

La presencia de boro y la aplicación del Índice de Productividad en el valle Calchaquí salteño. Argentina

The presence of boron and the application of the Productivity Index in the Calchaquí salteño valley. Argentina

Pablo Walter^{1, 2*}

RESUMEN

El valle Calchaquí se encuentra al oeste de la provincia de Salta, Argentina, regado por el río Calchaquí que, junto con sus afluentes, forma una cuenca que se extiende de norte a sur.

En algunos de estos ríos existe presencia de boro (B). Se considera que niveles mayores de 05 mg L⁻¹ producen suelos con toxicidad que limita la capacidad productiva. Estos suelos fueron evaluados con un índice de productividad (IP) y clasificados para su uso estableciéndose su clase. Este trabajo analiza la relación del boro en la estimación de ese índice de productividad. Se realizó una recopilación de datos, material bibliográfico publicado referente a la temática y un análisis exhaustivo.

El resultado nos permite valorar y considerar todos los factores para la estimación de IP para indicar y clasificar el uso del suelo, teniendo en cuenta la contaminación por B que presentan algunas zonas arables del valle Calchaquí salteño.

Palabras clave: boro, valle Calchaquí salteño, índice de productividad, contaminación.

ABSTRACT

The Calchaquí Valley is located to the west of the province of Salta, Argentina, watered by the Calchaquí River which, together with its tributaries, forms a basin that runs from north to south.

Boron (B) is present in some of these rivers. It is considered that levels greater than 05 mg L⁻¹ produce soils with toxicity that limits the productive capacity. These soils were evaluated with a productivity index (IP) and classified for their land use, establishing their use class. This work analyzes the relation of Boron in the estimation of this productivity index. A compilation of data, published and online bibliographic material referring to the subject and an exhaustive analysis was carried out.

The result allows us to assess and consider all the factors for the estimation of IP to indicate and classify the use of the land, taking into account the contamination by B that some arable areas of the Calchaquí Salteño valley have.

Keywords: boron, valle Calchaquí salteño, productivity index, pollution.

Introducción

La evaluación de tierras es un proceso de determinación y de predicción para el uso de las tierras productivas. Para esto se realizan e interpretan mediciones y estudios de diversas características ambientales como geomorfología, suelos, vegetación, clima, a fin de identificar y comparar sus posibles usos en términos de aplicabilidad de los objetivos de la evaluación (Van Leeuwen *et al.*, 2001; Morales Poclava, 2012).

Esta estimación de calidad de tipos de tierras se efectúa mediante una valoración numérica de

capacidad productiva de la tierra, tratando de predecir objetivamente el comportamiento del suelo para un uso definido (De la Rosa, 2008).

Los índices son indicadores, cuya principal función es evaluar condiciones o tendencias, comparar transversalmente sitios o situaciones para establecer metas y objetivos, proveer información preventiva temprana y anticipar condiciones y tendencias futuras (Wilson, 2017). Para este fin se utilizan los índices de productividad. Estos son útiles para planificar el uso de la tierra por cuanto permiten comparar, administrar, analizar beneficios relativos y tomar decisiones. En la

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

² Centro de Investigaciones en Economía y Prospectiva (CIEP). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

* Autor por correspondencia: walter.pablo@inta.gob.ar

evaluación de tierras se han utilizado diversos métodos con diferentes enfoques teniendo en cuenta la valoración de los requerimientos de cada clase de uso del suelo, así como la comparación de las características y propiedades que presentan las diferentes unidades de tierra.

Los sistemas de evaluación han evolucionado desde métodos empíricos enfocados en considerar algunas propiedades edáficas hacia valoraciones más cuantificadas y precisas, variando desde una fase subjetiva e incluso anecdótica hasta una disciplina científica bien estructurada y sistémica, con complejas metodologías interpretativas (Morales Poclava *et al.*, 2012).

En este trabajo se pretende analizar el índice de productividad publicado en el Atlas de Suelos de la República Argentina, en 1990, en el área de Valles y Bolsones con Oasis de Riego en los valles Calchaquíes salteños y su relación con el boro.

Materiales y métodos

Para el estudio se procedió a la búsqueda, selección y análisis de bibliografía y fuentes secundarias de información de autores que han definido los motivos de clasificación de la calidad de suelo y tipo de productividad, y que además realizaron distintas comparaciones que contribuyeron a este trabajo.

