

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE FREÁTICA Y SUELO CON VINAZA

R. Portocarrero¹, G. Latina², H. Sánchez³

¹INTA EEA Famaillá. Ruta provincial 301 km 32, Famaillá, Tucumán. Facultad de Agronomía y Zootecnia, UNT.

²Labores y Trabajos del Sur S.A. y Bioenergía Santa Rosa S.A. Sargento Juárez s/n Leon Rouges, Tucumán.

³INTA EEA Famaillá. Ruta provincial 301 km 32, Famaillá, Tucumán.

Autor para correspondencia: portocarrero.rocio@inta.gob.ar

RESUMEN

Desde el año 2012, y siguiendo las normativas de la provincia, una destilería de Tucumán aplica la vinaza generada en la producción de bioetanol en sus campos productivos de caña de azúcar. Con el objetivo de observar y prevenir posibles efectos negativos, se monitoreó la conductividad eléctrica (CE) del suelo y del acuífero libre en los lotes sujetos a aplicación de vinaza. El área total de aplicación de vinaza (CE 21,2 dS m⁻¹) es ≈ 1 200 ha, en la llanura deprimida no salina de Tucumán. Las muestras del acuífero libre se tomaron de 13 pozos freáticos en mayo 2020. Las muestras de suelo se tomaron entre mayo-noviembre 2020 de 21 lotes, previo a la aplicación anual de vinaza, en la profundidad 0-0,3 y 0,3-0,6 m. Los resultados muestran que la CE media en extracto de saturación del suelo de 0-0,3 m de profundidad fue de 0,97 dS m⁻¹ y los percentiles 10 y 90 de 0,30 y 1,51 dS m⁻¹ respectivamente. En la profundidad de 0,3-0,6 m el valor medio fue de 0,72 dS cm⁻¹ y los percentiles 10 y 90 0,22 y 1,10 dS m⁻¹. Los freatómetros ubicados más al oeste, con menor influencia de la aplicación de vinaza, presentaron CE media de 0,20 ±0,02 dS m⁻¹. Hacia el extremo sureste la CE fue de 0,40 dS m⁻¹. Después de 8 años de este manejo, los suelos con aplicación de vinaza no superan el límite de aptitud para el cultivo de caña de azúcar (1,7 dS m⁻¹) y la freática está por debajo del límite considerado alto para riego (0,75 dS m⁻¹).

Palabras clave: caña de azúcar, lavado de sales, enmienda orgánica

SUMMARY

Electrical conductivity in free aquifer and vinasse-treated soil

Since 2012, and following the regulations of the province, a distillery in Tucumán has applied the vinasse generated in the production of bioethanol in its sugar cane production fields. In order to observe and prevent possible negative effects, the electrical conductivity (EC) of the soil and of the free aquifer in the lots subject to vinasse application was monitored. The total area of application of vinasse (EC 21.2 dS m⁻¹) is ≈ 1 200 ha, in the depressed non-saline plain of Tucumán. Free aquifer samples were taken from 13 phreatic wells in May 2020. Soil samples were taken between May-November 2020 in 21 lots, prior to the annual application of vinasse, at depth 0-0.3 and 0.3-0.6 m. The results show that the mean EC in soil saturation extract from 0-0.3 m depth was 0.97 dS m⁻¹ and the 10th and 90th percentiles were 0.30 and 1.51 dS m⁻¹, respectively. At a depth of 0.3-0.6 m, the mean value was 0.72 dS cm⁻¹ and the 10th and 90th percentiles were 0.22 and 1.10 dS m⁻¹. The phreometers located further west, with less influence from the application of vinasse, showed an average CE of 0.20 ±0.02 dS m⁻¹. Towards the extreme southeast, the CE was 0.44 dS m⁻¹. After 8 years of this management, the soils with vinasse application do not exceed the

suitability limit for sugarcane cultivation (1.7 dS m^{-1}) and free aquifer samples are below the limit considered high for irrigation (0.75 dS m^{-1}).

