



## Fertilización nitrogenada, edad de cosecha y calidad de la caña de azúcar en un suelo moderadamente salino

Pinna Cabrejos J.<sup>1</sup> , Valdivia Salazar S.<sup>2</sup> , Valdivia Vega S.<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Privada Antenor Orrego. Avenida América Sur 3145, Trujillo, Perú. Email: jpinnac@upao.edu.pe

<sup>2</sup> Palma del Espino, Tocache, Perú.

Recibido: 10 Noviembre 2016 - Aceptado: 07 Mayo 2018

### Resumen

El estudio se realizó en el campo Zapote C-D, de la compañía Agro Industrial Tumán, en la costa norte del Perú, Departamento de Lambayeque. En este campo, moderadamente salino ( $1,98-8,66 \text{ dSm}^{-1}$ ), se estudiaron cinco dosis de N (180, 250, 320, 390, 460  $\text{kg ha}^{-1}$  de N) por edad, con cuatro repeticiones y una parcela testigo sin aplicación de N por cada edad; y cinco edades de la plantación al momento de cosechar (12,3, 15,5, 20,0, 23,3, 26,5 meses). Se plantó el cultivar de caña de azúcar H32-8560 (caña planta). En cada cosecha, se realizó el análisis de la calidad de la caña: sacarosa, brix, pureza, azúcares reductores, fibra y humedad. Se efectuó el Análisis de Varianza para estudiar el efecto de las dosis de N y de la edad en la calidad. Los resultados de calidad se relacionaron (vía análisis de regresión) con la salinidad promedio de los primeros 60 cm del suelo, de cada parcela, a la plantación, con las dosis de N y con la edad de la caña. Se encontró que las aplicaciones de N no afectaron la calidad de la caña. La salinidad moderada del suelo antes de la plantación no estuvo relacionada con ninguna característica de calidad de la caña. La calidad no se afectó, ni por las dosis de nitrógeno, ni por la salinidad del suelo. La calidad de la caña varió con la edad de la plantación al momento de cosechar, presentando un comportamiento similar al que hay en suelos no salinos. La falta de agua no afectó la maduración de la caña.

**Palabras clave:** suelos áridos, suelos aluviales, salinidad, fertilización, sacarosa

## Nitrogen Fertilization, Age at Harvesting and Quality of Sugarcane in a Moderately Saline Soil

### Summary

This study was carried out in the Zapote C-D field, belonging to Agro Industrial Tumán company, localized in Peruvian northern coast, Lambayeque Department. In this moderately saline field ( $1.98-8.66 \text{ dSm}^{-1}$ ), five N rates (180, 250, 320, 390, 460  $\text{kg N ha}^{-1}$ ) per age, with four replications and one control plot without N per age were studied, at five harvesting ages (12.3, 15.5, 20.0, 23.3, 26.5 months). The sugarcane cultivar H32-8560 (cane plant) was developed. In each harvest, an analysis of the quality of the cane was carried out: sucrose, brix, purity, reducing sugars, fiber and humidity. An Analysis of Variance was carried out to study the effect of N doses and cane age on quality. The quality results were related (via regression analysis) with the average salinity of the first 60 cm of the soil, of each plot, to the plantation, with the doses of N, and with the age of the cane. It was found that the applications of N did not affect the quality of the cane. The moderate salinity of the soil before planting was not related to any quality characteristic of the cane. The quality was not affected, either by the doses of nitrogen or by the salinity of the soil. The quality of the cane varied with the age of the plantation at the time of harvest, presenting a behavior similar to that in non-saline soils. The lack of water did not affect the ripening of the cane.

**Keywords:** arid soils, alluvial soils, salinity, fertilization, sucrose

## Introducción

El cultivo de la caña de azúcar es uno de los más importantes en los valles áridos (irrigados) de la costa norte del Perú. Si bien la mayor parte de la superficie sembrada se desarrolla en suelos relativamente fértiles, otra parte se encuentra en suelos salinos, por lo que su estudio y conocimiento son importantes. Se sabe que la salinidad afecta el rendimiento de la caña de azúcar<sup>(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)(8)</sup>. Más recientemente, Karpe y otros<sup>(9)</sup> y Sengar y otros<sup>(10)</sup> estudiaron los factores fisiológicos que provocan el estrés en la caña de azúcar por las sales del suelo; así como qué factores de crecimiento son afectados por las sales en el suelo<sup>(11)</sup>. En el Perú se hicieron igualmente trabajos al respecto<sup>(12)(13)(14)(15)(16)</sup>. Los trabajos antes mencionados se centraron en el efecto en la producción de la caña de azúcar, y no en la calidad de la misma, a pesar de que hace muchos años Fogliata y Aso<sup>(1)</sup> y Bernstein y otros<sup>(4)</sup> afirmaron que la salinidad afecta la sacarosa y la pureza del jugo de la caña. Posteriormente, Lingle y Wiegand<sup>(17)</sup>, además, encontraron que la salinidad disminuye el brix y aumenta la fibra; Wahid<sup>(18)</sup> indicó que disminuyó el brix; Kingston y Anink<sup>(19)</sup> encontraron que disminuye la pureza porque el efecto en la pol (sacarosa) es mayor que en el brix; Golabi y otros<sup>(20)</sup> afirmaron que la salinidad disminuye la pol, el brix y la pureza; Ashraf y otros<sup>(21)</sup> sostuvieron que la aplicación de potasio en suelos salinos mejora el rendimiento y la calidad de la caña; y Watanabe y otros<sup>(22)</sup> encontraron que el Cl<sup>-</sup> como KCl redujo la sacarosa; por lo que se hacía necesario estudiar el efecto de las sales en la calidad de la caña en el Perú.

Considerando que en el valle Chancay-Lambayeque hay 90000 ha cultivadas, de las cuales el 30 % está afectado por la presencia de sales<sup>(23)</sup>, se justifica el estudio de los problemas de la salinidad en la calidad de la caña de azúcar. Por otro lado, el cultivar H32-8560 es el que más se cultiva en el Perú, y el más estudiado en cuanto a nutrición se refiere. En dicho cultivar y en algunos otros, solo se aplica N en la mayoría de los campos, ya que los suelos son ricos en K y medios en P, no habiéndose encontrado respuesta a las aplicaciones de estos dos últimos elementos<sup>(24)</sup>, por eso este trabajo se centra solo en el N, y no en el K como el de Ashraf y otros<sup>(21)</sup>.

El Análisis de Varianza (ANOVA) no brinda suficiente información sobre las dosis máximas y óptimas de N, lo

que sí se obtiene con los análisis de regresión. A partir de los análisis de regresión, las dosis óptimas se encontraron entre 318 y 348 kg ha<sup>-1</sup> de N, aunque se han encontrado hasta 446 kg ha<sup>-1</sup> de N<sup>(25)</sup>.

