

Salinidad y el cultivo de la quinua – una breve revisión bibliográfica.

Roberto Miranda, Aylin Caballero, Freddy Cadena y Hugo Bosque.

- RESUMEN:** Los suelos presentan en su composición una serie de compuestos con diferentes grados de solubilidad. Las sales solubles generalmente están asociadas a la presencia de sodio, los cuales pueden llegar a acumularse en el suelo, debido a las aguas de riego. Con el aumento de las temperaturas, se prevé que las tasas de evapotranspiración también aumentarían (Motavalli *et al.*, 2013) y por tanto la acumulación de sales sobre el suelo. En este sentido es necesario tomar en cuenta plantas que tengan un alto potencial de desarrollo en estas condiciones. La quinua, presenta una gran variabilidad genética, lo que determina su gran capacidad de adaptación a diferentes condiciones como las salinas, cualidad que puede ser aprovechada para su cultivo en estos ambientes, sin embargo, como toda planta, en sus primeros estados fenológicos, su desarrollo se ve afectado por la presencia de sales, como fue evidenciado por numerosos estudios. Pese a ello, se hace necesario contar con información e investigaciones para identificar las variedades más tolerantes a la salinidad, así como sus mecanismos de adaptación.
- PALABRAS CLAVE:** Salinidad, Quinua, Altiplano de Bolivia, Potencial osmótico, Sales solubles.
- ABSTRACT:** The soils present in their composition a series of compounds with different degrees of solubility. Soluble salts are generally associated with the presence of sodium, which may accumulate in the soil due to irrigation water. With increasing temperatures, evapotranspiration rates are also expected to increase (Motavalli *et al.*, 2013) and thus the accumulation of salts on the soil. In this sense it is necessary to take into account plants that have a high development potential in these conditions. Quinoa presents a great genetic variability, which determines its great capacity to adapt to different conditions such as salinity, a quality that can be exploited for its cultivation in these environments, however, as any plant, in its first phenological states, its Development is affected by the presence of salts, as evidenced by numerous studies. In spite of this, it is necessary to have information and research to identify the most tolerant varieties to salinity as well as their adaptation mechanisms.
- KEYWORDS:** Salinity, Quinoa, Bolivian highlands, Osmotic Potential, Soluble Salts.

AUTORES: **Roberto Miranda.** Docente Investigador. ANDESCROP. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. robertomicasa@gmail.com
Aylin Caballero. ANDESCROP. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.
Freddy Cadena. Técnico Investigador. ANDESCROP. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. cadkurmi@yahoo.es
Hugo Bosque. Coordinador Nacional. ANDESCROP. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. hugobosque@yahoo.es

Recibido: 30/08/16.

Aprobado: 12/12/16.

INTRODUCCIÓN

La presencia de sales en el suelo, está asociado a procesos naturales de mineralización o intemperización de las rocas, durante la formación de suelos. En climas húmedos, estas sales, que son generalmente solubles, son eliminados del perfil del suelo través del proceso de lixiviación, sin embargo, en regiones áridas o semiáridas, donde las precipitaciones no logran lavar las sales, se tiene una acumulación de los mismos en los diferentes horizontes del suelo. En el caso de la cuenca del

Altiplano boliviano, la salinidad en suelos, tiene su origen también, en los resabios de los lagos Minchin y Ballivian (Orsag y Flores, 2002). Por otro lado, la problemática de la salinidad en Bolivia, abarca la cuenca del río Desaguadero en el Altiplano boliviano, además de los valles de Cochabamba, Santa Cruz, y las llanuras de depresión del Beni. En este ecosistema salino, varias especies vegetales lograron adaptarse para sobrevivir, a través de diferentes mecanismos de ajuste osmótico, es el caso de las plantas halophytas como la *Suaeda foliosa*, *Antobrium triandrum*,

Salicornia pulvinata, *Distichilis humilis*, etc., (Miranda, 1995), además de la quinua.

