios georeferenciados en cuatro regiones o subregiones cañeras de Tucumán (Argentina) y se analizó la incidencia de cada factor condicionante de la productividad. Para ello se tomaron muestras de suelos hasta la profundidad de 0,9 m, se realizaron determinaciones analíticas físicas y químicas de cada una y se estableció la asociación de las variables edáficas entre sí y su influencia sobre cada IP usando el método de análisis de componentes principales (Biplot). Los resultados mostraron que un 63% y un 78% de los suelos de las regiones de Pedemonte y Llanura Chacopampeana, respectivamente, fueron IP altos (mayores a 69), mientras que en la subregión occidental de la Llanura Deprimida un 53% fueron IP de rango medio (55-69) y en la subregión oriental un 58% fueron IP de rango bajo y muy bajo (40-54 y menores a 39, respectivamente). Los valores altos de IP en la región del Pedemonte fueron influenciados por el contenido de materia orgánica del suelo, y menos significativamente por el contenido de limo y arcilla. En la región de la Llanura Chacopampeana el alto contenido de limo del suelo fue determinante para los altos valores de IP obtenidos. En la subregión occidental de la Llanura Deprimida, los bajos IP obtenidos se explicaron principalmente por el pH del suelo y/o por el contenido de carbonato de calcio del mismo, mientras que en la subregión oriental a estos dos factores se agregó la conductividad eléctrica asociada negativamente a la productividad.

Palabras clave: regiones agroecológicas; factores edáficos; producción caña de azúcar.

ABSTRACT

Analysis of factors determining productivity index soil cultivated with sugar cane in Tucumán- Argentina

In the province of Tucumán, sugarcane is cultivated at different agroecological regions which present strong climatic and edaphic variability that influence crop yields. Knowledge of soil productivity indices (IP) and the factors that determine them may be useful tools for recommending specific management practices for each particular situation. IP of 2550 georeferenced sites were estimated in four sugarcane regions or subregions of Tucumán (Argentina) and the incidence of each factor conditioning productivity was analyzed. Soil samples were taken to 0.9 m depth, physical and chemical analytical determinations were made and the association between edaphic variables and their influence on IP were established using principal component analysis method (Biplot). Results showed that 63% and 78% of soils from Pedemonte and Chacopampeana Plain regions, respectively, had high IP (greater than 69). At the western Depressed Plain sub-region, 53% of IP were middle range (55-69) and at the eastern subregion 58% were low and very low IP (40-54 and below 39, respectively). High IP values in Pedemonte region were influenced by soil organic matter content, and less significantly by silt and clay content. At the Chacopampeana Plain region the high IP values obtained were determined by high soil silt content. At the western Depressed Plain subregion, the low IP values obtained were mainly explained by soil pH and/or by the calcium carbonate soil content, while in the eastern sub-region, soil electrical conductivity added to these two factors, negatively associated with productivity.

Key words: agroecological regions; edaphic factors; sugar cane production.

Artículo recibido: 18/08/17 y Aceptado: 12/10/17.

*Sección Suelos y Nutrición Vegetal. EEAOC. asanzano@eeaoc.org.ar

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El cultivo de la caña de azúcar se extiende por distintas regiones agroecológicas de la provincia de Tucumán, con aproximadamente el 90% de la superficie cultivada ocupando las regiones de Pedemonte, Llanura Deprimida y Llanura Chacopampeana (Zuccardi y Fadda, 1985). En cada de ellas las características climáticas, fisiográficas y edáficas son distintas, lo que genera diferentes condiciones y aptitudes para el cultivo. En términos generales, la región del Pedemonte presenta un balance hídrico positivo, algunas áreas de fuertes pendientes y varios suelos con baja capacidad de retención de agua. En la región de la Llanura Chacopampeana, el balance hídrico disminuye de oeste a este, mientras que la mayoría de los suelos tienen una alta capacidad de almacenaje de agua. Finalmente, la región de la Llanura Deprimida tiene como característica general, la heterogeneidad textural y la presencia de una capa freática, diferenciándose dos subregiones, una occidental en la que la capa freática y el perfil de suelo están libres de sales solubles y las mayores limitaciones al cultivo son la asfisia radicular en los años con excesos hídricos y la dificultad para el manejo normal de las operaciones de cosecha y transporte (Sanzano y Fadda, 2009), mientras que la subregión oriental se diferencia de la primera, por la naturaleza salina de la freática con contenidos en sales cloruradas sulfatadas sódicas superiores a los 350 mg/l y con una elevada relación de adsorción de sodio (RAS), que condiciona el desarrollo del cultivo tanto por el efecto salino como por los elevados pH y la disminución de la permeabilidad ocasionada por la presencia del sodio intercambiable (Han *et al.* 1965). Por lo anteriormente expresado, queda claro que la productividad del cañaveral será el resultado de la combinación de un número importante de variables que deberán ser tenidas en cuenta para diferenciar estrategias de manejo adecuadas que permitirán disminuir la brecha entre los rendimientos culturales actuales y los óptimos del cultivo (Van den Berg and Singels 2013).

La evaluación de tierras es el proceso de determinación y predicción del comportamiento de la tierra usada para fines específicos, considerando aspectos físicos, económicos y sociales. Debe ser utilizada como una de las herramientas necesarias para la planificación racional de los recursos naturales y humanos, con el propósito de que la planificación de cada área provea el máximo beneficio para la sociedad, sin una degradación de los recursos (FAO, 1976).