El material correspondiente a los temas suelos y aguas recibió el mismo tratamiento. Las fuentes secundarias que se emplearon provinieron tanto de bibliotecas especializadas como de bases de datos institucionales del INTA, Ministerio Nacional de Riego de Chile, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires, Cátedra de Edafología de la Universidad de Tucumán. Asimismo, el banco de datos Laboratorio de Salta de Suelo Agua y Fertilizantes (LabSSAF) del INTA y Secretaría de Hidráulica de la provincia de Salta proporcionó resultados de análisis de muestras de suelo y agua subsuperficial de áreas regadas por el río Calchaquí, obtenidas de acuerdo al protocolo de extracción de muestras de agua subsuperficial del INTA.

El valle Calchaquí salteño

El valle Calchaquí salteño tiene un paisaje de Provincia Fitogeográfica de Monte, con precipitaciones que no superan los 300 mm anuales,

un relieve variado y temperaturas promedio que no pasan los 17 °C (Cabrera, 1994). El agua proviene de la captación de cursos superficiales llamados bajadas y en otras situaciones del subálveo (Paoli, 2002). Se provee de fuentes de riego superficiales producto del deshielo de las montañas al oeste y también existen fuentes subterráneas en menor proporción (Figura 1).

Las actividades agrícolas se realizan bajo riego sobre terrazas vecinas a los ríos o se aprovecha el agua de los arroyos que bajan del este, formándose distintos oasis de riego en los valles a la ribera de los ríos, pero como señala Papadakis (1974) se pueden cultivar diferentes especies (frutales de carozo, nogales, etc.). Sin embargo, no hay presencia de estas especies en todas las áreas cultivables, en especial a la ribera del Calchaquí, el principal río que atraviesa el valle Calchaquí salteño zona norte y su afluente el río Luracartao. Sí se ven plantaciones de frutales en áreas de regadío de algunos ríos de la cuenca, como el Brealito. En los casos en que había frutales, las plantaciones estaban en malas condiciones para producción comercial y mostraban una caída en el crecimiento vegetativo, con una cantidad pobre de frutos, sin poder alcanzar una producción estable en condiciones aceptables (Walter, 2018).

Los suelos

Este valle se adosa a la puna, en forma de escalón topográfico, constituyéndose como bajadas naturales. Descienden a bolsones pampeanos ocupando un escalón más bajo y son relativamente planos con escasa pendiente. Los suelos son de textura media a gruesa, arenosos, pobres en materia orgánica, por lo tanto, con baja retención hídrica, alcalinos y en situación de bajos con abundantes sales. Según el sistema de clasificación de suelos USDA (Klingebiel y Montgomery, 1961), predominan los suelos no aptos para cultivos en un 44,3% (clase VI), seguidos por suelos no aptos para producción agropecuaria en un 34,4% (clase VII). Los suelos no aptos para cultivos representan un 20% (clase VII) y el resto en un 1,3% corresponde a suelos aptos para todo tipo de cultivos con pocas a severas limitaciones (clases I-II y V) (Piccolo *et al.*, 2008).

En los fondos de los valles y bolsones los materiales de origen aluvional más gruesos como arenas y pequeñas rocas se depositan en las áreas