ANTECEDENTES

Factores que Influyen en la Salinización de los Suelos

El problema de la salinidad es más evidente en zonas áridas y semiáridas, donde se tiene un déficit hídrico, como es el caso de la cuenca del Altiplano boliviano. Solo en la cuenca del río Desaguadero, la ALT, estimo 9000 km² de área con riesgos de salinidad (Hervé *et al.*, 2002). Definitivamente, el clima, determina en forma dinámica, la ocurrencia de procesos físicos, químicos o biológicos que tienen influencia en la dinámica de los iones o sales del suelo. El Altiplano boliviano, desde el punto de vista ecológico, se divide en tres zonas: Altiplano Norte, Central y Sur.

El Altiplano presenta una precipitación media de 600 a 700 mm anuales, siendo que un 20 a 25% de las precipitaciones ocurren en los meses de diciembre y enero. La temperatura media anual llega a 7 °C, presentándose amplitudes térmicas extremas. El Altiplano Central presenta una precipitación media de 409 mm anuales con una estación seca entre los meses de abril a noviembre y una estación lluviosa en los meses de diciembre a marzo. La temperatura promedio es de 8 °C, y finalmente el Altiplano Sur tiene una precipitación anual de 206 mm (Miranda, 2012). La ausencia de nubes determina el calentamiento del aire en el día y la pérdida rápida de calor en las noches por irradiación (Inda, 2010).

Por otro lado, la cuenca del Altiplano, es denominada Endorreica, es decir que las aguas que provienen de las precipitaciones y que alimentan el lago Titicaca y que posteriormente avanza hacia el Sur, conformado el río Desaguadero, llega al lago Poopó y debido a la topografía plana, esta se pierde en las llanuras aluviales. Por tanto, el factor, pendiente, también incide en la acumulación de sales en estos suelos.

Una de las pocas fuentes de agua, para el Altiplano Norte y Central lo constituye el río Desaguadero y su

tributario el lago Poopó. Según Carmouse *et al.*, (1981), citado por Herve *et al.*, (2002) el lago Titicaca constituye en una reserva considerable de agua (9448 km x 937 km y 100 metros de profundidad en promedio. El volumen de agua que sale del lago por el Desaguadero, según este mismo autor, es de 0,056x10⁹ m³ en 1969 – 1970, año de aguas bajas y de 1,12x10⁹ m³ en 1964-1965, año de aguas altas. Después de un recorrido de aproximadamente 270 km y debajo de la localidad de Chuquiña, el río Desaguadero se separa en dos brazos para finalmente alimentar a los lagos Uru Uru y Poopo. La región sureste de la cuenca está sometida a inundaciones durante la estación de lluvias, en razón de la reducida pendiente (0,04%) del sistema fluvio lacustre. La salinidad de estas aguas, está relacionada con la erosión química de formaciones volcánicas y sedimentarias. La evaporación, hace que estas aguas concentren sus aguas con las sales disueltas, sin embargo, en época de lluvias ocurre una disolución, por tanto, la calidad de las aguas, varía en función del tiempo y del espacio. En el Altiplano Sur, la salinidad está asociada a la presencia del salar de Uyuni. Risacher y Fritz (1995), citado por Herve (2002), explican que el salar proviene del desecamiento de hace 10 millones de años del lago Tauca, la cual tenía una superficie de 45000 km² y 80 metros de profundidad, durante el cuaternario, reflejando las oscilaciones climáticas y los episodios sedimentarios.

Efecto de las Sales en el Desarrollo de la Planta

Según Aragón (1985), las altas concentraciones de sales en suelos, pueden disminuir el crecimiento de las plantas por efectos osmóticos (desequilibrio de iones nutrimentales) y por efectos tóxicos (excesiva acumulación de un ión). Los principales solutos que incrementan la salinidad, en algunas especies son la *glicinabelina* y *prolina*. La acumulación de *glicinabelina* es característica de grupos taxonómicos como las Chenopodiaceas y gramináceas. Por otro lado, Ledent (1998), indica que una proporción demasiado alta de sodio respecto al potasio, así como concentraciones elevadas en sales totales, inactivan

las enzimas y bloquean la formación de proteínas, asimismo, la fotosíntesis también es inhibida por las altas concentraciones de sodio y cloro en los cloroplastos.