Existen métodos paramétricos, semi-cuantitativos, en los cuales la relación entre la productividad y las características de la tierra son expresados como factores ponderados en una función matemática simple. En Estados Unidos, con el objetivo original de clasificar impositivamente

la tierra, se ha desarrollado un índice multiplicativo para expresar la influencia de los factores de suelos en conjunto sobre la productividad de cultivos, en el cual se asigna a cada factor de suelo un porcentaje de un valor ideal para luego multiplicarlos. Usa propiedades intrínsecas del suelo, tales como espesor, textura, drenaje, material parental, acidez, etc., y características del paisaje como pendiente, microrrelieve y grado de erosión (Storie, 1978). Otro método paramétrico multiplicativo es el índice de Riquier *et al.* (1970) que consiste en evaluar la productividad del suelo expresada en kg/ha y año, que se supone depende de las características del suelo bajo un determinado manejo. Este método analiza usos generales: herbáceos, pastos, leñosos y forestal, utilizando principalmente propiedades intrínsecas del suelo: régimen hídrico del suelo, drenaje, espesor, materia orgánica, textura, etc, pero no considera la erosión ni la pendiente. En Argentina, Nakama y Sobral (1987) han introducido una serie de modificaciones para adaptar el índice a las distintas y variadas condiciones ecológicas regionales y a la información básica disponible. Se ha utilizado una regionalización climática del país, donde en cada una de las regiones tiene vigencia la misma metodología, pero pueden variar los parámetros considerados y las valoraciones asignadas. La determinación del índice de productividad, tiene como objetivo establecer comparaciones entre las capacidades de producción de los distintos tipos de tierras presentes en un área, cuya escala de valores va de 1 a 100. Se expresa la relación entre la capacidad para producir cierta cantidad de cosecha por hectárea y año, con respecto de la productividad óptima, que proporcionaría un suelo ideal en su primer año de cultivo. En Tucumán se han determinado índices para las unidades cartográficas de asociaciones de series de suelos en algunos departamentos provinciales (Moscatelli *et al.* 2005), a una escala de trabajo que no permite identificar las tierras a nivel predial.

Los objetivos del presente trabajo fueron estimar los Índices de Productividad de los suelos cultivados con caña de azúcar en las distintas regiones agroecológicas de la provincia de Tucumán y ponderar la incidencia individual de los factores condicionantes de la productividad de los mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre los años 2013-2016, se realizó un relevamiento intensivo de suelos del área cañera de la provincia de Tucumán, noroeste de Argentina. Se extrajeron muestras a tres profundidades (0-30 cm; 30-60 cm y 60-90 cm) de 2550 sitios georeferenciados y distribuidos en las siguientes tres regiones agroecológicas en las que se cultiva caña de azúcar: Pedemonte; Llanura Chacopampeana (subregión subhúmeda- húmeda) y Llanura Deprimida (subregiones occidental y oriental). Se

hicieron determinaciones analíticas de pH actual (agua 1:2,5); salinidad (conductividad eléctrica en el extracto de saturación); calcáreo (gasometría); materia orgánica oxidable (Walkley-Black); fósforo disponible (Bray y Kurtz II); nitrógeno total (Kjeldahl); calcio, magnesio, sodio y potasio intercambiables (acetato de amonio a pH 7); capacidad de intercambio de cationes (acetato de sodio a pH 8,2); % de arcilla, limo y arena (hidrómetro de Bouyoucos). Además, en campo se registraron rasgos morfológicos en el perfil, tales como presencia de gravas, así como características fisiográficas como la pendiente del terreno. Para la determinación del IP, aunque se ha utilizado la metodología propuesta por Nakama y Sobral (1987), la ponderación de cada variable en la fórmula se hizo considerando especialmente las características del cultivo de la caña de azúcar, tales como contenido de materia orgánica del suelo como criterio para la nutrición y capacidad de retención hídrica en relación a las necesidades de agua del cultivo teniendo en cuenta que se trata mayoritariamente de producción en condiciones de secano.

Cada IP fue calculado mediante la siguiente fórmula:

$$IP: C \times D \times T1 \times T2 \times Pe \times Mo \times Sa \times Na \times CIC \times P$$

Donde:

IP: índice de productividad; **C:** características climáticas; **D:** drenaje; **T1:** textura del horizonte superficial; **T2:** text. del subsuelo; **Pe:** prof. efectiva del suelo; **Mo:** contenido de materia orgánica; **Sa:** salinidad; **Na:** alcalinidad; **CIC:** capacidad de intercambio de cationes; **P:** pendiente del terreno.

El método consiste en asignar a cada uno de los parámetros de la fórmula (resultados del relevamiento y análisis de los suelos) un valor porcentual, donde 100 implica que la variable es óptima y valores menores que 100 presentan algún grado de limitación. El IP obtenido puede interpretarse como la diferencia entre la capacidad productiva del suelo en su condición actual en relación al valor 100 que se correspondería con el rendimiento potencial máximo del cultivo en la región.

Los IP obtenidos se han agrupado en cuatro grupos: IP < 39 (muy bajo); IP = 40 - 54 (bajo); IP = 55 - 69 (medio) e IP > 70 (alto).