Keywords: sugar cane, salt washing, organic amendment

Introducción

El bioetanol es una alternativa a los combustibles fósiles, que contribuye a la seguridad energética y a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. La caña de azúcar es uno de los cultivos de origen para la producción de bioetanol, utilizando azúcares como materia prima. Durante la etapa de destilación se genera el coproducto vinaza, en promedio 13 litros por cada litro de etanol. La vinaza de caña de azúcar es ácida ($\text{pH} < 4.5$), con alto contenido de materia orgánica ($10\text{-}70 \text{ g L}^{-1}$ de Demanda Biológica de Oxígeno) y sales (p. ej. $1\text{-}13 \text{ g L}^{-1}$ de potasio soluble) (Christofoletti *et al.*, 2013). Con el fin de evitar que grandes cantidades de vinaza se viertan directamente en cursos de agua superficial, lo que tiene efectos adversos graves sobre la calidad del agua y los sistemas ecológicos y como aporte a la economía circular, actualmente el principal uso de la vinaza es la aplicación en cañaverales como enmienda o fertirrigación. Se han documentado varios beneficios agronómicos con esta práctica como, mayores rendimientos de caña de azúcar (Resende *et al.*, 2006), incremento del C orgánico y N mineral (Canellas *et al.*, 2003; da Silva *et al.*, 2013) y mayor fertilidad física del suelo (Jiang *et al.*, 2012). Sin embargo, la aplicación repetida o dosis altas considerando los requerimientos del cultivo y características del suelo, tiene el potencial de incrementar el contenido de sales en el suelo y aguas subterráneas (Fuess y García, 2014; Ortegon *et al.*, 2016; Portocarrero *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2014). El contenido de sales en el suelo es un factor limitante en la producción agrícola, reduciendo el rendimiento, y en el caso de la caña de azúcar, también la calidad fabril (Fogliata y Aso, 1965).

En Argentina, el Decreto Reglamentario 109/2007 de la ley 26.093/2006 de Biocombustibles promueve desde el Estado Nacional el desarrollo de toda la cadena de producción de biocombustibles. Esta ley se complementa con la Ley 26.334/2008 de promoción de la producción de bioetanol. Su destino es para consumo interno y el volumen de porcentaje obligatorio de bioetanol en su mezcla con las naftas de uso automotor es de un 12 % (Decreto 543/2016). Actualmente, el bioetanol que se produce en la Argentina proviene en un 45-50 % de los azúcares de caña de azúcar (Secretaría de Gobierno de Energía, 2019). De las 380 000 ha cultivadas con caña de azúcar, el 73% se concentra en la provincia de Tucumán (Benedetti, 2018).

En el año 2011, la Secretaría de Medio Ambiente de la provincia de Tucumán aprobó un Protocolo de aplicación de vinazas en suelos productivos (Res 040). Siguiendo esta normativa, y la posterior relacionada (Res 148/2017), algunas empresas sucroalcoholeras de Tucumán aplican la vinaza generada en la producción de bioetanol en sus campos productivos de caña de azúcar. Con el objetivo de observar y prevenir posibles efectos negativos, se evaluó la conductividad eléctrica (CE) del suelo y del acuífero libre en una finca con lotes sujetos a aplicación de vinaza por largo tiempo.

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en el departamento Monteros de la provincia de Tucumán, en la llanura deprimida no salina. Hacia el oeste limita con el pedemonte de las sierras Centrales. La pendiente es menor al 0,5 %, de dirección preferencial de oeste a este (Zuccardi y Fadda, 1985). El clima según la

