

Recibido 27 de marzo de 2019 // Aceptado 11 de noviembre de 2020 // Publicado online 05 de mayo de 2021

Dinámica del nitrógeno en un suelo aluvial salino, cultivado con remolacha azucarera

VALDIVIA VEGA, S.¹; PINNA CABREJOS, J.¹; VALDIVIA SALAZAR, S.²

RESUMEN

En el presente experimento fueron evaluados cinco cultivares monogermen de remolacha azucarera, en la costa árida del norte del Perú. Se trabajó en un suelo aluvial (Entisols) altamente salino (5,38 a 22,5 dS m⁻¹) de la empresa azucarera Casa Grande con el fin de estudiar el comportamiento de la remolacha azucarera en dicho suelo, donde normalmente no prospera ningún cultivo. El experimento se hizo en bloques completos al azar, con cinco tratamientos y 20 repeticiones. El campo se regó con agua de pozo y se fertilizó con urea (180 kg ha⁻¹ de N). Realizado el balance entre las ganancias y pérdidas de N, se encontró que se incorporan al suelo 421 kg ha⁻¹ de N y que se pierden de este 374 kg ha⁻¹ de N, habiendo superado las ganancias a las pérdidas en 47 kg ha⁻¹ de N. Además se encontró que en estos suelos marginales, altamente salinos, la remolacha azucarera produce altos rendimientos (81,69 t ha⁻¹) de raíces para la producción de azúcar o alcohol y altos rendimientos de hojas más coronas (40,77 t ha⁻¹) para alimentación del ganado.

Palabras clave: remolacha azucarera, nitrógeno, suelo salino.

ABSTRACT

In this experiment five sugar beet mono-germ cultivars were evaluated in Peruvian arid northern coast. Work was made in Alluvial soils (Entisols) highly saline (5.38 to 22.5 dS m⁻¹), located at sugar cane Casa Grande enterprise where normally not a single crop develops. Experiment was done in a blocks complete randomized design with five treatments and 20 replications. Irrigation was with well water, and fertilization was with urea (180 kg ha⁻¹ of N). N gains and loses balance shows that 421 kg ha⁻¹ of N are incorporated to soil and 374 kg ha⁻¹ of N are lost. Gains wins to lost in 47 kg ha⁻¹ of N. Furthermore it was found that in these marginal soils, highly saline, sugar beets produce high root yields (81.69 t ha⁻¹) for sugar o alcohol production and high leaf and crowns yields (40.77 t ha⁻¹) for livestock aliment.

Keywords: sugar beet, nitrogen, saline soil.

¹Universidad Privada Antenor Orrego (UPAO), Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Ingeniería Agrónoma. Av. América Sur 3145, Monserrate, Trujillo, Perú. Correo electrónico: svaldiviav@upao.edu.pe

²Universidad Privada Antenor Orrego (UPAO), Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Ingeniería Agrónoma. Av. América Sur 3145, Monserrate, Trujillo, Perú. Correo electrónico: jorge.pinnacabrejos@gmail.com.

³Agrolab, Asesor Agronómico. Correo electrónico: sergio_valdivia@hotmail.com.

INTRODUCCIÓN

La remolacha azucarera es una planta bianual adaptada a zonas de fotoperiodo largo (Barceló *et al.*, 2001), su raíz pivotante almacena altas concentraciones de sacarosa, superiores a 18% de su peso fresco (Fick *et al.*, 1983). Además, presenta raíces fibrosas laterales que penetran hasta un metro de profundidad (Gregory, 1992), aunque Fick *et al.* (1983) han encontrado que pueden profundizar hasta más de dos metros en condiciones favorables.

En los valles irrigados de la costa árida del Perú se ha encontrado que más del 30% están afectados por la salinidad o mal drenaje (Masson, 1973). En estas zonas, altamente salinas, se ha demostrado que la remolacha azucarera prospera muy bien (Larsen, 1980; Flores, 1981; Valdivia *et al.*, 2001; Reynoso *et al.*, 2001; Valdivia *et al.*, 2010a; Valdivia *et al.*, 2010b; Valdivia *et al.*, 2016). En otros países se han encontrado resultados similares (U.S. Salinity Laboratory, 1954; Kaffka y Hembree, 2004; Wakeel *et al.*, 2010). Además, esta sería una magnífica planta colonizadora de los terrenos salinos debido a su gran avidez por las sales (principalmente K y Na), habiéndose encontrado que el cultivar poligermen Tribel extrae 1604 kg ha⁻¹ de las sales K, Na, Mg, y Ca (Valdivia *et al.*, 2016). Adicionalmente, de su utilización en la producción de azúcar, sus raíces pueden utilizarse para la producción de alcohol, y las hojas con coronas constituyen un magnífico forraje. Debido a lo mencionado, es importante el conocimiento de su manejo agronómico, destacando su manejo nutricional.