Para analizar la asociación de las variables con cada rango de IP se realizó el análisis Biplot de los componentes principales. Este análisis se caracteriza por la construcción de un gráfico con un par de ejes ortogonales que corresponden a los componentes principales 1 y 2 (CP1 y CP2), y dentro del mismo se grafican tanto los IP como cada una de las variables utilizando como coordenadas los valores propios de CP1 y

CP2. Una vez graficado las IP y las variables se realiza el análisis de los ángulos formados por las rectas que unen el centro de coordenadas CP1= 0 y CP2=0 con cada IP y variable, así ángulos agudos indican asociaciones significativas entre las variables analizadas (el coseno del ángulo aproxima a la correlación entre las variables) y la proximidad de una variable con un rango de IP determinado resalta la mayor influencia de aquella en el índice de productividad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se observa la distribución porcentual de los rangos de IP para los 2550 sitios estudiados en las distintas regiones agroecológicas en las que se cultiva caña de azúcar. En las regiones del Pedemonte y la Llanura Chacopampeana subhúmeda - húmeda los IP altos son significativamente mayoritarios, es decir son suelos sin limitaciones o tienen un carácter tan leve que no afectan de modo significativo la producción del cultivo. En la región pedemontana, sobre un total de 300 perfiles analizados, un 63% de los sitios estuvieron en el rango de IP alto, mientras que un 23% correspondió al rango medio y un 13% al rango bajo. Sin embargo, del análisis de las estimaciones de rendimiento realizadas anualmente por imágenes satelitales (Fandos *et al.*, 2010,2011, 2012 y 2013), se desprende que las producciones de caña de azúcar que se obtienen están por debajo del potencial productivo de la región, lo que se explicaría por manejos culturales inadecuados del cañaveral. Una de las limitaciones de la región radica en el riesgo de erosión hídrica debido a que existen pendientes moderadas y fuerte concentración de lluvias en el período estival. En los suelos en los que se mantuvo la cobertura de maloja sobre la superficie del suelo después de la cosecha se determinó una pérdida de suelo por erosión un 78% menor y una infiltración dos veces superior en comparación con la del suelo sin cobertura (Sanzano *et al.* 2009).

En la subregión subhúmeda-húmeda de la Llanura Chacopampeana, sobre un total de 150 sitios relevados, se

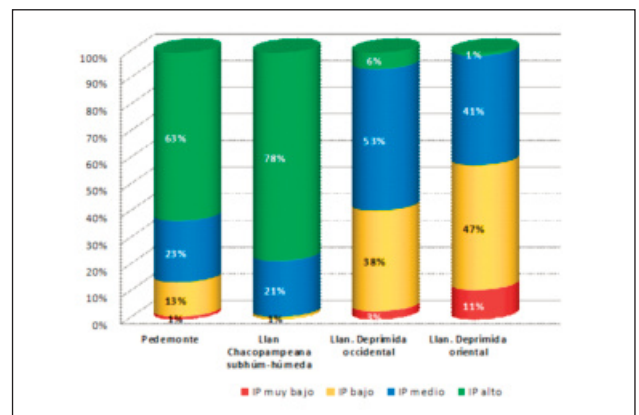


Figura 1. Distribución porcentual de Índices de Productividad de 2550 suelos en las distintas regiones cañeras de la provincia de Tucumán- Argentina

determinó un 78% de los suelos en el rango de IP alto, mientras que un 21% se ubicó en el rango medio. Las limitaciones son más de tipo climático que edáficas, acentuándose el déficit hídrico hacia el este de la subregión, por lo que el mantenimiento del residuo agrícola de cosecha incrementa la conservación de la humedad del suelo con respecto a un suelo sin cobertura, especialmente de la capa superior del mismo y en los años de más estrés hídrico primaveral (Digonzelli *et al.* 2011).

En la subregión occidental de la Llanura Deprimida, el total de sitios relevados fue 1200, encontrándose un 53% de los suelos dentro de un rango de IP medio, con limitaciones que pueden provocar disminuciones ligeras o moderadas del rendimiento del cultivo; mientras que en un 38% de los sitios los IP fueron bajos, es decir con limitaciones de moderadas a severas. La obtención de altos rendimientos en los suelos de IP medios requiere, además de la aplicación de buenas prácticas agrícolas, de acciones que tiendan a la evacuación del agua superficial con orientación adecuada de surcos y callejones, mientras que para suelos de IP bajos se sugiere la construcción de canales de desagüe y/o drenaje para el logro del mismo propósito (Sanzano y Fadda, 2009).

En la subregión oriental de la Llanura Deprimida, con 900 sitios relevados, un 11%, 47% y 41% de los suelos se ubican en los rangos de IP muy bajo, bajo y medio, respectivamente. En esta área, la conjunción de limitantes climáticas y edáficas moderadas a severas, hacen que para la obtención de altos rendimientos de la caña de azúcar, deban efectuarse inversiones muy costosas, cuya relación costo/beneficio puede no ser adecuada y por lo tanto practicable en la situación económica actual.

En la figura 2, se muestra el grado de asociación entre los factores que componen el IP, así como la influencia diferencial de esas propiedades sobre cada uno de los rangos de productividad para la región del Pedemonte cañero. La presencia de suelos con más de 50% de arena total (promedio hasta 90 cm de profundidad) fue detectada en un 32 % de los sitios relevados. En función del análisis biplot, se observó que este parámetro tuvo una fuerte influencia en los IP bajos, debido a la baja capacidad de retención de agua que genera condiciones de estrés hídrico al cultivo (Singels *et al.* 2000).

En la provincia de Tucumán, Fogliata (1995) estimó una correlación positiva entre capacidad de agua útil y rendimiento cultural de la caña de azúcar en un suelo arenoso de la localidad León Rougés. Por otra parte, el rango de IP alto fue explicado por el contenido de materia orgánica en primer término, mientras que también influenciaron, aunque en menor medida, el contenido de limo y arcilla del suelo. El contenido de materia orgánica es la fuente principal de nitrógeno nativo y abastece el 50% de las necesidades de la caña de azúcar (Van Antwerpen *et al.* 2003).