A pesar de estos resultados, hay agricultores que aplican tan solo 180 kg ha<sup>-1</sup> de N (dosis mínima aplicada en este trabajo con cuatro repeticiones por edad, ya que el testigo: 0 kg ha<sup>-1</sup> de N no tenía repeticiones en cada edad), basándose en experimentos que muestran un ligero incremento en los rendimientos cuando se estudian rangos muy estrechos 175-375 kg ha<sup>-1</sup> de N<sup>(26)</sup>.

Por lo tanto, en los experimentos nitrogenados en el Perú se usan amplios rangos de N que van desde 0 hasta 600 kg ha<sup>-1</sup> (en este experimento la dosis máxima fue de 460 kg ha<sup>-1</sup> de N, algo mayor que la indicada como la óptima máxima por Valdivia Vega<sup>(25)</sup>). En los valles más al norte hay una tendencia a cosechar cañas a edades menores de la plantación al momento de cosechar, a pesar de tratarse de cultivares de origen hawaiano de largo periodo vegetativo, mientras que en el centro la tendencia es a edades mayores, lo que hace necesario estudiar la fertilización nitrogenada a varias edades de cosecha, que pueden variar entre 13 y 29 meses<sup>(27)</sup> tratándose, al igual que para el N, de encontrar las curvas completas para poder calcular la edad óptima de cosecha.

Lo mismo se hizo cuando en suelos salinos<sup>(15)</sup>, pero en dicha oportunidad estos últimos autores describieron el efecto de las sales únicamente en la producción de caña y azúcar en t ha<sup>-1</sup>, no así en las características de calidad de la misma. Las dosis altas de nitrógeno no afectan la calidad de la caña, en suelos «normales», no salinos<sup>(28)</sup>, donde en varios experimentos no hubo dicho efecto. Posteriormente Valdivia Vega y otros<sup>(14)</sup> encontraron que en un experimento no había respuesta de la calidad de la caña a las dosis de nitrógeno según el análisis de varianza, aunque sí subía la humedad y bajaba la fibra significativamente en las regresiones.

En la misma publicación indicaron que en otro experimento la pol (sacarosa medida con el Polarímetro) y el brix bajaban significativamente según el análisis de varianza y las regresiones, y la humedad subía solamente en el último análisis estadístico mencionado. En este último caso concluyeron que no hay una disminución efectiva de la sacarosa, sino que la disminución es relativa por un aumento de la humedad. Por otro lado, al estudiar la variabilidad del contenido de sacarosa con la edad de la caña, Valdivia Vega<sup>(29)</sup> indicó que no se puede decidir la

cosecha con el índice de calidad, ya que si el mismo decrece con la edad, el rendimiento aumenta, por tanto, conforme avanza el tiempo, es necesario contar con ambos datos: calidad y producción. Antiguamente, se tenía la idea de que la calidad de la caña aumentaba cuando cesaba el crecimiento de la planta<sup>(30)(31)</sup> acumulándose la sacarosa en vez de ser utilizada en el proceso de crecimiento. En contraposición a esto, en la costa norte del Perú, en cañas bajo riego creciendo a una temperatura promedio de 22 °C, con ligeras variaciones entre el día y la noche y entre estaciones, se encontró que las cañas alcanzan una gran maduración, manteniéndose constante la tasa de crecimiento de los tallos<sup>(28)</sup>. Estos resultados complementarían lo encontrado por Alexander<sup>(32)</sup>, quien indicó que el aumento de la calidad se debe a cambios bioquímicos que ocurren cuando la planta está sufriendo un estrés.

Dicho estrés puede ser causado por bajas temperaturas (no excesivas), disminución del aporte de agua, o déficit de nutrientes, principalmente NO<sub>3</sub>, P, K, y Ca. Dichos cambios bioquímicos probablemente son producidos debido al distanciamiento entre los riegos, no manifestándose en dicho caso síntomas visibles como la disminución de la tasa de crecimiento, ya que los otros factores se mantienen normales, y los disminuidos (agua) vuelven posteriormente a su nivel normal.

El último autor acotó que, bioquímicamente hablando, es más correcto decir que distintos regímenes metabólicos han sido creados, que afirmar que las plantas han perdido su capacidad de crecimiento y por tanto acumulan sacarosa. Las indicaciones externas del estrés, como la disminución de la tasa de crecimiento u otros síntomas visibles, son en realidad manifestaciones de cambios bioquímicos que han ocurrido con anterioridad; cambios que tienen fuerte relación con la enzima invertasa<sup>(32)</sup>. El aumento de la calidad por disminución del contenido de nutrientes se debe a cambios bioquímicos por la disminución inicial del aporte de nutrientes a la planta.

La edad de la plantación al momento de cosechar no es necesariamente un sinónimo de maduración, ya que si el nitrógeno y el agua permanecen abundantes, la planta no madura en el sentido usual de esta palabra, a pesar de su edad<sup>(32)</sup>. Los estados de estrés que conllevan a un aumento de la calidad de la caña producen, además de una disminución en el crecimiento, una disminución de la evapotranspiración de las plantas<sup>(33)(34)(35)</sup>. Se podría concluir que una disminución en la evapotranspiración de la

caña de azúcar, ya sea causada por un estrés de humedad, nutrientes, o de frío, produce cambios bioquímicos que favorecen la acumulación de sacarosa, o que la evapotranspiración es un indicador de los cambios bioquímicos que se están produciendo en la caña, los cuales conllevan a un aumento o disminución de su azúcar. El propósito de este estudio fue encontrar el efecto de la fertilización nitrogenada en la calidad de la caña: Sacarosa, brix, pureza, reductores, fibra y humedad; en un campo cosechado a diferentes edades de plantación (entre 12,3 y 26,5 meses, similares a las estudiadas por Saldarriaga y otros<sup>(27)</sup>), cuando el mismo tiene características de salinidad.

## Materiales y métodos

El presente experimento estuvo ubicado en el campo Zapote C-D, de la Empresa Agro Industrial Tumán S.A.A. ubicada en el valle Chancay - Lambayeque (costa árida del norte del Perú). La costa del Perú está clasificada como una región hiper-árida<sup>(36)</sup>. Por otra parte Tosi<sup>(37)</sup>, utilizando la clasificación de Holdridge, clasifica la costa del Perú como un desierto subtropical. La 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. En el campo antes mencionado se instalaron en la misma fecha cinco ensayos experimentales con el cultivar H32-8560 para ser cosechados a diferentes edades (12,3, 15,5, 20,0, 23,3 y 26,5 meses). En cada uno de estos ensayos se evaluó la respuesta a la fertilización nitrogenada; para ello se establecieron cinco dosis de N: 180, 250, 320, 390 y 460 kg ha<sup>-1</sup> usando urea como fuente de nitrógeno, la cual se aplicó antes de un riego 30 días después de la plantación. Se utilizó el diseño de Bloques Completos al Azar, donde los tratamientos fueron las cinco dosis de nitrógeno con cuatro repeticiones cada una. La parcela experimental fue de 450 m<sup>2</sup> cada una (tres surcos a 1,5 m de ancho por 100 m de largo). En cada fecha de corte se incluyó un testigo sin aplicación de N, por lo que el experimento total, teniendo en cuenta las cinco edades de la plantación al momento de cosechar, da 105 parcelas experimentales y una superficie de 4,725 ha.