Uno de los objetivos del presente experimento fue conocer la dinámica del N en el suelo y en la planta, con el fin de encontrar las necesidades de este nutriente por la remolacha azucarera.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente experimento estuvo ubicado en el campo salino (varió de 5,38 a 22,5 dS m⁻¹) La Grama, de la empresa agroindustrial Casa Grande, en la costa árida del norte del Perú (Valle del río Chicama).

En este campo se sembraron los siguientes cultivares monogermen de remolacha azucarera:

1. Mono Hy6 de EUA
2. Mono 3190 de Suecia
3. Mono HyD2 de EUA

4. Híbrido HH30 de EUA

5. Mono 4006 de Suecia

Estos cultivares se sembraron siguiendo el diseño de bloques completos al azar, empleándose 20 repeticiones de cada cultivar; con la finalidad principal de relacionar su producción con la salinidad del suelo, lo cual ya fue publicado (Valdivia *et al.*, 2001). Las parcelas (100) fueron de 32 m² (20 x 1,6 m) evaluándose únicamente los dos surcos centrales 16 m²). De cada una de las parcelas se tomaron muestras de suelos para los análisis químicos (tabla 1).

La costa del Perú está clasificada como una región hiperárida (UNESCO, 1977) y como un desierto subtropical según la clasificación de Holdridge (Tosi, 1960). Esta zona se caracteriza por tener una precipitación anual generalmente menor de 25 mm, con una temperatura media promedio de 20,2 °C (entre 15 y 26 °C), humedad relativa promedio de 82,5% (entre 74 y 90%) y una evaporación diaria promedio de 4,5 mm.

Según la clasificación "Soil Taxonomy" el suelo bajo estudio pertenece al Orden Entisols (Luzio *et al.*, 1982). Según la clasificación FAO el suelo es un Fluvisols (Porta *et al.*, 2003). Para el riego de las parcelas experimentales se utilizó agua de pozo, empleándose la irrigación superficial por surcos y aplicándose 10 riegos con un volumen total de 5 685 m³ ha⁻¹. Para poder conocer la cantidad de N incorporada al suelo por el agua de riego, se tomaron tres muestras de agua (en diferentes periodos) donde se realizó el análisis químico completo; habiéndose determinado colorimétricamente los nitratos utilizando Brucina y el amonio utilizando el reactivo de Nessler.

Para poder conocer la cantidad de N extraído del suelo por las plantas, se obtuvo la biomasa subterránea (raíces) y la biomasa aérea (hojas más coronas) de solo seis repeticiones, habiéndose determinado en ambas su porcentaje de humedad y el porcentaje de N por el método semimicro Kjeldahl. La única fuente de nutrientes aplicada al suelo en forma de fertilizantes fue la urea, habiéndose incorporado 180 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Las plantas fueron cosechadas a los 186 días.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se presentan los rendimientos en t ha⁻¹ de la biomasa fresca y seca de raíces y de hojas más coronas. Se puede observar que la biomasa subterránea es mucho mayor que la aérea. Por el contrario, la concentración de N en hojas más coronas es mucho mayor que en las raíces. Además, la extracción de N del suelo por las raíces es ma-

Saturac. (%)	pH (pasta)	CE e (dS m ⁻¹)	M.O. (%)	N	P	Cationes cambiabiles mg 100 g ⁻¹			
				TOTAL (%)	DISP. kg ha ⁻¹	Ca	Mg	K	Na
50,3	7,9	11,66	3,08	0,161	79,4	563	166	112	174

Tabla 1. Resultados promedio (muestras compuestas) de 100 análisis de suelos de las parcelas experimentales, en la capa de 0 a 60 cm de profundidad.

yor que por las hojas más coronas, lo cual se debe a que el rendimiento de raíces fue mayor que el de hoja más coronas y a que además, estas últimas tienen mayor humedad que las raíces. También se puede observar que el cultivar Híbrido HH30 fue el de mayor rendimiento de raíces, y el cultivar Mono Hy6 el de menor rendimiento. Con relación al rendimiento de las hojas más coronas el cultivar Mono HyD2 tuvo el mayor rendimiento y el cultivar Mono 4006 el de menor rendimiento.