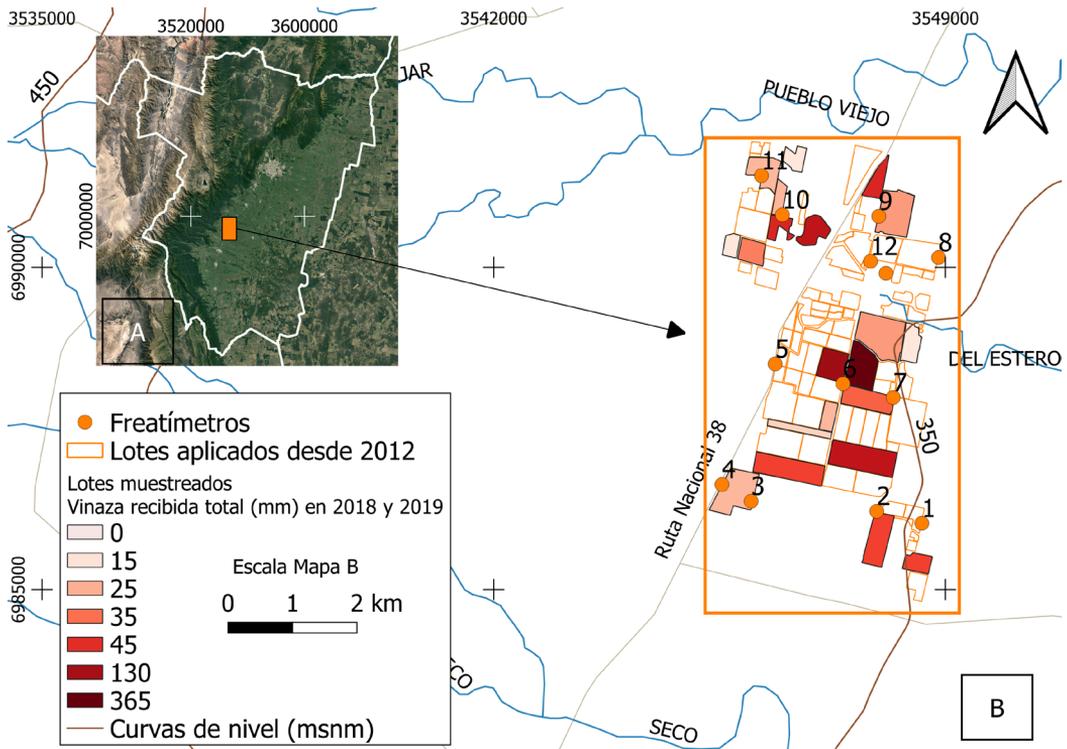


Figura 1. Ubicación de los lotes de muestreo y freáticos en la provincia de Tucumán (A) y a escala local (B)

clasificación de Thornthwaite es subhúmedo-húmedo, mesotermal. La precipitación media anual es de 1 300 mm, concentradas en verano-otoño. Se encuentra en un ambiente interfluvial entre los ríos Pueblo Viejo, al norte y Seco, al sur (Figura 1).

Los suelos del área de estudio que se encuentran hacia el pedemonte son una asociación de Hapludoles énticos (40%), Udipsamientos típicos (30%), Hapludoles taptórgicos (20%) y Argiudoles típicos (10%). Cercano a los ambientes fluviales se caracterizan por ser una asociación de Udifluventes típicos (60%) en bajos con influencia del río; Hapludoles oxiácuicos (20%), en planos deprimidos; Udipsamientos típicos (10%) en albardones y Hapludoles énticos (10%) en planos altos aledaños a la planicie. Hacia la llanura predominan los Hapludoles énticos, Hapludoles oxiácuicos y Hapludoles típicos. Son suelos no salinos, de texturas

gruesas, bien drenados, de permeabilidad moderadamente alta o alta y escurrimiento medio. En los sectores, de planos bajos y depresiones, que han desarrollado horizonte B, presentan una permeabilidad moderada o moderadamente lenta (Moscatelli *et al.*, 2005). El sistema acuífero zonal se desarrolla sobre material del Cuaternario. La capa más superficial, compuesta de material grueso que disminuye de espesor y granulometría hacia el este, contiene a los acuíferos libres y las profundidades no son mayores a 20 m (De la Vega, 1982). Adosado al pedemonte, el origen del material son abanicos aluviales de alta permeabilidad primaria (García *et al.*, 2017). El nivel freático en la llanura asciende y desciende sincrónicamente, con profundidades promedio de 2 m. La recarga es por precipitaciones, flujo lateral e infiltración de cursos superficiales. La mínima profundidad se presenta durante febrero a

abril, mientras que la máxima profundidad se presenta de septiembre a noviembre (Figueroa *et al.*, 1996; INTA Famailla, 2022). La dirección preferencial de flujo del sistema acuífero es en sentido oeste-este.

Aplicación de vinaza

La aplicación de vinaza se inició en el año 2012. En el año 2020 la superficie total aplicada fue de $\approx 1\ 200$ ha (Figura 1). A partir del 2014 previo a la aplicación de vinaza se monitorea el contenido de sales en el suelo y desde el 2018 se llevan registros de los volúmenes aplicados por lote.