El «agoste» (tiempo que se deja de regar la caña de azúcar antes de la cosecha) fue similar en todas las edades. La cantidad de agua para el riego fue la misma para todos los tratamientos de cada edad, aumentando según

la edad de la caña; a los 12,3 meses fue de alrededor de 20 000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, aumentando a una tasa de 1 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> mes<sup>-1</sup>. La calidad del agua es buena, proviene del río Chancay-Lambayeque, y tiene una conductividad eléctrica de alrededor de 1,3 dS m<sup>-1</sup>. Los suelos aluviales bajo estudio fueron descritos en una publicación anterior, que no consideró la calidad de la caña de azúcar<sup>(15)</sup> y se clasifican como Entisols (Soil Taxonomy<sup>(38)</sup>) o Fluvisols (FAO<sup>(39)</sup>). Se caracterizan por ser suelos jóvenes, sin horizontes genéticamente desarrollados, calcáreos (6,5 a 7,3 %), con pH de 7,5 a 8,2, salinidad que varía de 1,98 dSm<sup>-1</sup> (en la parcela de menor salinidad) a 8,66 dSm<sup>-1</sup> (en la de mayor), textura predominante franco arcillosa. Son pobres en N total (de una muestra de suelos representativa, tomada de una de las 105 parcelas, se indican los resultados del menor y mayor valor, encontrados en los análisis realizados a las profundidades de 0-30 cm, 30-60 cm, y 60-90 cm, siendo de 0,097 y 0,132 % para la última y la primera profundidad) y en materia orgánica (1,76 a 2,14 %), medios en P disponible según el método de Olsen modificado (5,4 a 9,5 ppm), y bien provistos de K disponible extraído con acetato de amonio (52,7 a 66,5 mg 100 g<sup>-1</sup>).

A la cosecha, se realizó el análisis de la calidad de la caña con los métodos utilizados normalmente en las fábricas de azúcar (ICUMSA): sacarosa (medida con el polarímetro), brix (sólidos solubles totales, medidos con el refractómetro), pureza (relación entre la sacarosa y el brix), azúcares reductores (glucosa y fructosa, calculados por diferencia entre el brix y el pol, o sacarosa), fibra y humedad (estos dos últimos medidos en la estufa). Se efectuó el Análisis de Varianza (ANOVA) para estudiar el efecto de las dosis de N en las características de calidad en este suelo moderadamente salino, sin tener en cuenta el testigo, ya que no tenía repeticiones. Esto se hizo para cada edad de cosecha. Asimismo, para conocer el efecto de la edad de la plantación al momento de cosechar en las características indicadas, cuando hubo diferencias estadísticas significativas se realizaron las pruebas de comparación múltiple de medias (LSD) y la de Tukey.

Para estudiar más profundamente el efecto de la edad de la plantación al momento de cosechar en la calidad, en función del N aplicado, además de las pruebas estadísticas indicadas se efectuó el ANOVA con diseño factorial. Los resultados de calidad se relacionaron con la salinidad a la plantación, promedio de los primeros 60 cm del suelo<sup>(40)</sup>, de cada una de las 105 parcelas; con las dosis de N, y con la edad de la caña. Debido a que la salinidad no fue una variable considerada dentro del diseño experimental,

lo que es muy difícil de lograr por la gran variabilidad que presenta la salinidad en condiciones de campo<sup>(19)</sup>, no se realizó el ANOVA para evaluar cómo actúa sobre el efecto de la fertilización nitrogenada en la calidad de la caña, si no que se trabajó con análisis de regresión lineal. No se consideró el aporte de las lluvias, porque la zona es hiperárida, habiendo una precipitación anual aproximada de 30 mm.

## Resultados y discusión

### Efecto de la fertilización nitrogenada en la calidad de la caña de azúcar, en las diferentes edades de la plantación al momento de cosechar

No se encontró ningún efecto en las características de la calidad de la caña de azúcar por las aplicaciones de nitrógeno, excepto en la humedad a la edad de 23,3 meses, como lo indica el ANOVA; a pesar de que las dosis más altas casi no se aplican en ninguna parte del mundo (Cuadro 1). En el análisis de regresión, se encuentra que la sacarosa varía con las diversas edades, pero que los coeficientes de determinación del efecto de la fertilización nitrogenada en la calidad de la caña son bajísimos. Esto se repite en todas las características de calidad, excepto en pureza a los 23,3 meses de edad y en fibra a los 20 meses de edad, donde los coeficientes de determinación son algo más elevados, pero siempre muy pequeños, lo que indica que no hay efecto de las variables en estudio.

El efecto de la edad de la plantación al momento de cosechar en la calidad de la caña de azúcar será analizado posteriormente, en un acápite específico. Se podría pensar que las dosis altas de nitrógeno no afectaron la calidad de la caña debido a las características salinas del suelo, pero estos resultados se han encontrado en el Perú para suelos «normales», no salinos<sup>(28)(41)</sup>, donde en varios experimentos no hubo dicho efecto. El que las dosis altas de N no contribuyan a disminuir la calidad de la caña se puede deber a que si bien a más N no se presenta un estrés por desnutrición y el cultivo no debería madurar, el distanciamiento entre los riegos y la consecuente disminución de la evapotranspiración producen los cambios bioquímicos que conducen a la maduración, teniendo un mayor efecto que el de la fertilización «en exceso».

De lo mencionado se deduce que independientemente de la salinidad del suelo, en suelos aluviales bajo riego, las dosis altas de nitrógeno no afectan las características de calidad de la caña de azúcar. Por otro lado, con

las dosis crecientes de N se obtiene en casi todos los experimentos realizados en el Perú una curva ascendente del rendimiento hasta un umbral que luego desciende<sup>(25)</sup>, la que se muestra igualmente en otras partes del

mundo<sup>(42)(43)(44)</sup>. Hasta cierta edad aumenta el rendimiento, disminuyendo posteriormente. El ascenso del rendimiento con el N se debe a una mejor nutrición, y el descenso con el exceso se debe a un desequilibrio nutricional que

**Cuadro 1.** Efecto de la fertilización nitrogenada en la calidad de la caña de azúcar en las diferentes edades de la plantación al momento de cosechar.

