

Selección de la capa salina del suelo que mejor se correlaciona con el rendimiento de azúcar recuperable de la caña de azúcar

Valdivia Vega Sergio¹, Pinna Cabrejos Jorge¹, Valdivia Salazar Sergio²

¹Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú. Calle J.J. Ganoza 166 Urb. California, Víctor Larco, Trujillo, Perú. Correo electrónico: svaldiviav@upao.edu.pe

²Palma del Espino, Tocache, Perú.

Recibido: 14/7/15 Aceptado: 23/12/15

Resumen

El objetivo del experimento fue encontrar qué capa del suelo (salinidad) se correlaciona mejor con la producción de azúcar recuperable de la caña. Se realizó en el campo Zapote, de la empresa Tumán, localizada en la costa norte, departamento de Lambayeque, Perú. Este campo (salinidad $2-8 \text{ dSm}^{-1}$) fue sembrado con caña de azúcar (*Saccharum* spp.) cultivar H32-8560, en 105 parcelas (cosechadas a cinco edades diferentes) que fueron fertilizadas con cinco dosis de N, y un testigo sin fertilizar. Se realizaron correlaciones lineales entre el rendimiento de azúcar y la salinidad (conductividad eléctrica del extracto de saturación: CEe) de diferentes capas del suelo (0-30 cm, 30-60, 60-90, promedio de 0-60, promedio de 0-90, capa más salina de 0-60, capa menos salina de 0-60 cm). También se correlacionó el rendimiento de azúcar con diez promedios aritméticos y ponderados de la salinidad obtenida antes de la siembra y después de la cosecha. Se encontró mayor correlación cuando se usaron los datos de salinidad de antes de la siembra, que cuando se usaron datos de después de la cosecha. Las más altas correlaciones con el rendimiento de azúcar (salinidad antes de la siembra) correspondieron a la salinidad de la capa promedio 0-60 cm (R: 0,27-0,84 [$p < 0,01$]); la capa menos salina de 0-60 cm (R: 0,47 [$p < 0,01$]-0,82 [$p < 0,01$]); la capa más salina de 0-60 cm, (R: 0,04-0,81 [$p < 0,01$]). Conclusión: es suficiente muestrear y analizar los suelos sólo hasta la profundidad de 60 cm antes de la siembra.

Palabras clave: *Saccharum* spp., salinidad del suelo, rendimiento de azúcar recuperable

Summary

Selecting Soil Salinity Layer that Better Correlates with Sugarcane Recoverable Sugar Yield

The objective of this work was to find out which soil salinity layer correlated better with the recoverable sugar yield. The present study was made at Zapote field, located at Tumán enterprise, in Peruvian northern coast, Lambayeque Department, Peru. The soil (salinity $2 \text{ to } 8 \text{ dS m}^{-1}$) was planted with sugarcane (*Saccharum* spp.) H32-8560 cultivar on 105 plots harvested at five different ages, fertilized with 5 N doses and a control without fertilization. Lineal correlations between sugar yield and salinity, expressed as Electrical Conductivity of saturation extract (CEe), of different soil layers (0-30 cm, 30-60, 60-90, mean 0-60, mean 0-90, higher salty layer 0-60, and less salty layer 0-60 cm) were calculated. Moreover, sugar yield was correlated with ten arithmetical and pondered means of salinity measured before planting and after harvesting. Higher correlation was found for salinity measures before planting than with measures after harvesting. The highest correlations with sugar yields utilizing salinity measures before planting, corresponded with mean 0-60 cm salinity layer, with R values between 0.27 and 0.84 ($p < 0.01$), the less salty layer 0-60 cm, with R between 0.47 ($p < 0.01$) and 0.82 ($p < 0.01$), and the most salty layer 0-60 cm with values from 0.04 to 0.81 ($p < 0.01$). Conclusion: it is enough sampling and analyzing soils just to 60 cm before planting.

Keywords: *Saccharum* spp., soil salinity, recoverable sugar yield

Introducción

El monocultivo de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) se viene realizando desde hace muchos años en el Perú, sobre todo en la costa norte, en los valles áridos (irrigados). Actualmente, su cultivo se ha expandido, moderadamente, a la zona desértica (arenales). Dentro del valle irrigado más del 30 % de la superficie de cultivo presentaba problemas de salinidad o mal drenaje (Alva *et al.*, 1976), situación que se mantiene hasta el presente. Por lo tanto, estas tierras marginales afectadas son las superficies más extensas donde potencialmente sería factible la expansión del cultivo de caña de azúcar, siempre y cuando se recuperen, para lo cual hay que realizar obras de drenaje y lavado de los suelos.