Finalmente, se aprecia que la extracción promedio de N por las raíces fue 230 kg ha^{-1} , y por las hojas más coronas 144 kg ha^{-1} , lo cual representa extracciones similares a las obtenidas con cinco cultivares poligermen de remolacha azucarera (Valdivia *et al.*, 2010a).

Principales ganancias de nitrógeno por el suelo

- Cantidad inicial de N inorgánico en los 60 cm superficiales del suelo

Brady (1990) indicó que la cantidad de N fácilmente disponible es pocas veces mayor del 1 al 2% del N total del suelo, y Navarro y Navarro (2000) mencionan que el N disponible ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$) constituye frecuentemente menos del 2% del N total del suelo. Resultados encontrados en los análisis químicos de 100 parcelas experimentales (tabla 1) muestra que el contenido de N total del suelo fue 0,161%, lo cual equivale a $13\,331 \text{ kg ha}^{-1}$ de nitrógeno total. Estudios realizados en suelos aluviales de la costa árida del Perú encontraron que solo el 1,2% del N total se encuentra en forma mineral (Valdivia, 1982). Si se considera que la densidad aparente del suelo fue de $1,38 \text{ g cm}^{-3}$, se obtuvo que la cantidad inicial de N disponible en los 60 cm superficiales del suelo fue de 160 kg ha^{-1} .

- Cantidad de N que se mineraliza del N orgánico del suelo

Durante los seis meses del cultivo de la remolacha azucarera, parte del N orgánico va a ser mineralizado y puesto a disposición de las plantas. Según Gros

(1967), en suelos calcáreos la mineralización de la materia orgánica es de 0,8 a 1,2% anual. Adicionalmente, Fassbender y Bornemisza (1994) encontraron en clima templado, que entre 1 al 2% del N total es mineralizado por año. Asumiendo una mineralización de 1,2% y considerando que la remolacha azucarera solo permanece seis meses en el campo, se encontró que el aporte de N por la mineralización del N orgánico del suelo fue de 80 kg ha^{-1} en la capa de 0-60 cm de profundidad.

- Entradas de N al suelo, por las aguas de riego

En la costa árida del Perú, la precipitación pluvial es prácticamente nula, por consiguiente, el N incorporado al suelo, provino del agua de pozo con la cual se regó el experimento. Según el volumen de agua aplicada ($5\,685 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y la riqueza en nitrato ($0,65 \text{ mg L}^{-1}$), se encontró un aporte de N al suelo de aproximadamente 1 kg ha^{-1} .

- Aplicación de N al suelo por fertilizantes

Según los requerimientos de N, para una alta producción de remolacha azucarera, se aplicó al campo una dosis de 180 kg ha^{-1} .

- Otras entradas de N al suelo

Las ganancias de N por fijación biológica son desconocidas.

Principales pérdidas de nitrógeno del suelo

- Extracción del N del suelo por las hojas más coronas

Se encontró que las hojas más coronas extraen 144 kg ha^{-1} de nitrógeno (tabla 2), cantidad similar a la descrita por Ciampitti y García (2007) quienes indican que la parte aérea de la remolacha azucarera extrae 2 kg ha^{-1} de N por tonelada producida, lo que hacen en este caso 163 kg ha^{-1} de N.

- Extracción del N del suelo por las raíces

Se encontró que la extracción de nitrógeno por las raíces fue de 230 kg ha^{-1} (figura 1), lo que es similar a

Cultivares	Rendimiento t ha^{-1}		% de N		N extraído kg ha^{-1}		Extracción total kg ha^{-1}
	Raíces	Hojas + coronas	Raíces	Hojas + coronas	Raíces	Hojas + coronas	
Mono Hy6	76,79	37,86	1,20	2,58	210	150	360
Mono 3190	80,87	41,43	1,22	2,41	235	105	340
Mono HyD2	84,48	49,90	1,23	2,63	241	200	441
HH30 Holly	85,11	38,45	1,16	2,48	240	105	445
Mono 4006	81,39	36,22	1,11	2,50	226	159	385
Promedio	81,69	40,77	1,18	2,52	230	144	374

Tabla 2. Rendimiento promedio, % de N y extracción de N por raíces y hojas más coronas, por cinco cultivares monogermen de remolacha azucarera.