| Característica       | Edad       | ANOVA: p (n=20) | R <sup>2</sup> (n=21) | Ecuaciones de regresión |
|----------------------|------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|
| Sacarosa (%) en caña | 12,3 meses | 0,972           | 0,026                 | Y = 9,053+0,001X        |
|                      | 15,5 meses | 0,799           | 0,046                 | Y = 14,031-0,001X       |
|                      | 20 meses   | 0,947           | 0,031                 | Y = 12,326+0,001X       |
|                      | 23,3 meses | 0,119           | 0,075                 | Y = 11,468+0,001X       |
|                      | 26,5 meses | 0,586           | 0,036                 | Y = 14,356-0,001X       |
| Brix (%)             | 12,3 meses | 0,94            | 0,022                 | Y = 15,317+0,001X       |
|                      | 15,5 meses | 0,894           | 0,037                 | Y = 20,678-0,002X       |
|                      | 20 meses   | 0,953           | 0,025                 | Y = 18,895+0,001X       |
|                      | 23,3 meses | 0,086           | 0,014                 | Y = 18,715+0,001X       |
|                      | 26,5 meses | 0,61            | 0,013                 | Y = 21,317-0,001X       |
| Pureza (%)           | 12,3 meses | 0,898           | 0,04                  | Y = 65,674+0,003X       |
|                      | 15,5 meses | 0,649           | 0,028                 | Y = 79,045-0,002X       |
|                      | 20 meses   | 0,722           | 0,068                 | Y = 74,809+0,005X       |
|                      | 23,3 meses | 0,099           | 0,113                 | Y = 72,078+0,005X       |
|                      | 26,5 meses | 0,543           | 0,051                 | Y = 79,816-0,006X       |
| Reductores (%)       | 12,3 meses | 0,805           | 0,006                 | Y = 0,926+0,000X        |
|                      | 15,5 meses | 0,655           | 0,05                  | Y = 0,614+0,000X        |
|                      | 20 meses   | 0,935           | 0,033                 | Y = 0,558+0,000X        |
|                      | 23,3 meses | 0,787           | 0,018                 | Y = 0,794+0,000X        |
|                      | 26,5 meses | 0,176           | 0,03                  | Y = 0,462+0,000X        |
| Fibra (%)            | 12,3 meses | 0,754           | 0,048                 | Y = 10,142+0,002X       |
|                      | 15,5 meses | 0,836           | 0,011                 | Y = 14,087-0,001X       |
|                      | 20 meses   | 0,414           | 0,117                 | Y = 12,821+0,003X       |
|                      | 23,3 meses | 0,571           | 0,001                 | Y = 15,006+0,000X       |
|                      | 26,5 meses | 0,605           | 0,001                 | Y = 15,557+0,000X       |
| Humedad (%)          | 12,3 meses | 0,882           | 0,042                 | Y = 76,019-0,002X       |
|                      | 15,5 meses | 0,623           | 0,036                 | Y = 67,485+0,003X       |
|                      | 20 meses   | 0,761           | 0,057                 | Y = 70,557-0,003X       |
|                      | 23,3 meses | 0,036 *         | 0,002                 | Y = 68,844+0,000X       |
|                      | 26,5 meses | 0,585           | 0,009                 | Y = 66,375+0,001X       |

Y = Calidad; X = kg N ha<sup>-1</sup>. \* Diferencias significativas (p < 0,05).

**Cuadro 2.** Efecto de la salinidad en la calidad de la caña de azúcar en función del nitrógeno aplicado.

| Característica       | Dosis de N                | R <sup>2</sup> (n=20) | Ecuaciones de regresión |
|----------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Sacarosa (%) en caña | 0 kg N ha <sup>-1</sup>   | 0,04 (1)              | Y = 8,28+0,75X          |
|                      | 180 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,01                  | Y = 13,10-0,14X         |
|                      | 250 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,02                  | Y = 13,07-0,18X         |
|                      | 320 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,03                  | Y = 11,09+0,23X         |
|                      | 390 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,01                  | Y = 11,80+0,11X         |
|                      | 460 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,01                  | Y = 11,66+0,14X         |
| Brix (%)             | 0 kg N ha <sup>-1</sup>   | 0,07 (1)              | Y = 13,29+1,10X         |
|                      | 180 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,01                  | Y = 20,02-0,18X         |
|                      | 250 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,00                  | Y = 19,24-0,07X         |
|                      | 320 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,03                  | Y = 17,62+0,28X         |
|                      | 390 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,04                  | Y = 17,99+0,24X         |
|                      | 460 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,01                  | Y = 18,41+0,12X         |
| Pureza (%)           | 0 kg N ha <sup>-1</sup>   | 0,02 (1)              | Y = 67,79+1,13X         |
|                      | 180 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,00                  | Y = 76,40-0,25X         |
|                      | 250 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,08                  | Y = 78,41-0,86X         |
|                      | 320 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,01                  | Y = 72,56+0,39X         |
|                      | 390 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,00                  | Y = 74,54+0,00X         |
|                      | 460 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,01                  | Y = 73,36+0,35X         |
| Reductores (%)       | 0 kg N ha <sup>-1</sup>   | 0,35 (1)              | Y = 1,95-0,26X          |
|                      | 180 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,01                  | Y = 0,61+0,02X          |
|                      | 250 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,02                  | Y = 0,62+0,01X          |
|                      | 320 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,00                  | Y = 0,70-0,01X          |
|                      | 390 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,03                  | Y = 0,78-0,02X          |
|                      | 460 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,04                  | Y = 0,80-0,03X          |
| Fibra (%)            | 0 kg N ha <sup>-1</sup>   | 0,06 (1)              | Y = 9,64+0,72X          |
|                      | 180 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,02                  | Y = 14,87-0,21X         |
|                      | 250 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,00                  | Y = 13,79-0,03X         |
|                      | 320 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,00                  | Y = 13,67+0,01X         |
|                      | 390 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,04                  | Y = 12,67+0,24X         |
|                      | 460 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,00                  | Y = 13,24+0,03X         |
| Humedad (%)          | 0 kg N ha <sup>-1</sup>   | 0,08 (1)              | Y = 78,35-1,61X         |
|                      | 180 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,00                  | Y = 69,46+0,05X         |
|                      | 250 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,01                  | Y = 68,72+0,21X         |
|                      | 320 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,01                  | Y = 70,55-0,17X         |
|                      | 390 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,04                  | Y = 71,58-0,40X         |
|                      | 460 kg N ha <sup>-1</sup> | 0,00                  | Y = 70,07-0,07X         |

Y = Calidad; X = Salinidad (CE: dS m<sup>-1</sup>). (1) n = 5.

conlleva a la muerte de los tallos por competencia entre ellos. Con mayor edad, pasado el umbral, los tallos se mueren más en las cañas con poco N («desnutridas») y más en las que tienen mucho (desequilibrio nutricional). En las cañas desarrolladas bajo riego, más N no necesariamente significa desmedro de la calidad.