Desde hace muchos años se sabe que la salinidad afecta negativamente los cultivos (USSSL, 1954; Maas y Hoffman, 1977; Bernstein *et al.*, 1974; Francois, 1987). La salinidad afecta asimismo el rendimiento de la caña de azúcar -que no se ve alterado a salinidades menores de 0,73 dS m⁻¹- al igual que la calidad; pero que disminuye a más de 1,2 dS m⁻¹ (Fogliata y Aso, 1965). Estos mismos autores indican que el rendimiento disminuye en 10 % a 1,5 dS m⁻¹ y en 50 % a 5,0 dS m⁻¹. Por otro lado, Bernstein *et al.* (1966) afirman que bajo condiciones favorables (invernadero) la salinidad disminuye la pureza y el rendimiento de sacarosa (porcentaje de pol) en caña. Estos trabajos incentivarón la realización de investigaciones sobre el efecto de las sales en el rendimiento de la caña de azúcar en el Perú, habiéndose encontrado que el cultivar H39-5803 reduce su desarrollo (a los cuatro meses de edad) cuando las salinidades en las capas 0-30; 30-60; y 60-90 cm son mayores a 8,78; 4,28; y 3,60 dS m⁻¹, respectivamente; el H32-8560 cuando son 6,02; 4,16; y 3,87; el H37-1933 a 4,31; 4,92; y 5,95; el H50-7209 a 4,02; 6,02; y 4,61 dS m⁻¹; el PCG12-745 a 5,35; 3,76; y 3,87; y el H57-5174 a 6,25; 4,61; y 4,83 dS m⁻¹ (Pinna Cabrejos, 1974). Por otro lado, Valdivia Vega y Pinna Cabrejos (1974) encontraron que la caña se ve afectada por salinidades mayores a 3,5 y 2,2 dS m⁻¹ en las profundidades del suelo de 0-30, y 30-60 cm, respectivamente. Además, Valdivia Vega y Pinna Cabrejos (1980) afirman que el rendimiento de la caña de azúcar no aumentó con la aplicación de altas dosis de nitrógeno (N) cuando la salinidad en la capa del suelo de 0-60 cm varió entre 2 y 8 dS m⁻¹ y que el rendimiento de azúcar recuperable se correlacionó inversamente con la salinidad del suelo. Asimismo, Valdivia Vega (1980) indica que los rendimientos de la caña

disminuyen en un 15 % cuando la salinidad de la capa 0-60 cm de profundidad es mayor a 8,2 dS m⁻¹ y la napa freática es superficial, entre 80 y 110 cm; mientras que si la napa es profunda (mayor a 2 m), la disminución de 15 % en el rendimiento de caña se presentó con una CEe de 2 dS m⁻¹; y si el suelo es sódico, con napa profunda, a salinidades de 2 dS m⁻¹ durante el crecimiento vegetativo (caña planta) y de 1,6 durante la brotación de los rizomas (caña soca).

Los resultados antes indicados se obtuvieron con análisis efectuados mayormente en la capa 0-60 cm de profundidad, ya que en el Perú, a una edad de cuatro meses, la caña toma el agua del suelo a una profundidad mayor de 30 cm (Pinna Cabrejos, 1974). Este autor afirma que el límite de afectación de las sales es muy brusco, ya que variaciones muy pequeñas sobre el umbral de la salinidad afectan al cultivo, y que la caña extrae el agua que necesita de la capa menos salina en los suelos aluviales estratificados, lo que indica que hay una relación con la profundidad de raíces del cultivo en cuestión. Eppink (1973) afirma que la caña de azúcar tiene una gran facilidad para distribuir sus raíces en el suelo, de acuerdo a sus necesidades de agua o a los excesos de la misma. Estos datos concuerdan con los de Lunin y Gallatin (1965) quienes afirman que cuando las raíces de las plantas se desarrollan en un medio que presenta diferentes concentraciones de salinidad, la absorción del agua es reducida fuertemente en las capas salinas; pero aumenta en las raíces que se desarrollan en las salinidades bajas, siendo la absorción total del agua la misma que la de las raíces que se desarrollan bajo condiciones no salinas.