La presencia de cloruros puede interferir en la nutrición vegetal con el nitrógeno, fósforo o azufre, en la absorción de aniones esenciales presentes en el sustrato salino. Asimismo, Pizarro (1986), menciona que el anión cloro no es absorbido por el complejo absorbente del suelo, pero se encuentra disuelto en la solución del suelo, de donde puede ser absorbido por las raíces y conducido a las hojas, donde se puede acumular y provocar quemaduras en la punta de las hojas, ocasionando la caída prematura del follaje. Estos síntomas se observan en las hojas más antiguas ya que se requiere tiempo antes que la acumulación alcance proporciones de toxicidad.

Mecanismos de Adaptación a la Salinidad de la Quinua

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*), es una especie que cuenta en Bolivia con más de 3000 variedades y que presenta una gran variabilidad genética, habiendo especies que han desarrollado tolerancia a la salinidad (Jacobsen y Bosque, 2002). En condiciones de stress y sequía, Bosque *et al.*, (2003), encontró que la resistencia estomática de la variedad Real (ecotipo de los salares de Uyuni), fluctúa entre 4,8 a 16,1 mS/cm. Sin embargo, Cari (1978), reportó que las concentraciones de 8,1 y 16 mS/cm de conductividad eléctrica son letales para el crecimiento de la quinua. Este resultado, corrobora la variabilidad de este cultivo. Valero (2006), probó los genotipos Utusaya, G-205-95DK, Linea-320 y línea1887 en cuatro concentraciones de cloruro de sodio, habiendo encontrado que los genotipos más tolerantes para un nivel máximo de 0,3 M de concentración de cloruro de sodio fueron la Utusaya y G205-95DK. Razzaghi *et al.*, (2012), encontraron que la variedad de quinua denominada Titicaca, puede aclimatarse a niveles de salinidad de 20 hasta 40 mmhos/cm. Por otro lado, De Latorre y Pinto

(2009), encontraron que ciertas variedades de quinua disminuyen hasta un 54% de su germinación cuando la concentración de la solución del suelo llega a 0,4M de cloruro de sodio.

De acuerdo a Gonzales (1999), la quinua presenta una serie de estrategias para el control o resistencia de la salinidad tales como la Evitación que incluye el crecimiento de la planta en condiciones favorables, evasión que implica la selectividad contra el cloruro de sodio, lixiviación de las sales fuera de los tejidos asimilatorios, translocación de sales a las raíces y excreción por las mismas, eliminación de las partes viejas, etc., la tolerancia que se refiere a la resistencia de los tejidos, células u organelas a las sales, incremento de la succulencia de la hoja, tallos o reducción de las hojas. Otra respuesta fisiológica de las plantas a la salinidad, es a través de la disminución de la conductancia estomática, de esta manera, reducen la transpiración, evitando la sequía fisiológica para mantener la turgencia de las células indispensables para el crecimiento. Está claro, que al cerrar las estomas, se reduce la actividad fotosintética y por tanto la producción de biomasa (Aragon, 1985, Porta *et al.*, 1994). Varios estudios mencionan que, la concentración de sales no producen la muerte del embrión, sino retrasan los mecanismos fisiológicos básicos implicados en la primera etapa de la germinación (Verena *et al.*, 2012; Bosque, 2003, Valero, 2006). Las altas concentraciones de sal en el ambiente, tienden a provocar el déficit hídrico en la planta. Las plantas halophytas para su sobrevivencia en medios salinos requieren disminuir el potencial hídrico en su sistema, esto se logra, incrementando solutos con el uso de iones presentes en la solución del suelo y sintetizando solutos orgánicos. Esta habilidad de acumular diferentes iones para mantener el crecimiento y evitar un déficit hídrico o el exceso de iones, es propia de las plantas halophytas.

La reducción del crecimiento de la planta debido al estrés salino, puede estar relacionado con los efectos adversos del exceso de sales sobre la homeostasis iónica, balance hídrico, nutrición mineral y metabolismo del carbono fotosintético (Zhu, 2001).