### **Efecto de la salinidad en la calidad de la caña, en función del nitrógeno aplicado**

Según los análisis de regresión, la salinidad no afecta ninguna característica de calidad de la caña, en ninguna dosis de aplicación del fertilizante (Cuadro 2). Los coeficientes de determinación son bajísimos, excepto 0,35 para reductores a 0 kg ha<sup>-1</sup> de N, el que es igualmente muy bajo, por lo que no hay efecto de la variable en estudio; lo que indicaría que, bajo riego, la calidad de la caña del cultivar H32-8560 no se afecta fácilmente, ni por las dosis de nitrógeno<sup>(28)</sup> ni, en este caso, por la salinidad del suelo; contrariamente a lo que sucede en otras partes del mundo, como se vio anteriormente. Estos resultados refuerzan lo anteriormente indicado sobre el efecto del N en la calidad, y sugieren que a pesar de que el efecto primordial de las sales es la disminución en la absorción del agua, el mismo, cuando la salinidad no es excesiva, no altera la calidad de la caña de azúcar, independientemente de si las dosis de N son altas o no.

### **Efecto de la salinidad en la calidad de la caña, en función de la edad de la plantación al momento de cosechar**

No se encontraron relaciones significativas entre la calidad de la caña y la salinidad del suelo cuando se discriminaron las diversas edades (Cuadro 3), excepto para la edad de 20 meses. Es decir que a esa edad, cuantas más sales haya en el suelo, menor es la calidad de la caña, disminuyendo la sacarosa, el brix y la pureza, y aumentando la humedad, en coincidencia con lo que sucede en otros países, y con Valdivia y otros<sup>(41)</sup> para suelos no salinos en el Perú; y con una disminución de la fibra, pero por otro lado, con una mejora de la calidad, ya que también disminuyen los azúcares reductores.

Contradictoriamente, a los 15,5 meses, la sacarosa y el brix aumentan significativamente (en forma importante) con la salinidad, y a los 26,5 meses la sacarosa y la pureza disminuyen significativamente con la salinidad. Estas contradicciones no tienen explicación en la literatura científica, ratificando que el estudio de la salinidad en el

campo tiene muchos problemas, ya que podía ser una coincidencia que a las edades mencionadas, que en realidad son lotes cañeros («cuarteles») independientes en el campo, las mejores calidades hayan coincidido con las menores salinidades (o viceversa). Por otro lado, aunque sea significativa la R<sup>2</sup> (cuando lo es), el modelo explica solamente el 45 % de los casos, o el 28, 22 o 19 %, por lo que en realidad indica que no hay relación alguna.

### **Efecto de la edad de la plantación al momento de cosechar en la calidad de la caña de azúcar, en función del nitrógeno aplicado**

El efecto en la calidad por cada edad de la plantación al momento de cosechar en función de las dosis de N se analizó anteriormente (Cuadro 1), pero se hace necesario puntualizar el efecto en la calidad por cada dosis de N a las diferentes edades de la plantación al momento de cosechar, habiéndose encontrado que existen diferencias estadísticas altamente significativas en todas las características de calidad entre las edades, en todas las dosis de N aplicadas, como lo indica el ANOVA. Para la sacarosa la prueba LSD muestra diferencias entre las edades 26,5 y 15,5 con la de 12,3 meses en todas las dosis aplicadas. Las otras edades a veces muestran diferencia entre ellas, o con las dos primeras mencionadas, pero siempre con la de 12,3 meses; la prueba de Tukey indica diferencias entre todas las edades con la de 12,3 meses, en todas las dosis de N aplicadas. Igualmente no hay diferencias entre las edades 26,5 y 15,5; asimismo, las otras edades a veces muestran diferencias entre ellas, o con las dos antes mencionadas. Para los grados brix la prueba LSD muestra resultados similares a los de la sacarosa; la prueba de Tukey muestra el mismo comportamiento para los 12,3 meses, pero se presentan diferencias entre las edades 26,5 y 15,5 a las dosis de 180 y 460 kg ha<sup>-1</sup> de N; las otras edades muestran comportamientos similares a los de la sacarosa.

Para la pureza la prueba LSD muestra resultados similares a los ya indicados; y la Prueba de Tukey similares a los de la sacarosa. Para los reductores, la prueba LSD muestra resultados similares a los ya indicados, pero los datos mayores son a los 12,3 meses, lo que es normal. La prueba de Tukey indica resultados similares a los de los grados brix, pero en este caso no hay diferencias entre 26,5 y 15,5 a la dosis de 460 kg ha<sup>-1</sup> de N. Para la fibra, la prueba LSD muestra resultados similares a los que indica dicha prueba en la característica de calidad

**Cuadro 3.** Efecto de la salinidad en la calidad de la caña de azúcar en función de la edad de la plantación al momento de cosechar.

| Característica       | Edad       | R <sup>2</sup> (n=21) | Ecuaciones de regresión |
|----------------------|------------|-----------------------|-------------------------|
| Sacarosa (%) en caña | 12,3 meses | 0,02                  | Y = 8,83+0,12X          |
|                      | 15,5 meses | 0,45 **               | Y = 12,04+0,30X         |
|                      | 20 meses   | 0,28 *                | Y = 14,45-0,35X         |
|                      | 23,3 meses | 0,05                  | Y = 12,25-0,08X         |
|                      | 26,5 meses | 0,19 *                | Y = 15,27-0,32X         |
| Brix (%)             | 12,3 meses | 0,01                  | Y = 15,21+0,10X         |
|                      | 15,5 meses | 0,45 **               | Y = 18,03+0,41X         |
|                      | 20 meses   | 0,22 *                | Y = 21,11-0,36X         |
|                      | 23,3 meses | 0,01                  | Y = 19,18-0,05X         |
|                      | 26,5 meses | 0,16                  | Y = 22,18-0,26X         |
| Pureza (%)           | 12,3 meses | 0,01                  | Y = 65,38+0,31X         |
|                      | 15,5 meses | 0,04                  | Y = 77,61+0,16X         |
|                      | 20 meses   | 0,28 *                | Y = 80,87-0,91X         |
|                      | 23,3 meses | 0,09                  | Y = 75,41-0,35X         |
|                      | 26,5 meses | 0,19 *                | Y = 82,60-1,08X         |
| Reductores (%)       | 12,3 meses | 0,13                  | Y = 1,17-0,05X          |
|                      | 15,5 meses | 0,15                  | Y = 0,53+0,01X          |
|                      | 20 meses   | 0,28 *                | Y = 0,76-0,03X          |
|                      | 23,3 meses | 0,02                  | Y = 0,81-0,01X          |
|                      | 26,5 meses | 0,05                  | Y = 0,43+0,02X          |
| Fibra (%)            | 12,3 meses | 0,01                  | Y = 11,21-0,13X         |
|                      | 15,5 meses | 0,00                  | Y = 13,88+0,01X         |
|                      | 20 meses   | 0,28 *                | Y = 15,49-0,37X         |
|                      | 23,3 meses | 0,02                  | Y = 15,30-0,06X         |
|                      | 26,5 meses | 0,14                  | Y = 16,52-0,25X         |
| Humedad (%)          | 12,3 meses | 0,00                  | Y = 75,22+0,02X         |
|                      | 15,5 meses | 0,05                  | Y = 69,51-0,22X         |
|                      | 20 meses   | 0,28 *                | Y = 66,57+0,61X         |
|                      | 23,3 meses | 0,09                  | Y = 67,58+0,21X         |
|                      | 26,5 meses | 0,18                  | Y = 64,83+0,44X         |

Y = Calidad; X = Salinidad (CE: dS m<sup>-1</sup>). \* Correlación significativa (p < 0,05); \*\* Correlación altamente significativa (p < 0,01).

descrita; la prueba de Tukey muestra que la edad 12,3 meses tiene diferencias con el resto; pero hay siempre diferencias entre 26,5 y 15,5 en todas las dosis de N aplicadas.