Los suelos con IP medios no fueron influenciados por ninguna variable en particular, mientras que los IP muy bajos se estimaron para menos del 1% de los sitios (3 casos), por lo que no se hacen consideraciones estadísticas sobre este rango en esta región.

En la figura 3, se muestra el análisis de componentes principales para la región de la Llanura Chacopampeana subhúmeda-húmeda. Se observa que el contenido de limo del suelo tuvo una marcada influencia sobre los IP altos y el % de arena y materia orgánica lo hacen con el IP medio pero

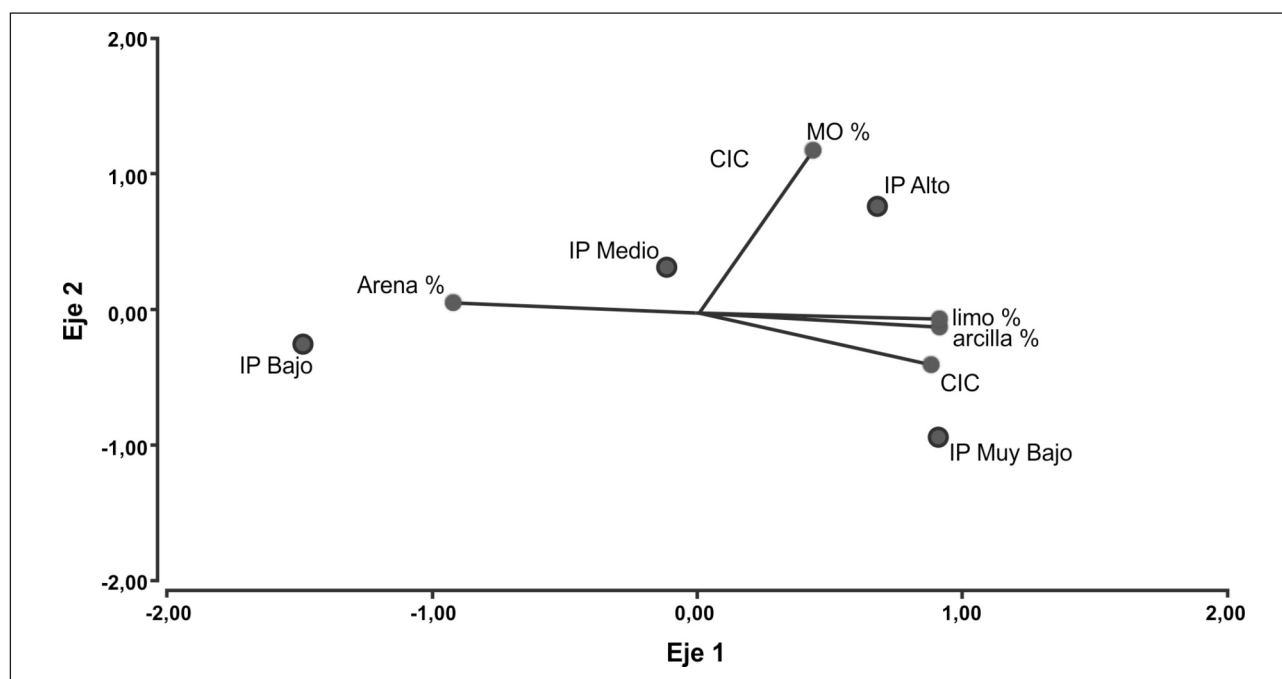


Figura 2. Asociación entre variables edáficas e influencia sobre los IP en la región del Pedemonte de Tucumán- Argentina.