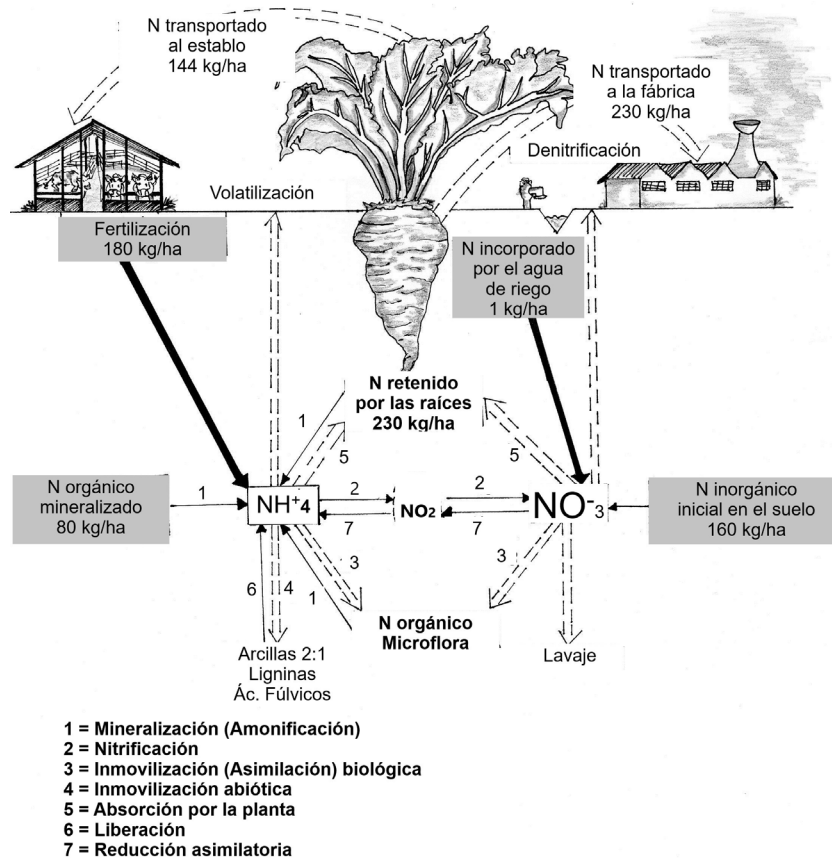


Figura 1. Dinámica del nitrógeno en un suelo aluvial salino, cultivado con remolacha azucarera (la inmovilización biológica, la fijación biológica, la pérdida por lavaje, la volatilización, la denitrificación y la fijación por las arcillas son desconocidas).

lo afirmado por El International Plant Nutrition Institute (2008) quien indicó que la remolacha azucarera absorbe en total 238 kg ha^{-1} de nitrógeno para un rendimiento de 62 t ha^{-1} , aunque difiere de lo afirmado por Ciampitti y García (2007) quienes indican en este caso 327 kg ha^{-1} .

- Otras pérdidas de N del suelo

Las pérdidas de nitrógeno por lavaje, volatilización y denitrificación son desconocidas, pero es muy probable que fueran insignificantes.

CONCLUSIONES

- Bajo condiciones de suelos “improductivos” con moderada a muy alta salinidad, la remolacha azucarera produjo altos rendimientos de raíces ($81,69 \text{ t ha}^{-1}$) y de hojas más coronas ($40,77 \text{ t ha}^{-1}$).
- Las ganancias de nitrógeno por el suelo fueron: por mineralización del N orgánico del suelo 80 kg ha^{-1} ; por las aguas de riego 1 kg ha^{-1} ; por la aplicación de fertilizantes 180 kg ha^{-1} y además, el suelo inicialmente tuvo 160 kg ha^{-1} de nitrógeno mineral, lo cual hace un total de 421 kg ha^{-1} de N.

- Con relación a las pérdidas de nitrógeno del suelo fueron: por extracción de las hojas más coronas 144 kg ha^{-1} y por extracción de raíces 230 kg ha^{-1} lo que hace un total de 374 kg ha^{-1} de nitrógeno.
- Al analizar el balance de las ganancias y pérdidas de nitrógeno en este agrosistema, se encontró que las ganancias de N superaron en 47 kg ha^{-1} a las pérdidas; lo que indica que la fertilización nitrogenada fue excesiva.

BIBLIOGRAFÍA

BARCELÓ, C.J.; NICOLAS, K.G.; SABATER, G.B.; SÁNCHEZ, T.R. 2001. Fisiología Vegetal. Ed. Pirámide, Madrid, España. 556 p.

BRADY, N.C. 1990. The Nature and Properties of Soil. Ed. Mac Millan, Nueva York. 621 p.

CIAMPITTI, I.A.; GARCÍA, F.O. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales, oleaginosos e industriales. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Archivo Agronómico 11, 13-16.