Para la humedad la prueba LSD muestra resultados similares a los de los reductores; y la prueba de Tukey presenta resultados similares a los de los reductores. Estos resultados se aprecian mejor cuando se relaciona la calidad de la caña con las diversas edades, discrimi-

nando las dosis de N aplicadas; y se encuentran regresiones polinómicas de cuarto grado con coeficientes de determinación muy altos, en todos los casos, sin excepción (Figura 1). En el caso del testigo (0 kg ha<sup>-1</sup> de N) las curvas tienen comportamiento similar, y debido a que se trata de solamente cinco datos, el R<sup>2</sup> es 1, es decir que la curva pasa por todos los puntos, lo que no sucede si las ecuaciones son lineales o polinómicas de segundo o tercer grado.

Las figuras están saturadas y no permiten identificar diferencias, debido a que no existen entre las dosis de N

como lo muestra el ANOVA de dos factores con varias muestras por grupo, ni en la interacción meses por edad, aunque sí entre las edades; en todas las características de calidad. Algunas curvas se diferencian algo del resto, como la de fibra a los 20 meses y con 390 kg ha<sup>-1</sup> de N, y la de la humedad, donde no es tan elevado el segundo pico, pero siempre la regresión es muy alta.

Estos resultados coinciden con los de Valdivia Vega<sup>(29)</sup> para caña planta en un suelo no salino, y con los de Valdivia Vega y otros<sup>(28)</sup> para otros dos campos (en suelos no salinos) en caña soca, aunque no para el campo en

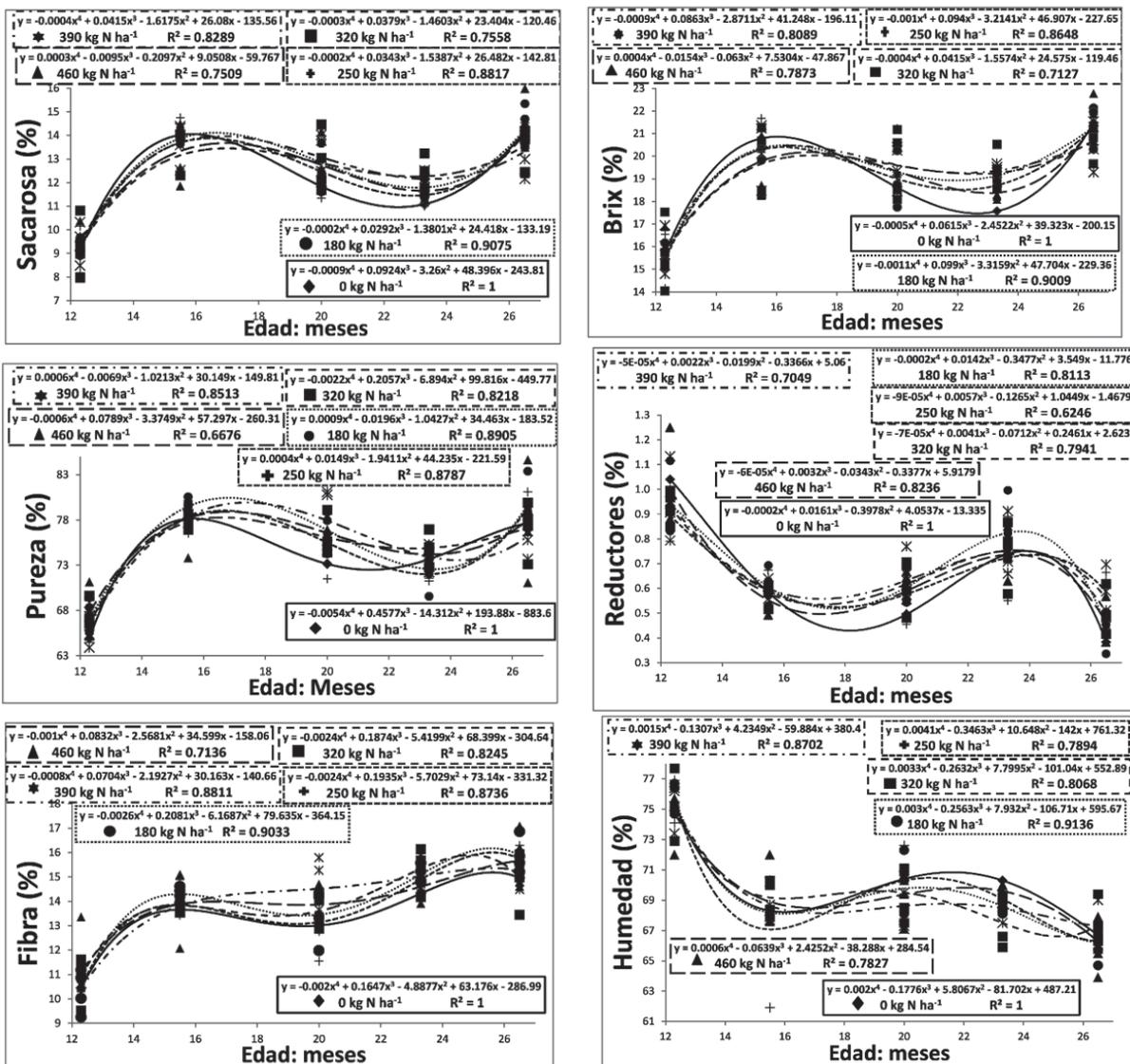


Figura 1. Regresiones polinómicas entre la calidad de la caña con la edad de la plantación al momento de cosechar, por dosis de N.

caña planta de este último experimento. Dichos autores explican el aumento de la calidad de la caña con la edad por factores meteorológicos (disminución de la evapotranspiración potencial) y fisiológicos (edad y evapotranspiración acumulada), y el posterior descenso por la presencia de brotes tardíos (vástagos o mamones) que evidentemente son tallos jóvenes inmaduros. Explican el subsiguiente ascenso por la maduración de estos últimos; lo que se nota claramente, ya que cuando suben la sacarosa, el brix y la pureza, disminuyen los reductores y la humedad, presentando la fibra un comportamiento algo desfasado, como es lógico. Cuando se desarrollan los mamones, sucede lo contrario.