En caña irrigada en surcos profundos, más del 50 % de las raíces está a una profundidad de 60 cm (Lee y Weller (1927). En caña de siete meses, por lo menos el 82 % del número total de raíces se encuentra en la capa superior del suelo, a 40 cm de profundidad (Van Dillewijn, 1975). Existe una correlación entre el desarrollo de la caña y las raíces (Humbert, 1974). En Hawai, en las cañas cultivadas de temporal que están sujetas a cortos periodos de sequía se desarrollan sistemas radiculares mucho más extensos que en la caña bajo riego; y el sistema radicular de las socas es menos desarrollado que el de las plantas (Humbert, 1974).

Existe relativamente poca información sobre la capa salina del suelo que mejor se relaciona con el impacto de la salinidad sobre la productividad de la caña de azúcar. Al respecto, en Sudáfrica encontraron que los suelos se muestrean hasta 90 cm de profundidad para estudios de salinidad (Rietz y Haynes, 2002). Por otro lado, en Australia, Kingston y Anink, (2005) mencionan que se usa el promedio aritmético de la salinidad en la profundidad que tiene la

mayor densidad de raíces (0-50 cm). Lingle y Wiegand (1997) utilizaron el promedio de las profundidades del suelo 0-30, 30-60, y 60-90 cm para calificar la salinidad del mismo. Criterio similar usaron Nelson y Ham (2000), que utilizan la capa promedio de 0-75 cm de profundidad del suelo. Considerando que en el valle Chancay-Lambayeque (Perú) hay aproximadamente 90.000 ha cultivadas, de las cuales el 30 % están afectadas por la presencia de sales (FAO, 1973), está más que justificado el estudio del problema de la salinidad en el desarrollo de la caña de azúcar. El propósito de este estudio fue encontrar la salinidad (expresada como conductividad eléctrica del extracto de saturación: C_{Ee}, dS m⁻¹) de qué capa del suelo se correlaciona mejor con el rendimiento de azúcar recuperable, teniéndose como hipótesis que probablemente sería la superficial o el promedio de las dos superficiales.

Materiales y métodos

Este experimento fue realizado en el campo Zapote C-D, perteneciente a la Empresa Agroindustrial Tumán S.A.A. ubicada en el valle de Chancay-Lambayeque (costa árida del norte del Perú: 6°42'00.25" S; 79°41'35.17" O). La costa del Perú está clasificada como una región hiper-árida (UNESCO, 1977). Por otra parte Tosi (1960), utilizando la clasificación de Holdridge, clasificó la costa del Perú como un desierto sub tropical. Esta zona se caracteriza por tener una precipitación anual aproximada de 30 mm, con una temperatura media aproximada de 22 °C, humedad relativa promedio de 81,5 % y una evaporación diaria promedio de 5,5 mm. Según la clasificación norteamericana «Soil Taxonomy» el suelo bajo estudio pertenece al orden Entisols (Luzio *et al.*, 1982). Según el sistema de clasificación de la FAO, el suelo es un Fluvisol, el cual pertenece a la unidad principal de los suelos poco desarrollados (Porta *et al.*, 2003); tiene un pH en pasta de 7,9; C_{Ee} entre 2 y 8 dS m⁻¹, con textura variable de franco arcilloso a franco arcillo arenoso; calcáreo (6,5 a 7,3 %); pobre en N total (0,097 a 0,132 %) y en materia orgánica (1,76 a 2,14 %); medio en P disponible según el método de Olsen modificado (5,4 a 9,5 ppm); y bien provisto de K disponible extraído con acetato de amonio (52,7 a 66,5 mg 100g⁻¹) (Valdivia Vega y Pinna Cabrejos, 1980).