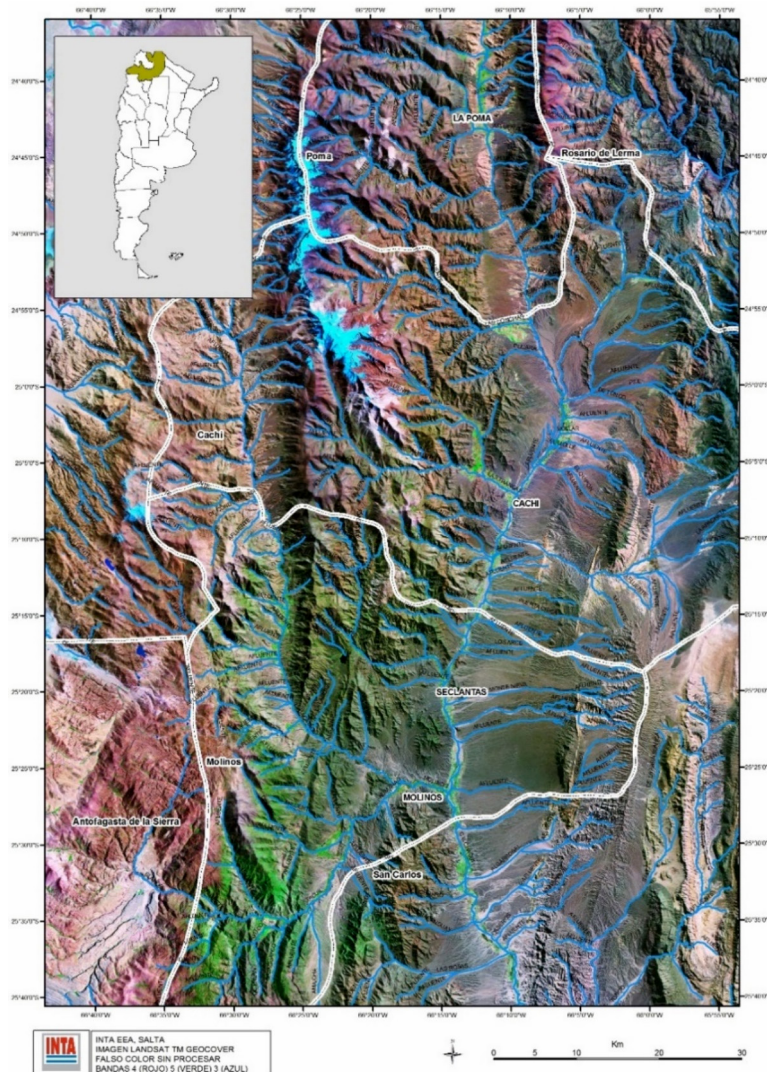


Figura 1. Valle Calchaquí salteño. Departamentos La Poma, Cachi y Molinos
Fuente: INTA EEA Salta. Imagen Landsat TM Geocover.

cercanas a las laderas montañosas y las arcillas en las partes bajas, donde también por evaporación del agua se forman depósitos salinos. En los lugares con mayor velocidad del viento, como a las salidas de las quebradas, la erosión eólica produce acumulaciones medianosas (Bianchi y Bravo, 2008).

Según Bayon *et al.* (1993), la totalidad de los suelos de los valles Calchaquíes pertenecen a los órdenes aridisoles y entisoles. Son suelos nuevos de poco desarrollo de perfil. En general son de tipo franco a franco arenosos, de texturas gruesas, a veces con presencia de gravilla (5 mm) y en

profundidad de bloques de piedra (a los 45 cm) de hasta 40 cm de diámetro. Hay elevada presencia de carbonatos y el pH puede oscilar entre 7 y 8. Así encontramos que más de un 60% de los suelos son de ligero a moderadamente alcalinos.

La salinidad, determinada por la conductividad eléctrica, evidencia que por lo menos un 30% tiene valores superiores a 4 mmhos cm^{-1} a 25 °C, que se considera alto. En general, los suelos de la zona son muy bien drenados. Hay deficiencias agudas de nitrógeno y materia orgánica y moderadas de fósforo, no así de potasio. Encontramos que un poco más del 80% de los suelos tienen menos del

2,5% de materia orgánica, el 85% posee menos de 0,15% de nitrógeno y el 40% presenta menos de 10 mg kg⁻¹ de fósforo (Ortega, 2014).

En algunos suelos existe la presencia de boro, en niveles comprendidos entre más de 1 mg L⁻¹ y 3,55 mg L⁻¹ en promedio (Walter, 2018).

Índice de productividad (IP)

Un indicador es una variable que resume o simplifica información relevante haciendo que un fenómeno o condición de interés se vuelva perceptible, mediante la cuantificación y comunicación en forma comprensible (Wilson, 2017), y los índices son los números que sirven para significar el valor de los indicadores. El IP es un importante valor que sirve como herramienta para la elección de sitios de acuerdo al tipo de suelo, donde se pueda realizar la producción de manera más sustentable. El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria ha utilizado un método paramétrico multiplicativo para medir la productividad y potencial del suelo, que es una variación del método Sistema Paramétrico de Riquier, Bramao y Cornet (FAO, 1970), con el objetivo de realizar la evaluación de tierras en Argentina (Schulz *et al.*, 2012). Se basó en estimar la productividad agraria de los suelos bajo condiciones óptimas de manejo que depende de las características intrínsecas de estos. En este cálculo se cuantifican mediante puntajes diversos parámetros del suelo y medio ambiente (Nakama & Sobral, 1987) y fue estimado por la fórmula:

$$IP = H \times D \times Pe \times Ta \times S \times N \times Mo \times P \times Pg$$

Donde: (IP) Índice de productividad de la unidad taxonómica, (H) Condición climática, (D) Drenaje, (Pe) Profundidad efectiva, (Ta) Textura superficial, (S) Salinidad, (N) Alcalinidad, (Mo) Materia orgánica, (P) Pendiente y (Pg) Pedregosidad -se considera como referencia de la vegetación: campo natural de pastoreo, ganadería ovina y camélidos. Pastura artificial: pasto llorón y cultivos bajo riego en valles y quebradas: alfalfa, maíz, papa y frutales).