La vinaza que se usó, en términos promedio, se caracteriza por pH 4,8; CE $21,2\ \text{dS m}^{-1}$, Demanda Química de Oxígeno $63\ 218\ \text{mg O}_2\ \text{L}^{-1}$, $5,5\ \text{g K L}^{-1}$, $1,3\ \text{g Ca L}^{-1}$ y $291\ 5\ \text{g Mg L}^{-1}$. Cuando la vinaza sale de la planta destiladora, se deja enfriar en una pileta revestida con bentonita, desde allí se traslada en camiones cisterna hasta los lotes de aplicación. La aplicación se realiza con cañones de riego por aspersión. El total de la vinaza generada por la empresa sucroalcoholera se destina a este uso.

Muestreo y análisis de suelo y agua

Las muestras de suelo se tomaron durante los meses de mayo y noviembre de 2020. Durante las dos campañas previas (2018 y 2019), los lotes muestreados habían recibido entre 0 y 365 mm de vinaza total (Figura 1), siendo la última aplicación en enero de 2020. Se obtuvieron un total de 21 muestras compuestas por cada profundidad de 0 a 0,3 m y 0,3 a 0,6 m. Se secaron a 35°C y tamizaron por 2 mm. La determinación de la CE se realizó en extracto de saturación según norma IRAM-SAGyP 29579:2021.

En las 1 200 ha de aplicación hay instalados 13 pozos freáticos con una profundidad de exploración entre 2,5 -3,5 m (Figura 1). El muestreo del acuífero libre se realizó en mayo 2020. El día previo a la toma de muestras se midió la profundidad del nivel freático y se purgó cada pozo, vaciándolo en su totalidad. No se pudo tomar muestra del F10 y F7 porque el nivel de agua no era suficiente. Las

muestras se llevaron refrigeradas hasta el laboratorio, donde se midió la CE de manera directa.

Análisis de los datos

La CE de suelo y agua se interpretó con estadística descriptiva. Se realizó un análisis de correlación de Pearson entre la CE de suelo a la profundidad de 0-0,3 m y la lámina de vinaza aplicada en las campañas previas (2018 y 2019). Para el análisis estadístico se utilizó InfoStat versión 2020 (Di Rienzo *et al.*, n.d.). Los resultados obtenidos del acuífero libre se volcaron a un Sistema de Información Geográfico (QGIS.org, 2022). Se utilizó el Sistema de Referencia de Coordenadas Gauss Kruger, faja 3 (EPSG 22173).

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se muestran los resultados de CE en suelo. La media y mediana de la CE, así como las medidas de dispersión, son mayores en la profundidad de 0-0,3 m que en la de 0,3-0,6 m. La bibliografía local considera que $1,7\ -2,0\ \text{dS m}^{-1}$ son los valores límites de CE en suelo para no afectar el rendimiento en caña de azúcar (Aranda *et al.*, 2016; Sanzano y Fadda, 2009). El percentil 90 de la CE en suelo a la profundidad 0-0,3 m es inferior a estos valores.

Del análisis de correlación surge que hay una correlación significativa positiva ($p < 0,05$; $r = 0,8$) entre la CE del suelo a los 0-0,30 m de profundidad y los volúmenes de aplicación de vinaza en las dos campañas previas (2018 y 2019). Aquellos lotes en los que no se aplicó vinaza las dos campañas previas, presentaron CE menores a $0,30\ \text{dS m}^{-1}$. Mientras que la CE en los lotes que recibieron la mayor cantidad de vinaza (130 mm y 325 mm) fue de $1,13$ y $3,34\ \text{dS m}^{-1}$.