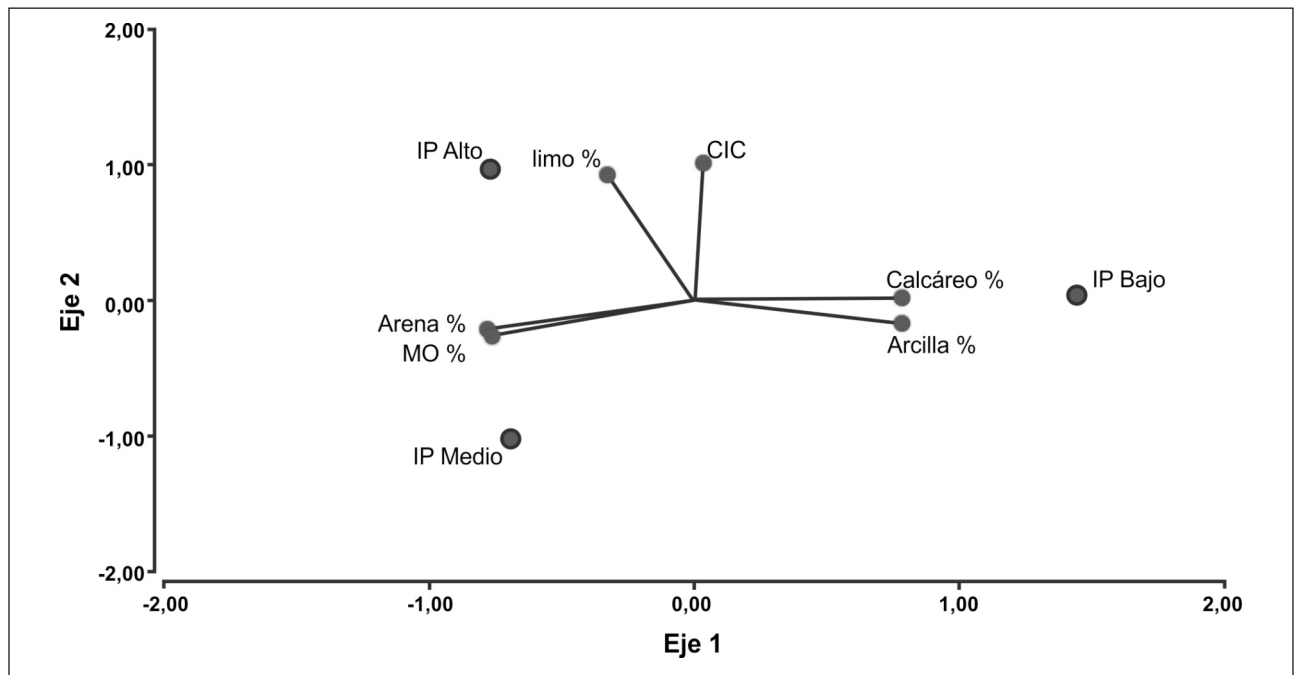


Figura 3. Asociación entre variables edáficas e influencia sobre los IP en la subregión subhúmeda-húmeda de la Llanura Chacopampeana de Tucumán- Argentina.

en menor medida. La llanura Chacopampeana, está caracterizada por materiales originales de origen eólico, bien drenados y de gran homogeneidad textural, con predominio de suelos francos y franco limosos (Zuccardi y Fadda, 1985). Un 91% de los sitios relevados tuvieron un contenido de limo superior a 45% en promedio hasta los 90 cm superiores del perfil de suelo, mientras que a un 75% de los mismos se les calculó una capacidad de almacenaje de agua útil mayor a 150 cm/100 cm (Sanzano *et al.* 2016). En Sudáfrica, Van Antwerpen *et al.* (1994) determinaron una correlación positiva entre el contenido de arcilla y la capacidad de retención de agua en la suelos cultivados con caña de azúcar en la provincia de Natal. Romero *et al.* (2009) estimaron para Tucumán, una necesidad evapotranspiratoria máxima de aproximadamente 1250 -1400 mm para un ciclo de 10- 12 meses de cultivo, por lo cual cobra importancia la cosecha en verde y la conservación del residuo agrícola sobre el suelo ya que permite un uso eficiente del agua por parte de la caña de azúcar Olivier and Singels (2007).

En la figura 4, se muestra el análisis Biplot para la subregión occidental o no salina de la Llanura Deprimida. En esta subregión, caracterizada por la presencia de una capa freática de naturaleza fluctuante (Figuroa *et al.*, 1996), se observa que los IP muy bajos están fuertemente influenciados por los altos valores de pH y de carbonato de calcio, variables a su vez fuertemente asociadas entre sí. Arroyo *et al.* (2016) determinaron para esta subregión presencia de calcáreo en todos los suelos con pH superior a 7,1, los que en este trabajo representaron el 67% de los sitios relevados.

La concentración y profundidad del carbonato de calcio en esta área es dependiente del nivel freático que impide el lavado del mismo. La clorosis férrica inducida por la presencia de calcáreo en suelos cultivados con caña de azúcar ha sido señalada por Fogliata y Bustos (1980) en Tucumán, con daños severos si los valores de calcáreo están entre 1,5 y 2% y reducciones de altura de los tallos molibles de hasta un 50%. Las texturas medias y finas de los suelos influenciaron también en el rango de IP bajo, aunque en menor medida. La dificultad que tienen estos suelos para mejorar su condición de drenaje por disminución del nivel freático debido a su baja permeabilidad ha sido señalada por Mitchell *et al.* (2001). La correlación positiva entre profundidad del nivel freático y rendimiento cultural de la caña también ha sido reportada por Cruz (1995) en Colombia y por Camp and Carter (1983) en Luisiana, mientras que la influencia negativa del exceso hídrico sobre la brotación y el desarrollo radicular fue estudiada por Morris and Tai (2004) en Florida.

También se observa en la figura 4, que mayores contenidos de arena determinan IP altos en oposición a lo encontrado en la región del Pedemonte. Es evidente que la mayor permeabilidad de los suelos de textura gruesa, permite un más rápido descenso de la capa freática, lo que se traduce en la obtención de buenos rendimientos de la caña de azúcar si las precipitaciones son normales (Sanzano *et al.* 2006).

En la Figura 5, se muestra el análisis Biplot para la subregión oriental o salina de la Llanura Deprimida. En esta subregión, también caracterizada por la presencia de una