En el campo antes mencionado se instalaron cinco ensayos experimentales, cosechados a diferentes edades, cada uno con cuatro bloques (repeticiones) de cinco parcelas de 450 m² cada una, que tenían cinco dosis de N cuya fuente fue la urea (180, 250, 320, 390 y 460 kg Nha⁻¹) y con un testigo por cada ensayo (0 kg Nha⁻¹), por lo que se tenían

21 parcelas experimentales por cada edad de cosecha. Se plantó el cultivar de caña de azúcar H32-8560, y cada ensayo experimental se cosechó a diferentes edades: 12,3; 15,5; 20,0; 23,3 y 26,5 meses. La cosecha a diferentes edades se realizó con el objetivo de conocer el efecto de las dosis de N en el rendimiento de azúcar recuperable en suelos salinos en diferentes edades de caña que se utilizaban normalmente en las diversas empresas del Perú. Los resultados sobre el efecto del N fueron publicados (Valdivia Vega y Pinna Cabrejos, 1980). En esta ocasión, el objetivo se concentra en conocer qué capa salina se correlaciona mejor con el rendimiento de azúcar recuperable de la caña de azúcar. La ubicación de las parcelas no tuvo en cuenta el contenido de las sales en el campo, ya que como es conocido, la salinidad manifiesta una gran variabilidad espacial.

De cada parcela se tomaron ocho muestras de suelos a tres profundidades (0-30, 30-60, 60-90 cm) tanto antes de la plantación como después de la cosecha. Las ocho muestras de suelo se mezclaron para formar tres muestras compuestas por parcela (una muestra conjunta por profundidad), las cuales fueron analizadas. Los resultados promedio de las características físicas y químicas del suelo aluvial irrigado, correspondiente a cada profundidad, fueron publicados por Valdivia Vega y Pinna Cabrejos (1980). Adicionalmente, fue realizado (antes de la cosecha) el análisis de calidad de caña, obteniendo los valores del pol (sacarosa), °Brix, pureza, fibra y azúcares reductores. En base a estos resultados y a los datos del rendimiento de caña fue calculado el rendimiento de azúcar recuperable en t ha⁻¹ con la fórmula propuesta por Husz (1969).

Los rendimientos de azúcar recuperable (t ha⁻¹) fueron correlacionados con la salinidad medida con el conductímetro (C_{Ee} en dS m⁻¹; USSLS, 1954) de las diferentes profundidades del suelo (0-30, 30-60, 60-90 cm, promedio 0-60 cm, promedio 0-90 cm, la capa más salina de 0-60 cm y la capa menos salina de 0-60 cm, escogidas entre las capas 0-30 y 30-60 cm). Adicionalmente, usando las capas 0-30 cm y las capas promedio 0-60 cm y la capa menos salina de 0-60 cm, con un tamaño de muestra de 21 en todas las correlaciones (al igual que en todas las anteriormente descritas), se realizaron algunos promedios aritméticos y ponderados de la salinidad, elegidos arbitrariamente, que se indican a continuación:

1. Capa promedio de la siembra y la cosecha, del promedio 0-60.
2. Capa promedio de la siembra y la cosecha, menos salina de 0-60.

3. Siembra x 0,6 + cosecha x 0,4 (de la capa promedio 0-60).
4. Siembra x 0,7 + cosecha x 0,3 (de la capa promedio 0-60).
5. Siembra x 0,6 + cosecha x 0,4 (de la capa menos salina de 0-60).
6. Siembra x 0,7 + cosecha x 0,3 (de la capa menos salina de 0-60).
7. $\left[\frac{\text{Siembra} + \text{Cosecha (0-30)}}{2} \right] \times 0,7 + \left[\frac{\text{Siembra} + \text{Cosecha (0-60)}}{2} \right] \times 0,3$
8. $\left[\frac{\text{Siembra} + \text{Cosecha (0-30)}}{2} \right] \times 0,6 + \left[\frac{\text{Siembra} + \text{Cosecha (0-60)}}{2} \right] \times 0,4$
9. Capa de 0-30 x 0,6 + capa 30-60 x 0,4 (ambas a la siembra)
10. Capa de 0-30 x 0,6 + capa 30-60 x 0,4 (ambas a la cosecha)
11. Capa de 0-30 x 0,7 + capa 30-60 x 0,3 (ambas a la siembra)
12. Capa de 0-30 x 0,7 + capa 30-60 x 0,3 (ambas a la cosecha)

El análisis estadístico efectuado fue el de regresión lineal, considerándose correlación significativa cuando la probabilidad es menor a 0,05 (*), y altamente significativa cuando es menor de 0,01 (**).