De los 21 lotes, 8 habían sido muestreados también en 2014 o 2015. Cinco lotes presentaron un incremento de la CE y 3 un descenso, en la profundidad de 0-0,30 m. El lote muestreado en 2020 que presentó la CE más alta, en el año 2015 tenía una CE de $0,50\ \text{dS m}^{-1}$. Lotes que en 2020 tenían una CE entre $1,13$ y $1,51\ \text{dS m}^{-1}$, en 2014 y 2015

presentaban CE entre 0,2 y 0,9 dS m⁻¹. Los 3 lotes con registro de descenso de la CE, presentaban una CE de 0,80 dS m⁻¹ en 2014 y 2015 y entre 0,48 y 0,72 dS m⁻¹ en 2020. Los lotes que no habían recibido vinaza en 2018 y 2019 (CE < 0,30 dS m⁻¹ en 2020) tenían un registro de CE entre 0,20 y 0,50 dS m⁻¹ en muestreos de 2015, 2016 o 2017.

Se observa un incremento de sales en la solución del suelo debido a la aplicación de vinaza y una recuperación de este impacto cuando cesa esta práctica. En un estudio llevado a cabo en la llanura deprimida no salina, Portocarrero *et al.* (2018) observaron un incremento del 85% y 53% de la CE del suelo en las profundidades de 0-0,3 y 0,3-0,6 m, respectivamente, luego de dos años consecutivos de aplicación de 10 mm de vinaza. El incremento se explica porque la carga de sales aplicadas es superior a la capacidad de extracción del cultivo y el lavado hacia el acuífero es limitado, quedando retenidas por las texturas medias. El balance entre la entrada y la salida de sales en el suelo se vuelven negativo, cuando se deja de aplicar vinaza (entrada) y las precipitaciones (salida) lavan el perfil del suelo transportándola en profundidad.

El acuífero presentó una profundidad variable espacialmente entre 0,8 y 2,6 m. La menor profundidad se observó en el freático del extremo sudeste (Figura 2. A). Las características de profundidad y material de la zona no saturada, sumado a la escasa pendiente del terreno, le confieren al acuífero un potencial de contaminación medio a alto (Aller *et al.*, 1987).

El muestreo corresponde a un período en el

que ya ha ocurrido el mayor lavado anual de los suelos, y posterior al máximo ascenso del acuífero. Las precipitaciones acumuladas de noviembre 2019 a mayo 2020 fueron de 1 068 mm (INTA Famailla, 2022), que significaron una recarga estimada del acuífero de 107 mm (García *et al.*, 2017).

Los freáticos ubicados más al oeste (F4, F5 y F11), con menor influencia de la aplicación de vinaza, presentaron un valor promedio de CE de 0,20 ± 0,02 dS m⁻¹ (Figura 2. B). Hacia el extremo sudeste (F1) la CE fue de 0,40 dS m⁻¹. Los valores de CE más elevados (valor máximo 2,22 dS m⁻¹) se presentaron en los freáticos (F12 y F13) ubicados cercanos a una laguna de almacenamiento y derivación de la vinaza. El resto de los freáticos presentaron una CE media de 0,43 ± 0,25 dS m⁻¹ con un valor máximo de 0,66 dS m⁻¹. El acuífero libre de la llanura deprimida no salina se caracteriza por CE inferiores a 0,50 dS m⁻¹ (Zuccardi y Fadda, 1985). Los valores superiores a 0,50 dS m⁻¹ se presentó en los freáticos F12, F13, F8 y F9. En cuanto a su aptitud para riego del agua freática y tomando como límite máximo 0,75 dS m⁻¹ (sin riesgo de salinización para las condiciones de suelo y exigencias de la caña de azúcar) (Wilcox, 1955), sólo los pozos F12 y F13, con influencia directa de la pileta de vinaza, superan este valor.

Pueden diferenciarse dos tipos de fuentes de sales desde la zona no saturada: 1) la lixiviación de sales desde los piletones de almacenamiento y distribución, y 2) la lixiviación de sales por aplicación en los lotes productivos. Sin embargo, por las características del material del acuífero (gravas y arenas con intercalaciones de limos y arcillas) (García *et al.*, 2017), los

Tabla 1. Medidas de tendencia central y dispersión de la CE del suelo a las profundidades de 0-0,3 y 0,3-0,6 m

Prof m	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana	P10	P25	P75	P90
0-0,3	21	0,97	0,68	0,22	3,34	0,79	0,30	0,64	1,13	1,51
0,3-0,6	21	0,72	0,55	0,13	2,76	0,67	0,22	0,43	0,94	1,10

solutos presentan una moderadamente alta capacidad de dispersión, por lo que el origen de las sales no responde estrictamente a una u otra fuente. La composición química de la vinaza y la densidad de 1 g ml^{-1} (Reis y Hu, 2017), similar a la del agua, favorece la dilución y movimiento lateral.