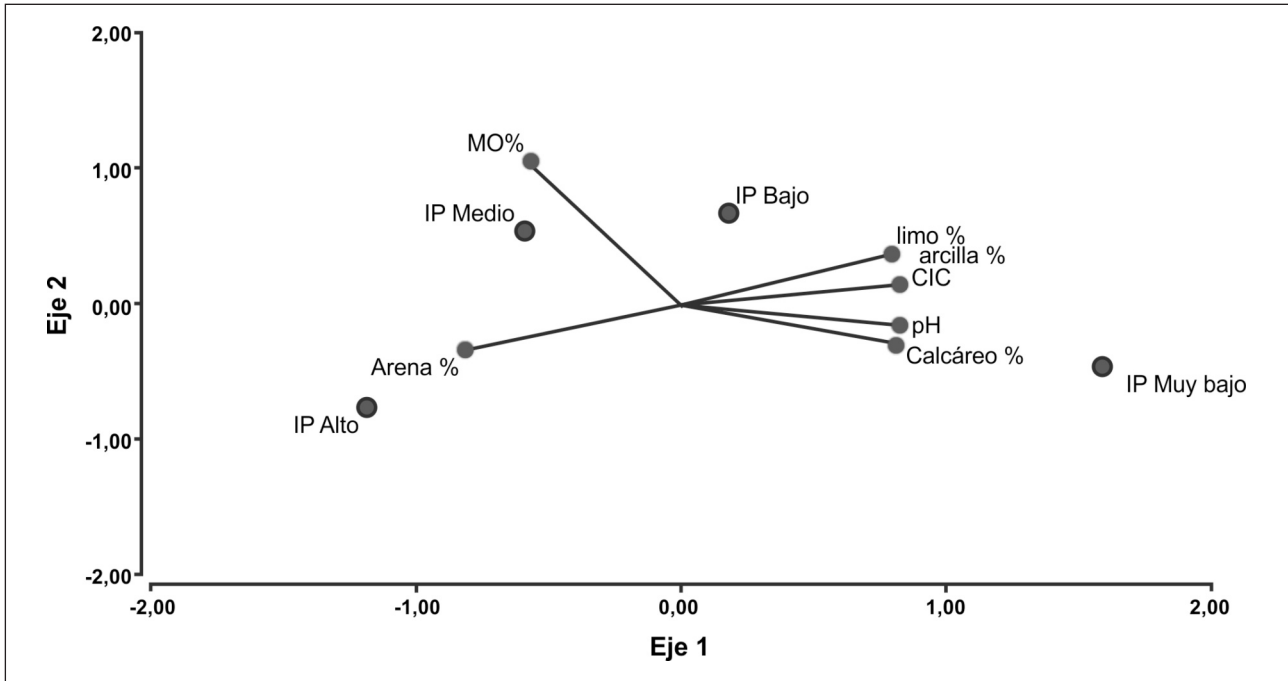


Figura 4. Asociación entre variables edáficas e influencia sobre los IP en la subregión occidental de la Llanura Deprimida de Tucumán- Argentina

capa freática de naturaleza fluctuante, pueden encontrarse suelos en sus fases salinas, que contienen entre 0,2 y 2 % de sales solubles, mientras que el sodio de cambio puede ocupar desde el 10 al 70 % del complejo de intercambio, con una reacción química desde moderada a fuertemente alcalina (Zuccardi y Fadda, 1985).

Se observa una fuerte asociación entre las variables pH, calcáreo y conductividad eléctrica entre sí, con una significativa influencia sobre los IP muy bajos. En esta subregión, se detectó un 18% de suelos desde moderados a fuertemente alcalinos en los primeros 60 cm de profundidad, con valores de sodio intercambiable que superaron el 10 %

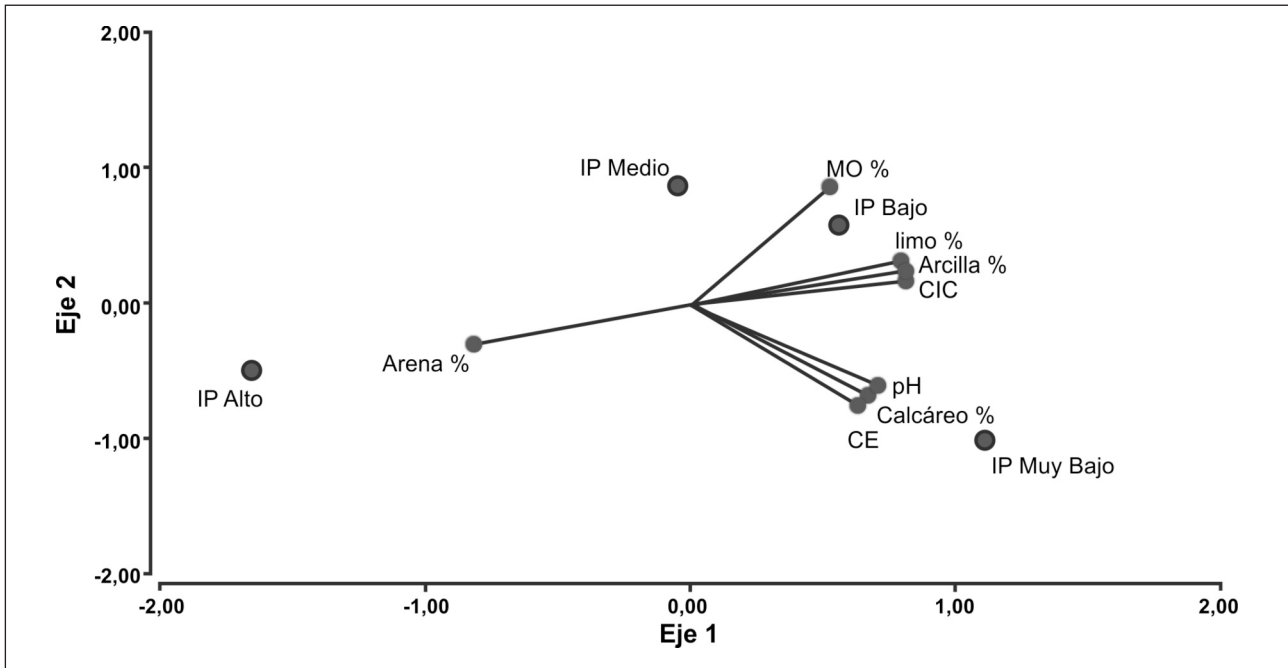


Figura 5. Asociación entre variables edáficas e influencia sobre los IP en la subregión oriental de la Llanura Deprimida de Tucumán- Argentina