Resultados y discusión

La salinidad varió entre 2 y 8 dS m⁻¹, y los rendimientos entre 140,7 y 224,9 t ha⁻¹ de caña, y entre 5,43 y 31,24 t ha⁻¹ de azúcar recuperable, según las edades de cosecha (Cuadro 1). Existió correlación inversa altamente significativa entre la salinidad del suelo (capa promedio 0-60 cm) y el rendimiento de caña y azúcar recuperable para las edades de cosecha de 15,5, 20,0, 23,3 y 26,5 meses; y se encontró que ni el rendimiento de la caña de azúcar, ni el de azúcar recuperable, aumentaron con la aplicación de altas dosis de nitrógeno (Valdivia Vega y Pinna Cabrejos, 1980).

En el Cuadro 2 se observan los valores del coeficiente de correlación (R) entre el rendimiento de azúcar recuperable a las cinco edades de cosecha estudiadas, con la salinidad antes de la siembra y después de la cosecha, de las diferentes capas del suelo estudiadas.

Para la edad de 12,3 meses, los valores del coeficiente de correlación de la producción de azúcar recuperable con la salinidad a la cosecha son ampliamente superiores que los valores de R a la siembra, con excepción de la capa

menos salina 0-60 cm (Cuadro 2). Al observar las correlaciones a la edad de 15,5 meses, solo en dos capas (0-30 cm y menos salina 0-60 cm) se encontraron relaciones muy superiores a la cosecha. En las otras cinco capas las correlaciones a la siembra superan ampliamente las de la cosecha.

Al analizar los valores del coeficiente de correlación de la edad de 20 meses, se aprecia que las relaciones más altas corresponden a datos de siembra, las cuales superan ampliamente las correlaciones a la cosecha. A la edad de 23,3 meses se observa que las correlaciones a la siembra son superiores a las de la cosecha, y finalmente si se comparan los resultados hallados a los 26,5 meses, se encuentra una ligera superioridad de los valores de R a la siembra. Este resultado se podría deber a que el riego por gravedad se efectúa inicialmente cada semana, y después de unos dos meses se realiza cada mes, y al final del cultivo, alrededor de tres meses antes de la cosecha, se deja de regar (agoste).

Por tanto, a la siembra, las sales que se encuentran en el perfil (salinidad inicial) percolan después de cada riego, y posteriormente, cuando el suelo se seca, las sales ascienden, repitiéndose lo indicado en cada ciclo de riego, aunque disminuyendo en su contenido, como se aprecia en el Cuadro 1, donde con excepción del testigo (0 kg N ha⁻¹) a la edad de 15,5 meses de cosecha, siempre es menor la salinidad a la cosecha que a la siembra. Al término del periodo vegetativo, pero antes del agoste, la salinidad a la siembra fue la que influyó el comportamiento del cultivo. El agoste modifica este proceso. Esto sugiere que en los estudios de salinidad de la caña de azúcar, es suficiente muestrear los suelos a la siembra.

Adicionalmente, si se comparan únicamente las correlaciones (R) para la siembra, las mejores capas de suelo fueron el promedio 0-60 cm, la capa menos salina de 0-60 cm y la capa más salina de 0-60 cm. Al respecto, Pinna Cabrejos (1974) menciona que la extracción del agua por las raíces de la caña que se desarrolla en suelos salinos se realiza principalmente de la capa del suelo menos salina, coincidiendo con algunos resultados, y contradiciendo otros, lo que podría explicarse por la gran facilidad que tienen las raíces de la caña para distribuirse, según sus necesidades de agua (Eppink, 1973). Por otro lado, los resultados encontrados en el presente trabajo coinciden con los de Kingston y Anink (2005), Lingle y Wiegand (1997); y Nelson y Ham (2000).

Conociendo los resultados del Cuadro 2, los cuales muchas veces presentan correlaciones no significativas, y

Cuadro 1. Rendimiento de azúcar recuperable (Az. Rec. t ha⁻¹) en relación con la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEe dS m⁻¹) antes de la siembra (S) y después de la cosecha (C), para 5 edades de cosecha, 5 dosis de nitrógeno, y un testigo sin fertilizar.