Los resultados de análisis de suelo y del acuífero libre (sin considerar los freáticos con influencia directa de las piletas de almacenaje y distribución), muestran que el contenido de sales de la solución del suelo va descendiendo desde los primeros 0,30 m (percentil 10 = $0,30 \text{ dS m}^{-1}$ y percentil 90 = $1,51 \text{ dS m}^{-1}$), a los 0,30 a 0,60 m (percentil 10 = $0,22 \text{ dS m}^{-1}$ y percentil 90 = $1,10 \text{ dS m}^{-1}$) hasta los primeros cm del acuífero (percentil 10 = $0,16 \text{ dS m}^{-1}$ y percentil 90 = $0,66 \text{ dS m}^{-1}$). El suelo cumple el rol de amortiguar la entrada de las sales al acuífero, reteniéndolas y distribuyendo al cultivo (Ortegon *et al.*, 2016).

Conclusión

El estudio aborda el potencial impacto de salinización de suelos y acuífero libre debido a la aplicación de vinazas en suelos cultivados con caña de azúcar de la Llanura deprimida de Tucumán (Argentina). Esta práctica surge como una propuesta de manejo del efluente que era vertido a los cursos de agua superficial. Después de 8 años de implementación en Hapludoles, Udipsamentos, Udifluventes y Argiudoles, los suelos no fueron afectados en su calidad para la producción de caña de azúcar. La CE desciende desde la superficie de aplicación hasta el acuífero libre, mostrando el rol del suelo en amortiguar el ingreso de las sales disueltas a los recursos hídricos. Debido a la escasa profundidad, el acuífero tiene vulnerabilidad media a alta y se debe continuar con el monitoreo de esta variable. La aplicación de vinazas en suelo es una valorización agrícola de este efluente por lo que, complementariamente se deben



Figura 2. Profundidad (m) (A) y CE (dS m^{-1}) (B) del acuífero libre en cada freático

evaluar los aspectos de rendimiento del cultivo, materia orgánica, propiedades físicas y nutrientes del suelo.

Referencias bibliográficas

- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J.H., Petty, R.J., Hackett, G. 1987. DRASTIC : A Standardized Method for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. NWWA/Epa-600/2-87-035 455.
- Aranda, E.D., Arroyo, E.A., Sanzano, G.A., Madrid, R.F., Sorol, P.M. 2016. Indicadores de calidad de suelos para caña de azúcar en la llanura deprimida salina de la provincia de Tucumán, En: XX Reunión Técnica Nacional de La Caña de Azúcar. 6-8 April. Sociedad Argentina de Técnicos de la Caña de Azúcar, San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina.
- Benedetti, P., 2018. Primer relevamiento del área cultivada con caña en Argentina a través de imágenes satelitales [WWW Document]. INTA. URL https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-_informe_relevamiento_del_cultivo_de_cana_de_azucar_en_argentina_durante_el_2018_a_partir_de_imagenes_satelitales_1_0.pdf (accessed 6.26.18).
- Canellas, L.P., Velloso, A.C.X., Marciano, C.R., Ramalho, J.F.G.P., Rumjanek, V.M., Rezende, C.E., Santos, G.A. 2003. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. *Rev. Bras. Ciência do Solo* 27, 935–944. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500018>
- Christofolletti, C.A., Escher, J.P., Correia, J.E., Fernanda, J., Marinho, U., Fontanetti, C.S. 2013. Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use. *Waste Manag.* 33, 2752–2761. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.09.005>
- da Silva, A., Rossetto, R., Bonnacine, J., Piemonte, M., Muraoka, T. 2013. Net and Potential Nitrogen Mineralization in Soil with Sugarcane Vinasse. *Sugar Tech* 15, 159–164. <https://doi.org/10.1007/s12355-012-0199-0>
- De la Vega, E., 1982. Geología e hidrogeología del faldeo oriental de la sierra de Aconquija entre Famaillá y Monteros. Departamentos Famaillá y Monteros, Provincia de Tucumán. Trabajo final de Geología. Facultad de Ciencias Naturales e IML. Universidad Nacional de Tucumán.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W., n.d. InfoStat version 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. www.infostat.com.ar
- Figuroa, L.R., Medina, L.F., Pietroboni, A.M., 1996. Variaciones del nivel freático en la llanura deprimida de Tucumán. Serie Monográfica N°3. INTA- CRTS.
- Fogliata F.A., Aso P.J. 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.
- Fuess, L.T., García, M.L., 2014. Implications of stillage land disposal: A critical review on the impacts of fertigation. *J. Environ. Manage.* 145, 210–229. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.003>
- García, J.W., Falcón, C.M., D'Urso, C.H., Rodriguez, G. V. 2017. Regiones hidrogeológicas en la provincia de Tucumán. *Rev. Geol. Apl. a la Ing. y al Ambient.* 38, 21–38.
- INTA Famailla, 2022. Datos (actuales e históricos). SIGA - Sistema de Información y Gestión Agrometeorológico. INTA [WWW Document]. SIGA - Sist. Inf. y Gestión Agrometeorológico. URL <http://siga.inta.gob.ar/#/data> (accessed 4.1.22).
- Jiang, Z.P., Li, Y.R., Wei, G.P., Liao, Q., Su, T.M., Meng, Y.C., Zhang, H.Y., Lu, C.Y., 2012. Effect of long-term vinasse application on physico-chemical properties of sugarcane field soils. *Sugar Tech* 14, 412–417. <https://doi.org/10.1007/s12355-012-0174-9>
- Moscatelli, G., Godagnone, R.E., Salazar, J.C., Nakama, V., Cuenca, M.A. 2005. Estudio de suelos para la reconversión del sector agropecuario. Departamentos de Famaillá-