Esta información fue publicada en el Atlas de Suelos de la República Argentina, en 1990. En el mismo estudio se estableció un índice de productividad (IP) y una interpretación utilitaria basada en el sistema de clasificación por capacidad de uso (USDA-SCS) para esta zona. Este sistema

consiste en agrupar unidades de tierra (mayormente unidades de suelo) que tengan respuestas comparables a su manejo y limitaciones o riesgos de degradación. Es una evaluación general de la capacidad de la tierra, sin referirse a cultivos específicos, priorizando la agricultura como el uso preferencial y con énfasis en la conservación de suelos (erosión, drenaje, limitaciones de enraizamiento y limitaciones climáticas). (Klingebiel & Montgomery, 1961). En el área de Valles y Bolsones con Oasis de Riego, donde se encuentra el valle Calchaquí salteño, Vargas Gil (1990) estableció la siguiente clasificación: predominan suelos aptos para todo tipo de cultivos con pocas a severas limitaciones de un 0,6% a 0,8% (clase V), no aptos para cultivos de un 44% a 70% (clases VI y VII) y suelos no aptos para producción agropecuaria en un 30% a 41% (clase VIII). Con estos resultados, el área arable del valle Calchaquí salteño fue estimada con potencial agroecológico y productivo de suelo clase V según USDA-SCS. Los suelos de clase V tienen poco o ningún riesgo de erosión, pero presentan otras limitaciones que reducen su uso principalmente a los pastos, rango, bosques o alimento y cobertura de vida silvestre. De acuerdo a esta clasificación, responden óptimamente a la producción hortícola y a frutales con una amplia diversidad de especies.

Resultado y discusión

Las investigaciones realizadas en la zona arable del valle Calchaquí salteño muestran a lo largo del tiempo una presencia de B asociada a toxicidad en la producción de poroto pallar (Ortega, 1992), limitación para la producción agrícola potencial en Refugio (Molinos) y Cachi Adentro (Cachi) (García Medina, 2002), toxicidad por micronutrientes en Cachi (Ortega, 2006) y presencia de B en aguas superficiales y subsuperficiales (Tabla 1), y en los suelos agrícolas (Tabla 2) regados por ríos como el Calchaquí y Luracatao (Walter, 2018).

Basados en Maas (1984) y Ayers y Westcot (1985) encontramos que el boro en un rango mayor de 0,5 mg L⁻¹ se convierte en un micronutriente que limita el desarrollo potencial e impide el crecimiento de cultivos agrícolas. Y que la toxicidad con B natural es más común en las zonas áridas y semiáridas y en cultivos que crecen en suelos formados con material de origen marino o relacionado con la utilización de agua de riego con alto contenido de B (Nable y Paul, 1990).

Tabla 1. Resultados de Análisis de aguas subsuperficiales de los departamentos de Molinos y Cachi en la zona de riego.

Año	Depto.	Paraje	Nº Análisis de laboratorio	B (mg L ⁻¹)	CE (mmhos/cm)	PH
2010	Molinos	Banda Grande	4050**	2	880	7,4
2011	Cachi	Angosto	46735*	2,1	1683	8,2
2011	Cachi	Rancagua	4198**	2,81	1120	7,8
2013	Molinos	La Angostura	4466**	3,77	1310	7,5
2013	Molinos	La Angostura	4467**	4,11	1700	7,6

Fuente elaboración propia. Laboratorios de Sec. Rec. Hid. Gob. Salta* y de LabSSAF INTA Salta**.

Tabla 2. Resultados de Análisis de suelos del departamento de Molinos en la zona de riego.

Año	Paraje	Nº de Laboratorio	B (mg L ⁻¹)	CE (mmhos/cm)	PH
2000	Montenievea	E-3580	2	1,75	7,7
2011	Cabrera	H-2421	2,31	2,82	7
2011	Sala	H-2168	3,37	0,87	7,5
2011	Aguadita	H-2164	5,26	1,77	7,5
2011	Cabrera	H-2422	3,81	1,39	7,4

Fuente elaboración propia. LabSSAF de INTA Salta. Información plan Cachi.