Dosis de N kg ha ⁻¹ (a)	Edad de cosecha (meses)														
	12,3			15,5			20,0			23,3			26,5		
	Az. Rec.	CEe (S)	CEe (C)	Az. Rec.	CEe (S)	CEe (C)	Az. Rec.	CEe (S)	CEe (C)	Az. Rec.	CEe (S)	CEe (C)	Az. Rec.	CEe (S)	CEe (C)
0	5,433	4,79	3,48	11,517	4,42	5,28	7,412	5,68	3,49	21,667	4,70	2,03	12,082	5,65	2,78
180	8,946	4,71	2,59	17,743	6,23	3,40	18,846	5,42	4,12	15,907	5,58	2,45	29,812	3,50	2,03
250	9,787	4,38	2,62	16,139	5,05	3,56	16,475	4,25	3,65	11,874	6,73	3,46	31,239	3,10	2,42
320	9,683	4,41	2,23	16,971	5,30	3,10	13,731	5,34	4,63	19,427	4,63	2,14	21,738	4,48	3,43
390	9,668	3,84	2,49	16,736	4,84	3,29	16,608	4,17	3,56	17,330	5,87	2,46	23,134	5,24	3,37
460	11,150	4,09	1,58	17,232	4,33	2,35	16,641	5,05	3,62	20,548	4,75	1,95	26,632	4,30	2,58

(a): Promedio de 4 repeticiones, excepto el testigo (0 kg N ha⁻¹) que no tuvo repeticiones.

Cuadro 2. Correlaciones lineales entre el rendimiento de azúcar recuperable con la salinidad de diversas capas del suelo, antes de la siembra y después de la cosecha.

Capas de suelo estudiadas (cm)	Coeficiente de correlación para las diferentes edades de la caña de azúcar (meses)											
	12,3		15,5		20,0		23,3		26,5		Cosecha	
	Siembra	Cosecha	Siembra	Cosecha	Siembra	Cosecha	Siembra	Cosecha	Siembra	Cosecha	Siembra	Cosecha
0-30	-0,23	-0,27	-0,60**	-0,72**	-0,65**	-0,61**	-0,84**	-0,51**	-0,61**	-0,63**	-0,61**	-0,63**
30-60	-0,22	-0,47*	-0,63**	-0,33	-0,61**	-0,42*	-0,69**	-0,66**	-0,73**	-0,57**	-0,73**	-0,57**
60-90	-0,07	-0,45*	-0,36	-0,11	-0,32	-0,14	-0,18	-0,43*	-0,54**	-0,42*	-0,54**	-0,42*
Promedio 0-60	-0,27	-0,51**	-0,62**	-0,53**	-0,67**	-0,58**	-0,84**	-0,64**	-0,70**	-0,64**	-0,70**	-0,64**
Promedio 0-90	-0,22	-0,60**	-0,59**	-0,37	-0,59**	-0,44*	-0,76**	-0,63**	-0,70**	-0,56**	-0,70**	-0,56**
Más salina 0-60	-0,04	-0,52**	-0,63**	-0,34	-0,68**	-0,45*	-0,81**	-0,55**	-0,72**	-0,60**	-0,72**	-0,60**
Menos salina 0-60	-0,47*	-0,34	-0,61**	-0,72**	-0,63**	-0,65**	-0,82**	-0,69**	-0,64**	-0,65**	-0,64**	-0,65**

* Correlación significativa (p<0,05); ** Correlación altamente significativa (p<0,01); n = 21.

Cuadro 3. Correlaciones lineales entre el rendimiento de azúcar recuperable con la salinidad de diversos promedios aritméticos y ponderados de las capas del suelo 0-30 cm, promedio 0-60 cm, y promedio 0-60 cm de la menos salina.