FASSBENDER, H.; BORNEMIZA, E. 1994. Química de Suelos. Ed. IICA. San José, Costa Rica. 421 p.

FICK, G.W.; LOOMIS, R.S.; WILLIAMS, W.A. 1983. Remolacha Azucarera. En: EVANS, L.T. (Ed.). Fisiología de los Cultivos. Editorial Hemisferio Sur S.A., Buenos Aires, Argentina. 281-320 pp.

- FLORES, P.A. 1981. Evaluación del rendimiento y calidad nutritiva de la remolacha forrajera y azucarera en el suelo salino. Tesis Univ. Nac. Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.
- GREGORY, P.J. 1992. Crecimiento y funcionamiento de las raíces. En: WILD, A. (Ed.). Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas según Russell. Ed. Mundi Prensa, Madrid, España. 121-175 pp.
- GROS, A. 1967. Abonos. 4.ª Edición, Mundi Prensa, Madrid, España. 445 p.
- INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE. 2008. Absorción aproximada de nutrientes por las plantas. Ed. Cono Sur, Buenos Aires, Argentina.
- KAFFKA, S.; HEMBREE, K. 2004. The effects of saline soil and irrigation on sugar beet stand establishment. Jour. Sug. Beet Research, 41 (3), 61-72.
- LARSEN, C.E. 1980. La Remolacha: Cultivo tolerante a la salinidad para la costa peruana. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA). Informe especial N.º 96, 24 p.
- LUZIO, W.; MALDONADO, F.; ROSALES, A.; SCOPPA, C.; VAN WAMKEKE, A. 1982. Taxonomía de Suelos. Versión abreviada en español de "Soil Taxonomy". Cornell University, Ithaca, N. Y. EUA. 252 p.
- MASSON, M.L. 1973. Evaluación de la Salinidad en el Perú. Evaluación y Control de Degradación de Tierras en Zonas Áridas de América Latina. Boletín Latinoamericano sobre fomento de Tierras y Aguas, 6:363-384.
- NAVARRO, S.; NAVARRO, G. 2000. Química Agrícola. Ed. Mundi Prensa, Madrid, España. 488 p.
- PORTA, J.; LÓPEZ ACEVEDO, M.; ROQUERO, C. 2003. Edafología. Ed. Mundi Prensa, Madrid, España. 929 p.
- REYNOSO, C.J.; VALDIVIA, V.S.; LARSEN, E.; PINNA, C.J. 2001. Comparativo de cultivares de remolacha azucarera en suelos salinos. Arnelo, 8 (1), 93-100.
- TOSI, J. 1980. Zonas de vida natural en el Perú.. Boletín Técnico N.º 5. Ed. IICA, OEA. 271 p.
- UNESCO. 1977. Un nuevo mapa de la distribución mundial de las regiones áridas. La Naturaleza y sus Recursos, 13 (3), 2-3.
- U. S. SALINITY LABORATORY. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. En: RICHARD, L.A. (Ed.). USDA Handbook 60. 160 p.
- VALDIVIA, V.S. 1982. Nitrogen gains and losses in sugarcane (*Saccharum sp.*) agro - ecosystem on the coast of Peru. Plant and Soil, 67, 147-156.
- VALDIVIA, V.S.; REYNOSO, C.J.; PINNA, C.J.; LARSEN, C.E. 2001. Efecto de las sales en la producción de la remolacha azucarera en la costa árida del Perú. Antenor Orrego, 10 (16-17), 71-80.
- VALDIVIA, V.S.; VALDIVIA, S.S.; PINNA, C.J. 2010a. Ganancias y pérdidas de nitrógeno en un suelo salino bajo cultivo de remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) XII Congreso Nacional y V Internacional de la Ciencia del Suelo. Arequipa, Perú. 163-170 pp.
- VALDIVIA, V.S.; PINNA, C.J.; VALDIVIA, S.S. 2010b. Extracción de fósforo y potasio en un suelo aluvial salino, cultivado con remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) bajo riego. XXXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo y XIII Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas. Mexicali, Baja California, México. 861-866 pp.
- VALDIVIA, V.S.; PINNA, C.J.; VALDIVIA S.S. 2016. Extracción de K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, y Na⁺ de suelo salino por la remolacha azucarera. XXI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XV Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Quito, Ecuador. 760-764 pp.
- WAKEEL, A.; STEFFENS, D.; SCHUBERT, S. 2010. Potassium substitution by sodium in sugar beet (*Beta vulgaris*) nutrition on K - fixing soils. J. Plant Nutr. Soil Sc., 173, 127-134.