En los suelos del valle Calchaquí salteño hay presencia de B acumulada mayor de 0.5 mg L⁻¹ en aguas de riego y en suelos irrigados por ríos, como los principales Calchaquí y Luracatao (Walter, 2018). Esta presencia limita el establecimiento productivo de muchas especies hortícolas y frutales (Maas, 1984; Ayers y Westcot, 1985).

Las concentraciones de boro menores de 05 mg L⁻¹ permiten realizar diversidad de cultivos sin restricciones. A orillas de los ríos del valle Calchaquí salteño se presentan limitaciones variadas (según contenido acumulado de B) para un significativo número de especies. Esta afectación del rendimiento, calidad y establecimiento de cultivos hace necesaria la implementación de acciones de mitigación para disminuir los efectos negativos mediante prácticas naturales (Zimicz, 2016), químicas (MNR, 2007) y/o agronómicas especiales (Esteban *et al.*, 2016), a fin de reducir la presencia de B y contenido de esta sal en la superficie arable y evitar pérdidas económicas.

En el índice de productividad utilizado en la publicación del Atlas de Suelos de la República Argentina, la fórmula de IP no tiene en cuenta el factor boro. Considera el factor salinidad (S) que se estima identificando las sales solubles como sodio (Na⁺), potasio (K⁺), calcio (Ca⁺²) y magnesio

(Mg⁺²) enlazados principalmente con los aniones cloro (Cl⁻), sulfato (SO₄⁻²) y carbonato (CO₃⁻²) y en cantidades más limitadas con el bicarbonato (HCO₃) (Plasencia, 2017) mediante el cálculo Conductividad Eléctrica (CE) en suelo saturado. De incorporarse el B en la estimación del IP en los suelos del valle afectados, se deberán utilizar otros métodos de análisis adecuados y específicos, como el de colorimetría con azometina y con curcumina (Sadzawka, 2006). Esta incorporación a la estimación variará el valor del índice de productividad y de esta manera, la clasificación de capacidad de uso de suelo (USDA-SCS). Según GUPTA *et al.* (1985), el boro es soluble y se acumulará donde se depositen las sales (cloruro y sodio), lo que explica que los suelos salinos y sódicos presenten con frecuencia concentraciones de boro tóxicas.

Conclusión

La fórmula que se utilizará para la estimación de IP deberá considerar incorporar un nuevo factor relacionado con la presencia de B a niveles tóxicos para las zonas de los Valles y Bolsones Áridos de Salta, y específicamente en los oasis de riego donde se identifique la sal en suelos. Este cálculo estimará un valor del IP diferente al publicado a la fecha.

El resultado permitirá obtener un valor más efectivo y acertado para indicar y/o clasificar el uso del suelo y establecer un mapa de tierras, de áreas arables, con irrigación con agua de río y/o subterránea. Asimismo, se propone diseñar

una política de mitigación que permita sumar tecnología apropiada para disminuir la presencia de B, a niveles tóxicos, en las aguas de los ríos y la recuperación de tierras afectadas por estas sales para la producción.