Promedios aritméticos y ponderados	Coeficiente de correlación por edades de la caña de azúcar (meses)				
	12,3	15,5	20,0	23,3	26,5
1	-0,52**	-0,71**	-0,69**	-0,83**	-0,72**
2	-0,53**	-0,72**	-0,40*	-0,85**	-0,70**
3	-0,48*	-0,70**	-0,69**	-0,84**	-0,72**
4	-0,43*	-0,68**	-0,69**	-0,84**	-0,71**
5	-0,53**	-0,70**	-0,70**	-0,85**	-0,70**
6	-0,52**	-0,67**	-0,68**	-0,84**	-0,69**
7	-0,30	-0,63**	-0,66**	-0,83**	-0,69**
8	-0,49*	-0,72**	0,70**	-0,84**	-0,72**
9	-0,27	-0,62**	-0,67**	-0,85**	-0,68**
10	-0,47*	-0,59**	-0,60**	-0,62**	-0,64**
11	-0,27	-0,62**	-0,67**	-0,86**	-0,67**
12	-0,41*	-0,64**	-0,61**	-0,59**	-0,65**

* Correlación significativa ($p < 0,05$); ** Correlación altamente significativa ($p < 0,01$). $n = 21$.

otras solo significativas, se creyó conveniente averiguar o ampliar el estudio considerando otros factores. Para ello, se seleccionaron las capas: capa promedio 0-60 cm, capa menos salina de 0-60 cm y capa de 0-30 cm). Se aprecia en el Cuadro 3 que las seis primeras correlaciones (R) de los promedios aritméticos y ponderados con el rendimiento de azúcar recuperable superan ligeramente a las seis últimas. Dentro de las seis primeras relaciones se encontró que la opción 5, siembra x 0,6 + cosecha x 0,4 (de la capa menos salina de 0-60 cm) es ligeramente mejor que la opción 1 (capa promedio de la siembra y la cosecha del promedio 0-60 cm) y en tercer lugar está la 3, que es ligeramente superior que la 2. Si se comparan las correlaciones de las seis últimas relaciones del Cuadro 2, se observa que la opción 8 es ampliamente superior que el resto de las opciones (7, 9, 10, 11 y 12) e inclusive supera ligeramente a la opción 1. Se aprecia que a la edad de 23,3 meses de cosecha se obtuvieron las mayores correlaciones, y las menores a la edad de 12,3 meses.

De los resultados encontrados anteriormente, se deduce que es mejor usar los datos de la salinidad (CEe en $dS m^{-1}$) a la siembra, y de la capa promedio 0-60 cm, no sólo porque tiene alta correlación con la producción de azúcar recuperable (las correlaciones que implican las profundidades de 0-60 cm siempre fueron las más altas), sino también por la gran facilidad y ventaja de

poder conocer hasta qué salinidad inicial del suelo se puede recomendar sembrar caña.

Conclusiones

La salinidad del suelo antes de la siembra está mejor relacionada con el rendimiento de azúcar recuperable que la salinidad después de la cosecha.

El rendimiento de azúcar recuperable se correlacionó mejor con la salinidad de la capa promedio de 0-60 cm, con la capa menos salina de 0-60 cm, y con la capa más salina de 0-60 cm, y la peor relación fue con la capa 60-90 cm y con la capa promedio 0-90 cm.

Para evaluar la salinidad, sería suficiente muestrear y analizar los suelos sólo hasta la profundidad de 60 cm.

Las distintas correlaciones empleando promedios aritméticos y ponderados entre muestreos a la siembra y cosecha por lo general mejoran la correlación lineal con la producción de azúcar recuperable.

La más alta correlación corresponde al promedio ponderado siembra x 0,6 + cosecha x 0,4 (de la capa menos salina de 0-60 cm).

Bibliografía

- Alva C, Van Alphen J, De la Torre A, Manrique L. 1976. Problemas de drenaje y salinidad de la costa peruana. Wageningen: ILRI. 116p.
- Bernstein L, Francois LE, Clark RA. 1974. Interactive effects of salinity and fertility on yields of grains and vegetables. *Agronomy Journal*, 66(3): 412 - 421.