de la CIC en todos los casos. Esto afecta significativamente la absorción de nutrientes por parte de la planta, lo que se traduce en una severa disminución del rendimiento de la caña de azúcar. Una significativa correlación negativa entre el porcentaje de sodio intercambiable del suelo y el rendimiento de la caña de azúcar en Sudáfrica, fue señalada por Rietz (2001), con fuerte disminución de la altura de tallos y del número de entrenudos por tallo. Aunque el método Biplot señala la influencia de la CE del suelo en el IP muy bajo, se aclara que los suelos con estas características solo ocuparon un 5% del total de sitios relevados en la subregión. El contenido de limo, arcilla y la capacidad de intercambio de cationes también mostraron una fuerte asociación entre sí pero con una mayor influencia en los IP bajos, que representaron casi la mitad de los sitios relevados. Los contenidos más altos de materia orgánica también explicaron los IP bajos, aunque esto probablemente se deba a la menor descomposición de la materia orgánica como consecuencia de una pobre aireación ligada tanto al exceso hídrico como a la textura fina presente en estos suelos. En Sudáfrica, Miles *et al.* (2016) compararon un gran número de suelos cultivados con caña de azúcar de regiones húmedas y frías con otros de áreas secas y cálidas, encontrando mayores niveles de materia orgánica en los primeros por un proceso de descomposición más lento. Al igual que en la subregión occidental de la Llanura Deprimida los IP altos se presentan influenciados por los suelos de mayor porcentaje de arena, ya que en general estos suelos, además de encontrarse en las posiciones más altas del relieve, presentan una permeabilidad mayor y por lo tanto una mejor condición de drenaje (Sanzano *et al.* 2006).

CONSIDERACIONES FINALES

La estimación de los Índices de Productividad (IP) ha permitido establecer una relación más precisa entre los factores edafoclimáticos de las regiones agroecológicas y la producción de caña de azúcar en la provincia de Tucumán. Las propiedades condicionantes de los IP fueron distintos en cada región estudiada.

En las regiones del Pedemonte y de Llanura Chacopampeana subhúmeda - húmeda los IP altos representaron el 63% y 78% del total de suelos relevados, respectivamente. Estos IP se explicaron, de acuerdo al método Biplot utilizado en este trabajo, por el contenido de materia orgánica y en menor medida por el contenido de limo y arcilla en la primera región y por el contenido de limo del suelo y la alta capacidad de almacenaje de los suelos en la segunda. Esto indica que en ambas regiones, los factores edáficos limitantes para la producción sostenida de caña de azúcar son leves y que las buenas prácticas de manejo debieran conducir a la obtención de mayores rendimientos a los actualmente logrados.

Para la subregión occidental de Llanura Deprimida los suelos de IP medios y bajos representan un 53% y un

38% del total, indicando que existen limitaciones moderadas y severas, tales como poca profundidad del nivel freático fuertemente asociado a variables tales como pH moderadamente alcalinos, presencia de carbonatos de calcio y texturas medias y finas que dificultan la evacuación rápida de los excesos hídricos. Deben entonces implementarse prácticas más costosas, que incluyen obras de desagüe superficial y/o drenaje subterráneo que permitirían para mejorar la condición general de los suelos de la subregión.

En la subregión oriental de la Llanura Deprimida se detectaron 47% de suelos con IP bajos y 11% con IP muy bajos, con limitaciones edáficas severas, tales como pH fuertemente alcalinos, presencia de calcáreo y altos porcentajes de sodio intercambiable y, en menor medida, presencia de sales solubles. Esta área requiere, además de prácticas similares a las señaladas para la subregión anterior, la utilización en muchos casos de enmiendas químicas y/o biológicas correctivas para la obtención de altos rendimientos, que puede significar una relación costo/beneficio no compatible con el marco socio económico actual de la actividad azucarera en la provincia de Tucumán.

Apoyo financiero: el presente trabajo se ha realizado en el marco del PROICSA, financiado por la Corporación Andina de Fomento a través de la UCAR, Ministerio de Agroindustria de la Nación.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Arroyo, E.A.; Aranda, N.D.; Sanzano, G.A.; Figueroa, S.I. y Navarro Di Marco, J.P. 2016. Comparación de la variabilidad de parámetros edáficos entre dos localidades representativas de las regiones de Llanura deprimida no salina y Llanura chacopampeana de la provincia de Tucumán. XX Reunión Argentina de SATCA. CD Rom.
- Camp, C. and Carter, C. 1983. Sugarcane Yield response to Subsurface Drainage for an Alluvial Soil. Transactions of the ASAE 1983. P 1112-1116.
- Cruz, R.V. 1995. Drenajes. En: CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA, 1995. P211-233.
- Digonzelli, P.A.; Tonatto, M.J.; Romero, E.R.; Sanzano, G.A.; Fernández de Ullivarri, J.; Giardina, J.A. and Scandaliaris, J. 2011. Assessing a sustainable sugar cane production system in Tucumán, Argentina. Part 2: Soil water and thermal regime, stalk population dynamics and sugarcane production. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán. Tomo 88 (2): 1-12; 2011.
- Fandos, C.; Scandaliaris, J.; Scandaliaris P.; Soria, F. y Carreras Baldrés, J. Área cosechable y producción de caña de azúcar y azúcar para la