Literatura Citada

- Ayers, R.S.; Westcot, D.W.
1985. Water Quality for Agriculture: FAO, Irrigation and Drainage N° 29. Roma, Italia. 174 p.
- Bianchi, A. y Bravo, G.
2008. Ecorregión Norandina. Descripción, subregiones, agroecosistemas, sistemas productivos y cartografía regional. Ed INTA 2008. EEA Salta, Argentina. 60 p.
- Cabrera A.L.
1994. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Fascículo 1, Tomo II. Editorial ACME S.A.C.I., Buenos Aires.
- De La Barrera, S.
2007. Manual de tecnologías para mitigar la contaminación de las aguas de riego. Ministerio Nacional de Riego. Gobierno de Chile. Santiago, Chile. 53 p.
- De la Rosa, D.
2008. Evaluación agro-ecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible. Ediciones Mundi Prensa, 1 ed. ISBN 9788484763611. 404 p.
- Esteban, W; Pacheco, P.; Tapia, L. y Bastías, E.
2016. Remediation of salt and boron-affected soil by addition of organic matter: an investigation into improving tomato plant productivity. *Idesia (Arica)*, 34(3), 25-32.
- García Medina S.
2002. Proyecto PROINDER de Investigación Adaptativa: Mejoramiento y calidad de poroto pallar orientada a mejorar la seguridad alimentaria y el ingreso de pequeños productores minifundistas de los valles Calchaquíes de Salta. Seclantás. INTA Salta.
- Klingebiel, A. y Montgomery P.
1961. Land-capability classification. USDA Agric. Handbook 210. Soil Conservation Service, USDA Washington DC. 21 p.
- Maas, E.V.
1984. Salt tolerance of plants. In B.R. Christie (ed.) Handbook of Plant Science in Agriculture. CRC Press, Boca Ratón, FL.
- Morales Poclava, C; Sobral, R.; Nakaba, V.; Volante, J. y Bianchi A.
2012. Evaluación de tierras mediante métodos paramétricos: ajuste del sistema índice de productividad, IP, y su aplicación mediante herramientas SIG para las provincias de Salta y Jujuy / Cecilia Morales 1a Ed. Ediciones INTA. Salta, Argentina. 36 p.
- Nable, R.O. and Paul, G.
1990. Effect of excess grain boron concentrations on early seedling development and growth of several wheat (*Triticum aestivum*) genotypes with different susceptibility to boron toxicity. In Plant Nutrition Physiology and Application (M. L. Van Beusichem. Ed). Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands. pp. 291-295
- Ortega, A.
1992. Intoxicación con boro en cultivos de poroto de Cachi, valles Calchaquíes, Salta. Rvta *Panorama Agropecuario*. Año XIV N° 42 (Salta): 18-19.
- Ortega, A.E.
2006. Capítulo: Toxicidad de Micronutrientes: 177-207 pp. Vázquez, Mabel (ed.). Micronutrientes en la agricultura. Diagnóstico y Fertilización en Argentina. La experiencia brasilera. Ed. AACS (Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo). Buenos Aires. ISBN N° 987-21419-4-0: 207 p.
- Ortega, A.E.
2014. Tablas de consulta para manejo de la nutrición de cultivos y suelos. INTA EEA Salta 2da ed. Agosto. Disponible: <https://inta.gob.ar/documentos/tablas-de-consulta-para-el-manejo-de-la-nutricion-de-cultivos-y-suelos> Consultado: 31/mar/2021.
- Paoli, H.
2002. Recursos hídricos de la Puna, Valles y Bolsones Áridos del Noroeste Argentina. INTA-CIED. Salta, Argentina. 271 p.
- Papadakis, J.
1974. Ecología, posibilidades agropecuarias de las provincias argentinas. En: DE la Fina, A. (ed.). Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería: el clima de la República Argentina. ACME. Buenos Aires, Argentina.
- Piccolo, A.; Giorgetti, M.; Chávez, D.
2008. Zonas Agroecológicas homogéneas Salta y Jujuy. Ed. INTA ISSN 1851-6955. Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales N° 7. Buenos Aires, Argentina. 120 p.
- Plasencia, A.
2017. Guía de Análisis de Suelos. Cátedra de Edafología. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad de Tucumán. Disponible: www.edafologia.org/descargas Consultado: 9/feb/2021.
- Riquier, I; Bramao, L.; Cornet, S.P.
1970. A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity, FAO Soil Resources, Development and Conservation Service, Land and Water Development Division, FAO, Rome. 40 p.
- Sadzawka, R.A.
2006. Métodos de análisis de aguas para riego Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Serie Actas INIA N° 37. ISSN 0717-4810. Santiago, Chile. 332 p.
- Schulz, G.; Irigoien, J.; Morales Poclava, C. y Paladino, I.
2012. Aplicación del Índice de Productividad Unificado para la Hoja Lajitas, Salta. "Latinoamérica unida protegiendo sus suelos" XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo Mar del Plata, Argentina - 16 al 20 de abril.

Van Leeuwen, A.; Köbrich, C.G. y Maino, M.

2001. Programación lineal para la elaboración de escenarios óptimos de uso de la tierra. Un método para el ordenamiento territorial basado en la evaluación de tierra con estudios de caso de Brasil y Chile. Food and Agriculture Organization (FAO). Santiago, Chile.

Vargas Gil, J.R.

1990. Salta. Atlas de Suelos de la República Argentina. Tomo II p. 289-350.

Walter, P.

2018. Niveles de boro en las aguas del río Calchaquí y sus afluentes. Salta, Argentina. *Idesia (Arica)*, 36(1): 41-48.

Wilson, M. 2017. Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina. Ediciones INTA. Entre Ríos, Argentina. 293 p.

Zimicz C.

2016. Las plantas y su capacidad para remediar sitios contaminados. *Rev. Temas BGNoa*, 6(1): 8-15.