- Bernstein L, Clark RA, Francois LE, Derderian MD. 1966. Salt tolerance of N.Co. varieties of sugar cane : II. Effects of soil salinity and sprinkling on chemical composition. *Agronomy Journal*, 58(5): 503 – 507.
- Eppink L. 1973. Estudio preliminar del sistema radicular en caña (variedad H32-8560). En: Convención de Tecnólogos de las cooperativas agrarias de producción azucarera del Perú. Trujillo: CECOAAP. pp. C-2.2.
- FAO. 1973. Evaluación y control de degradación de tierras en zonas áridas de América Latina. Roma : FAO. 436p. (Boletín Latino Americano sobre Fomento de Tierras y Aguas ; 6).
- Fogliata FA, Aso PJ. 1965. The effects of soil soluble salts on sucrose yield of sugar cane. En: Bagué J. [Ed.]. 12th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist; 28 marzo -10 abril; San Juan, Puerto Rico. Amsterdam : Elsevier. pp. 682 - 694.
- Francois LE. 1987. Salinity effects on asparagus yield and vegetative growth. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 112(3): 432 - 436.
- Humbert RP. 1974. El Cultivo de la Caña de Azúcar. México : C.E.C.S.A. 719p.
- Husz G. 1969. El nuevo sistema de control de producción de campo en la Empresa Agrícola Chicama Ltda. Hda. *Informes Estación de Investigaciones Agrícolas*, (4): 1-10.
- Kingston G, Anink MC. 2005. Use of in-field measurements to refine salinity-tolerance thresholds for cultivars of sugarcane. En: Hogarth DM. [Ed.]. The XXV ISSCT congress organizing committee. . 25th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist; 30 enero - 4 febrero; Ciudad de Guatemala, Guatemala. Ciudad de Guatemala : Palacios. pp. 147 -153.
- Lee HA, Weller DM. 1927. The progress of sugar-cane roots in the soil at different ages. *Reports of the Association of Hawaiian Sugar Technologists*, 6: 69 - 72.
- Lingle SE, Wiegand CL. 1997. Soil salinity and sugar juice quality. *Field Crop Research*, 54(2-3): 259 – 268.
- Lunin J, Gallatin MH. 1965. Zonal salinization of the root system in relation to plant growth. *Soil Science Society of America Proceedings*, 29(5): 608 - 612.
- Luzio W, Maldonado F, Rosales A, Scoppa C, Van Wamkeke A. 1982. Taxonomía de Suelos : Un sistema básico de clasificación de suelos para hacer e interpretar reconocimientos de suelos. Ithaca : Cornell University. 252p.
- Maas EV, Hoffman GJ. 1977. Crop salt tolerance – current assessment. *Journal of the Irrigation And Drainage Division*, 103(2): 115 - 134.
- Nelson PN, Ham GJ. 2000. Exploring the response of sugarcane to sodic and saline conditions through natural variation in the field. *Field Crop Research*, 66: 245 - 255.
- Pinna Cabrejos J. 1974. Dificultades en la evaluación de suelos salinos y/o sódicos en el cultivo de caña de azúcar. *Azúcar Peruana*, 2(3): 14 - 23.
- Porta J, López-Acevedo M, Roquero C. 2003. Edafología. Madrid : MundiPrensa. 929p.
- Rietz DN, Haynes RJ. 2002. Effect of irrigation-induced salinity and sodicity on sugarcane yield. Proceeding South African Sugar Technology Association, 76: 173 - 185.
- Tosi J. 1960. Zonas de vida natural en el Perú : memoria explicativa sobre el mapa ecológico del Perú. Lima : IICA. 271p. (Boletín Técnico ; 5).
- UNESCO. 1977. Un nuevo mapa de la distribución mundial de las regiones áridas. *La naturaleza y sus Recursos*, 13(3): 2 - 3.
- USSLS. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington : USDA. 160p. (Handbook ; 60).
- Valdivia Vega S. 1980. Effect of water table depth on critical sugarcane salt concentration level. En: Brion Lopez M, Madrazo CM. [Eds]. 17th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist; 1 – 11 febrero; Manila, Filipinas. Filipinas : Metro Manila. pp. 209 – 219.
- Valdivia Vega S, Pinna Cabrejos J. 1980. Salinity effect in sugarcane response to nitrogen fertilization. En: Brion Lopez M, Madrazo CM. [Eds]. 17th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist; 1 -11 febrero; Manila, Filipinas. Filipinas : Metro Manila. pp. 421 - 431.
- Valdivia Vega S, Pinna Cabrejos J. 1974. A theoretical salt effect limit for sugarcane considering soil physical properties. En: En: Dick J, Collingwood DJ. [Eds]. 15th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist; 13 – 29 junio; Durban, Sud África. Durban: Hayne and Gibson. pp. 736 - 742.
- Van Dillewijn C. 1975. Botánica de la caña de azúcar. 2ed. La Habana : Instituto del Libro. 460p.