Los resultados del presente experimento indican que lo anteriormente afirmado se cumple también en este caso en suelos ligeramente salinos, y que la calidad de la caña con la edad se ve afectada poco por factores como la fertilización, la salinidad o la falta de agua. Si bien la falta de agua no es un factor de estudio directo, lo es en forma deductiva, ya que todas las edades tuvieron el mismo tiempo de agoste, y si la falta de agua por el mismo hubiera influenciado la calidad, esta hubiera sido horizontal con el tiempo, no sinuosa como se aprecia en las figuras, ya que el tiempo de agoste es similar, de la misma cantidad de días sin agua. Es decir, se hubiera producido la misma calidad en todas las edades de cosecha.

Además, la salinidad afecta los cultivos primordialmente porque impide la absorción del agua por los mismos<sup>(45)</sup>; o sea que produce un déficit de agua en el cultivo, y a más salinidad en el suelo, menos se absorbe por la planta, y en este caso no afecta la calidad. Con la edad, la caña madura inducida por una disminución de la evapotranspiración, en este caso por distanciamiento entre los riegos; y posteriormente decrece por el brote de los mamones, aumentando luego por la maduración de los mismos.

## Conclusiones

Las aplicaciones de dosis elevadas de N no afectan la calidad de la caña en este suelo moderadamente salino. La salinidad moderada del suelo antes de la plantación no está relacionada con ninguna característica de calidad de la caña: sacarosa, brix, pureza, reductores, fibra y humedad. La calidad de la caña del cultivar H32-8560 no se afecta, ni por las dosis de nitrógeno, ni por la salinidad moderada del suelo. La calidad de la caña varía con la edad de la plantación al momento de cosechar, en este suelo moderadamente salino, presentando comporta-

miento similar al de suelos no salinos. La falta de agua en el suelo no afecta la maduración de la caña.

## Contribución de los autores

PCJ: concepción, diseño del experimento, supervisión, análisis estadístico, Interpretación de resultados, revisión de literatura, redacción.

VSS: procesamiento estadístico, análisis estadístico, interpretación de resultados, revisión de literatura.

VVS: concepción, diseño del experimento, conducción, análisis de laboratorio, interpretación de resultados, revisión de literatura, corrección de redacción.

## Bibliografía

- 1) Fogliata FA, Aso PJ. Efectos de las sales solubles del suelo sobre el rendimiento sacarino de la caña de azúcar. Tucumán: Estación Experimental Agrícola de Tucumán; 1964. 15 p. (Boletín; N° 97).
- 2) Robinson FE, Worker GF. Growth of sugarcane in areas irrigated with Colorado River water. *Calif Agric.* 1965;19(8):2-3.
- 3) Shoji K, Sund K. Drainage and salinity investigation at the Haft Tappeh sugar cane project, Iran. In: Bagué J, editor. 12th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists; 1965 Mar 28– Apr 10; San Juan, Puerto Rico. Amsterdam: Elsevier; 1965. p. 90–5.
- 4) Bernstein L, Clark RA, Francois LE, Derderian MD. Salt tolerance of NCo varieties of sugar cane: II. Effects of soil salinity and sprinkling on chemical composition. *Agron J.* 1966;58(5):503–7.
- 5) Liu LJ. Salinity effects on sugarcane germination, growth, and root development. *J Agr U Puerto Rico.* 1967;51:201-9
- 6) Mehrad B. Effect of soil salinity on sugarcane cultivation at Haft Tappeh, Iran. In: Liu K-C, editor. 13th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist; 1968 Mar 2-17; Taipei, Taiwan. Amsterdam: Elsevier; 1969. p. 746-55.
- 7) Syed MM, El-Swaify SA. Effect of saline water irrigation on N.Co. 310 and H50-7209 cultivars of sugar-cane. 1 – Growth parameters. *Tropical Agriculture.* 1972;49(4):337–446.
- 8) Sund K, Clements H. Production of Sugarcane Under Saline Desert Conditions in Iran. [Honolulu]: Hawaii Agricultural Experiment Station; 1974. 64p. (Research Bulletin; 160).
- 9) Karpe A, Nikam AA, Chimote KP, Kalwade SB, Kwar PG, Babu H, Devarumath RM, Suprasanna P. Differential responses to salinity stress of two varieties (CoC 671 and Co 86032) of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Afr J Biotechnol.* 2012;11(37):9028–35.
- 10) Sengar K, Sengar RS, Singh A. Biotechnological and genomic analysis for salinity tolerance in sugarcane. *Int J Biotechnol Bioeng Res.* 2013;4(5):407–14.