- zafras 2010; 2011; 2012 y 2013 en Tucumán. Reporte Agroind. EEAOC N° 39, 53, 66 y 83.
- Figuroa, L.R.; Medina, L.F. y de Lobo, A.M.P. 1996.** Variaciones del nivel freático en la llanura deprimida de Tucumán. Serie Monográfica N° 3. INTA. CRTS.
- Fogliata, F.A. 1995.** Riego y Drenaje, Capítulo 8 en *Agronomía de la Caña de Azúcar*. ISBN 950-9414-56-5 (Vol. 2) 763- 930.
- Fogliata, F.A. and Bustos, V.N. 1980.** Sugarcane ferric chlorosis in excessive calcareous soils. *Proc. ISSCT* 17: 262-280.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1976.** A framework for land evaluation. *Soils Bulletin* 32, Rome, Italy: FAO.
- Han, F.; Aso, P.J. y Fogliata, F.A. 1965.** Estudio sobre salinidad en algunos suelos cultivados con caña de azúcar del Dpto Leales, Tucumán. *Rev. Agron. N.O. Argentino* 4(2):165-180.
- Miles N.; R. Van Antwerpen and S. Ramburan. 2016.** Soil organic matter under sugarcane: levels, composition and dynamics. *Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass.* (2016) 89: 161-169.
- Mitchell, D. C.; Bohl, H. P; Roth, C. H. and Cook, F.J. 2001.** The Dynamics of a shallow perched watertable on a heavy soil in the Lower Herbert Valley. *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.*, 23:148-153.
- Morris, D.R. and Tai, P.Y.P. 2004.** Water table effects on sugarcane root and shoot development. *Journal American Society Sugar Cane Technologists*, Vol. 24: 41-59.
- Moscattelli, G.; Godagnone, R.E.; Salazar Lea Plaza, J.C.; Nakama V. y Cuenca, M.A. 2005.** Estudio de suelos para la reconversión del sector agropecuario. Departamentos Famaillá, Monteros, Simoca y Chicligasta, provincia de Tucumán. ISBN 987-521-148-6. 132 pp.
- Nakama, V. y Sobral, R. 1987.** Índices de productividad. Método paramétrico de evaluación de tierras. Sec. de Agricultura, Ganadería y Pesca- INTA. Documento del Proyecto PNUD Arg. 85/019, Buenos Aires.
- Olivier, F. and Singels, A. (2007).** Effect of a trash blanket on irrigation water use efficiency of sugarcane. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* 26, 404-408.
- Rietz, D.N. 2001.** Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil chemical and microbial properties and sugarcane yield. Tesis Master of Science in Agriculture. School of Applied Environmental Sciences. University of Natal. Pietermaritzburg. http://researchspace.ukzn.ac.za/bitstream/handle/10413/4920/Rietz_Diana_Nicolle_2001.pdf;sequence=1. [Consultado en Septiembre 2017, en línea].
- Riquier, J.; Bramao, D.L. y Cornet, I.L. (1970).** A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity. *FAO AGLTERS* 70/6.
- Romero, E.R.; Scandaliaris, J.; Digonzelli, P.A.; Leggio Neme, M.F.; Giardina, J.A.; Fernández de Ullivarri, J.; Casen, S.D; Tonatto, M.J. y Alonso, L.G.P. 2009.** La caña de azúcar. Características y ecofisiología. Capítulo 1 en *El manual del cañero-EEAOC*. Pp: 13-21. ISBN: 978- 987- 21283 -6 -4.
- Sanzano, G.A.; Arroyo, E.A.; Aranda, N.D.; Sotomayor, C.; Romero, J.; Sosa, F.A. y Correa, O.R. 2016.** Estimación de la capacidad de almacenaje de agua útil y la permeabilidad de los suelos cañeros de Tucumán utilizando un modelo predictivo. XX Reunión SATCA. CD ROM.
- Sanzano, G. A. y Fadda, G.S. 2009.** Características edáficas y manejo de suelos en el área cañera de provincia de Tucumán. Recomendaciones de manejo. Capítulo 2 en *El manual del cañero-EEAOC*. Pp: 23-31. ISBN: 978- 987- 21283 -6 -4.
- Sanzano, G.A.; Sosa, F.A.; Hernández, C.F.; Morandini, M.; Romero, J.I.; Rojas Quinteros, H. y Digonzelli, P.A. 2009.** Evaluación de la erosión hídrica con caña de azúcar y sin cobertura de maloja. *Avance Agroindustrial* Vol 30 (nº3): 16 -18.
- Sanzano, G.A., Sosa, F.A.; Soria, F.J.; Hernández, C.F.; Morandini, M.; Rojas Quinteros, H.; Fandos, C.; Alonso, J.; Digonzelli, P.; Romero, E. y Fadda, G.S. 2006.** Estudios preliminares sobre la relación entre las condiciones de drenaje del suelo y la producción de caña de azúcar en la llanura deprimida no salina de Tucumán. *EEAOC Avance Agroindustrial* Vol 27 N°4, 19-22.
- Singels, A.; Kennedy, A.J. and Bezuidenhout, C.N. 2000.** The effect of water stress on sugarcane biomass accumulation and partitioning. *Proc. S. Afr. Sug. Technol. Assoc.* 74: 169-172.
- Storie, R.E. 1978.** *Storie Index for Soil Rating (Revised)*. Spec. Publ. 3203, Div. Agric. Sci. Univ. Calif., USA.
- Van Antwerpen, R.; Haynes, R.J.; Meyer, J.H. and Hlanze, D. 2003.** Assessing organic amendments used by sugarcane growers for improving soil chemical and biological properties. *Proc S Afr Sug Technol Ass* 77: 293-304.
- Van Antwerpen, R.; Meyer, J.H. and Johnston, M.A. 1994.** Estimating water retention of some Natal sugar belt soils in relation to clay content. *Proc. S. Afr. Sugar Technol. Ass.* 68, 75-79.
- Van den Berg, M. and Singels, A. 2013.** Modelling and monitoring for strategic yield gap diagnosis in the South African sugar belt. *Field Crops Research* 143, 143–150.
- Zuccardi R.B. y Fadda, G.S. 1985.** Bosquejo agrológico de la provincia de Tucumán. Misc n° 86. Facultad de Agronomía y Zootecnia- UNT. 51 pp.