- Monteros-Simoca y Chicligasta, provincia de Tucumán. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires.
- Ortegon, G.P., Muñoz Arboleda, F., Candela, L., Tamoh, K., Valdes-abellan, J., 2016. Vinasse application to sugar cane fields. Effect on the unsaturated zone and groundwater at Valle del Cauca (Colombia). *Sci. Total Environ.* 539, 410–419. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.153>
- Portocarrero, R., Correa, M.A., Vallejo, J.I., Ullivarri, E., Valeiro, A.H., 2018. Salinidad por aplicación de vinazas de un suelo subtropical cultivado con caña de azúcar. *Cienc. del Suelo* 36, 39–47.
- QGIS.org, 2022. QGIS Geographic Information System.
- Reis, C.E.R., Hu, B., 2017. Vinasse from sugarcane ethanol production: Better treatment or better utilization? *Front. Energy Res.* 5, 1–7. <https://doi.org/10.3389/ferg.2017.00007>
- Resende, A.S. de, Xavier, R.P., Oliveira, O.C. de, Urquiaga, S., Alves, B.J.R., Boddey, R.M. 2006. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, N.E. Brazil. *Plant Soil* 281, 339–351. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-4640-y>
- Sanzano, A.G., Fadda, G.S. 2009. Características de los suelos para caña de azúcar. Recomendaciones de manejo, En: Romero, E.R., Digonzelli, P.A., Scandalari, J. (Eds.), *Manual Del Cañero*. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, pp. 23–34.
- Secretaría de Gobierno de Energía. 2019. Estadísticas de biodiesel y bioetanol [WWW Document]. Datos Energía. URL <http://datos.minem.gob.ar/dataset/estadisticas-de-biodiesel-y-bioetanol>
- Silva, W.P., Almeida, C.D.G.C. De, Rolim, M.M., Silva, Ê.F.D.F., Pedrosa, E.M.R., Silva, V.G.F. 2014. Monitoramento da salinidade de águas subterrâneas em várzea cultivada com cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 18, 394–401.
- Wilcox, L.V., 1955. Classification and Use of Irrigation Waters. Circular 969. United States Department of Agriculture.
- Zuccardi, R.B., Fadda, G.S. 1985. Bosquejo agrologico de la provincia de Tucumán, *Miscelánea* 86. Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Agronomía y Zootecnia.

Original recibido (07/05/2022)
Original aceptado (02/10/2022)