- 11) Gomathi R, Thandapani P. Influence of salinity stress on growth parameters and yield of sugarcane. *IOSR J Pharm Biol Sci.* 2014;9(3):28–32.
- 12) Pinna Cabrejos J. Dificultades en la evaluación de suelos salinos y/o sódicos en el cultivo de caña de azúcar. *Azúcar Peruana.* 1974;2(3):14-23.
- 13) Valdivia Vega S, Pinna Cabrejos J. A theoretical salt effect limit for sugarcane considering soil physical properties. In: Dick J, Collingwood DJ, editors. 15th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist; 1974 Jun 13-29; Durban, Sud África. Durban: Hayne and Gibson; 1974. p. 736-42.
- 14) Valdivia Vega S. Effect of water table depth on critical sugarcane salt concentration level. In: Brion Lopez M, Madrazo CM, editors. 17th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist; 1980 Feb 1–11; Manila, Filipinas. Filipinas: Metro Manila; 1980. p. 209–19.
- 15) Valdivia Vega S, Pinna Cabrejos J. Salinity effect in sugarcane response to nitrogen fertilization. In: Brion Lopez M, Madrazo CM, editors. 17th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist; 1980 Feb 1–11; Manila, Filipinas. Filipinas: Metro Manila; 1980. p. 421-31.
- 16) Pinna Cabrejos J, Valdivia Salazar S, Valdivia Vega S. Nitrogen fertilization and harvesting age effect on sugarcane thresholds for soil salinity. In: Allsopp P, editor. 29th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists; 2016 Dec 5-8; Chiang Mai, Thailand. [place unknown]: [publisher unknown]; 2016. p. 1063-7.
- 17) Lingle SE, Wiegand CL. Soil salinity and sugar juice quality. *Field Crops Res.* 1997;54(2-3):259-68.
- 18) Wahid A. Analysis of toxic and osmotic effects of sodium chloride on leaf growth and economic yield of sugarcane. *Bot Bull Acad Sin.* 2004;45:133–41.
- 19) Kingston G, Anink MC. Use of in-field measurements to refine salinity-tolerance thresholds for cultivars of sugarcane. In: Hogarth DM, editor. The XXV ISSCT congress organizing committee. 25th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist; 2005 Jan 30 – Feb 4; Ciudad de Guatemala, Guatemala. Ciudad de Guatemala: Palacios; 2005. p. 147-53.
- 20) Golabi M, Naseri AA, Kashkuli HA. Mathematical modeling of the relationship between irrigation water salinity and sugarcane juice quality. *J Food Agric Environ.* 2009;(3-4):600–2.
- 21) Ashraf M, Afzal M, Ahmad R, Maqsood MA, Shahzad SM, Tahir MA, Akhtar N, Aziz A. Growth response of the salt-sensitive and the salt-tolerance sugarcane genotypes to potassium nutrition under saline stress. *Arch Agron Soil Sci.* 2012;58(4):385–98.
- 22) Watanabe W, Takaragawa H, Nakaburu M, Taira E, Ueno M, Kawamitsu Y. Effects of different kinds of K<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> salts on sugarcane growth, quality and ion composition. In: Allsopp P, editor. 29th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists; 2016 Dec 5-8; Chiang Mai, Thailand. [place unknown]: [publisher unknown]; 2016. p. 1016-9.
- 23) FAO. Evaluación y control de degradación de tierras en zonas áridas de América Latina. Roma: FAO; 1973. 436 p. (Boletín Latino Americano sobre Fomento de Tierras y Aguas; 6).
- 24) Valdivia Vega S, Tello H. Efecto del abonamiento NP en el rendimiento y calidad de la caña de azúcar. *Saccharum.* 1974;2(2):55-69.
- 25) Valdivia Vega S. Nitrogen gains and losses in sugarcane (*Saccharum sp.*) agro – ecosystems on the coast of Peru. *Plant Soil.* 1982;67:147–56.
- 26) Tello H, Saldarriaga S. Respuesta del cultivar de caña H32-8560 a la aplicación de dosis ascendentes de nitrógeno. *Saccharum.* 1974;2(2):30–54.
- 27) Saldarriaga S, Tello H, Aspillaga J. Influence of nitrogen on optimum yields of recoverable sugar for sugarcane harvested at different ages. In: Reis FS, editor. 16th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist; 1977 Sep 9-25; Sao Paulo, Brazil. Sao Paulo: Impres; 1978. p.1315-24.
- 28) Valdivia Vega S, Tello H, Angulo E, Pinna Cabrejos J. Influencia de la evapotranspiración potencial de la caña de azúcar en la acumulación de sacarosa y otras características de calidad. *Saccharum.* 1976;4(2):43–62.
- 29) Valdivia Vega S. Influencia de la edad de la caña de azúcar en la acumulación de sacarosa y elementos minerales. *Saccharum.* 1974;3(1):74–89.
- 30) Sund KA. The influence of cold weather on the cultivation and harvest of sugarcane at Haft Tappeh, Iran. In: Liu K-C, editor. 13th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist; 1968 Mar 2-17; Taipei, Taiwan. Amsterdam: Elsevier; 1969. p. 608-14.
- 31) Humbert RP, Zamora M, Fraser TB. Ripening and maturity control progress at Ingenio Los Mochis, Mexico. In: Bagué J, editor. 12th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist; 1965 Mar 28 - Apr 10; San Juan, Puerto Rico. Amsterdam: Elsevier; 1965. p. 446-52.
- 32) Alexander AC. *Sugarcane Physiology.* Amsterdam: Elsevier; 1973. 752 p.
- 33) Hudson JC. Available soil water and sugarcane growth and transpiration. In: Liu K-C, editor. 13th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist; 1968 May 2-17; Taipei, Taiwan. Amsterdam: Elsevier; 1969. p. 484-98.
- 34) Isobe M. Water utilization. II Yield-water relationship. In: Liu K-C, editor. 13th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist; 1968 May 2-17; Taipei, Taiwan. Amsterdam: Elsevier; 1969. p. 49-54.
- 35) Fogliata FA. Sugarcane irrigation in Tucuman. In: Dick J, Collingwood DJ, editors. 15th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist; 1974 Jun 13-29; Durban, Sud África. Durban: Hayne and Gibson; 1974. p. 655-67.
- 36) UNESCO. Un nuevo mapa de la distribución mundial de las regiones áridas. *La Naturaleza y sus Recursos.* 1977;13(3): 2–3.

- 37) Tosi J. Zonas de vida natural en el Perú: Memoria explicativa sobre el mapa ecológico del Perú. Lima: IICA; 1960. 271 p. (Boletín Técnico; 5).
- 38) Luzio W, Maldonado F, Rosales A, Scoppa C, Van Wamkeke A. Taxonomía de Suelos: Un sistema básico de clasificación de suelos para hacer e interpretar reconocimiento de suelos. Ithaca: Cornell University; 1982. 252 p.
- 39) Porta J, López Acevedo M, Roquero C. Edafología. Madrid. Mundi Prensa; 2003. 929 p.
- 40) Valdivia Vega S, Pinna Cabrejos J, Valdivia Salazar S. Selección de la capa salina del suelo que mejor se correlaciona con el rendimiento de azúcar recuperable de la caña de azúcar. *Agrociencia Uruguay*. 2016; 20(1):17-23.
- 41) Valdivia Vega S, Pinna Cabrejos J, Tello H. Efecto de la aplicación tardía del nitrógeno en el cultivar de caña 'H32-8560': III. Acción de la misma con relación a la aplicación temprana, en la calidad y nutrimentos en la planta. *Turrialba*. 1980;30(1):3-8.
- 42) Shomeili M, Bahrani MJ. Effect of irrigation and nitrogen on sugarcane yield, water use efficiency, soil moisture depletion and nitrogen uptake in Iran. In: Hogarth DM, editor. 28th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists; 2013 Jun 24–27; Sao Paulo, Brazil. Brisbane (AU): Scribe Consulting; 2013. p. 526–35.
- 43) Castro SGQ, Franco HCJ, Sanches GM, Kolln OT, Magalhaes PSG. The best time to apply N-fertilizer in sugarcane ratoons in the Centre South of Brazil. In: Allsopp P, editor. 29th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists; 2016 Dec 5-8; Chiang Mai, Thailand. [place unknown]: [publisher unknown]; 2016. p. 601-9.
- 44) Muñoz F, Villegas F, Moreno C, Posada C. Use of cowpea (*Vigna unguiculata*) as a green manure and its effect on nitrogen (N) requirement and productivity of sugarcane. In: Allsopp P, editor. 29th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists; 2016 Dec 5-8; Chiang Mai, Thailand. [place unknown]: [publisher unknown]; 2016. p. 1057-62.
- 45) Kramer PJ. Relaciones hídricas de suelos y plantas. México: Edutex; 1974. 538 p.