La tolerancia de las plantas hacia las sales se ve afectadas por el estado nutricional, ajuste osmótico, mejoramiento genético, etc.

La sanidad de la planta está relacionada con la habilidad de los genotipos de plantas en mantener altos contenidos de K y Ca y bajos contenidos de Na dentro de sus tejidos, es un mecanismo clave que contribuye para expresar la tolerancia a la salinidad. El nitrógeno en forma de nitrato, también se ve afectado en su absorción, cuando hay en la solución del suelo compuestos como el cloruro de sodio, a pesar de haber un aumento en sodio en las hojas de tomate (Phillset *al.*, 1979). Existe mucha discusión sobre el beneficio de la fertilización en el incremento de la tolerancia a la salinidad, en todo caso, el hecho de contar con plantas bien nutridas que toleran más la salinidad, en relación a plantas que están sometidas a una deficiencia química. Por tanto, es importante que se cuente con un programa eficiente de manejo del suelo y de abonamiento para la convivencia con la salinidad sea posible.

Ya se mencionó que el ajuste osmótico es un proceso común en plantas denominadas halophytas. Estas plantas absorben, por ejemplo, el cloruro de sodio en altas concentraciones y las acumula en sus hojas para establecer un equilibrio osmótico con un bajo potencial del agua presente en el suelo. Este ajuste osmótico se da como consecuencia de la acumulación de iones absorbidos en las vacuolas de las células de las hojas, manteniendo la concentración salina en el citoplasma y en las organelas en bajos niveles de modo que no haya interferencia con los mecanismos enzimáticos y metabólicos y con la hidratación de las proteínas de las células. Esta partición de sal, es la que permite a las plantas halophytas vivir en ambientes salinos (Epstein, 1984; citado por Herve, 2002).

La respuesta de las plantas a los estreses abióticos, en los cuales se incluye al estrés salino, involucra una serie de reacciones bioquímicas, que son reguladas por genes específicos. Hoy en día, con el desarrollo de la tecnología, según Wu *et al.*, (1996) ya es posible conseguir cultivares de especies de plantas

originalmente sensibles a la salinidad. Por ejemplo, el gen SOS1 es un gene altamente sensible al sodio y es el responsable por el flujo de Na^+/H^+ que ocurre en la membrana celular, regulando de esta manera la concentración de sodio al interior de las células.

El bajo potencial osmótico, característico de la quinua (-1,2 a -1,4 MPa) puede ser un mecanismo de tolerancia a la sequía que se refleja en el mantenimiento de la turgencia (Jacobsen y Mujica, 1999). Según estos mismos autores en Puno – Perú se han identificado 103 accesiones, de los cuales fueron seleccionados cuatro cultivares con la capacidad de germinar y desarrollarse en una concentración de cloruro de sodio de 600 mM. Por otro lado, la germinación es considerada el periodo más crítico en el ciclo de cultivo de las plantas. En esta etapa, hubo un estímulo en la tasa de germinación de la quinua con bajas concentraciones de sal, esta tasa de germinación, disminuyó cuando la concentración llegó hasta 350 mM. Una amplia revisión sobre los mecanismos de adaptación de la quinua se encuentra en Verena *et al.*, (2012), donde se menciona que variedades de quinua como la *utusaya* mantienen una relativa alta conductividad estomática.

CONCLUSIONES

Muchos trabajos señalan que la germinación es la etapa fenológica más sensible a la presencia de sales en la solución del suelo, siendo más resistentes las plantas de quinua, en las otras fases fenológicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adolf, V. I., Jacobsen, S. E., Shabala, S. 2013. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Environmental and Experimental Botany.
- Aragon, C. M. 1985. Estudio de tolerancia y susceptibilidad del trigo a la salinidad y algunos mecanismos de adaptación. Chapingo – Mexico.

Bosque, H., Lemeur, R., Van Damme, P., Jacobsen, S-E. 2003. Ecophysiological Analysis of Drought and Salinity Stress of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Foot Reviews International.v 19, n 1 y 2, p. 11-119.

De Latorre-Herrera, J., Pinto, M. 2009.Importance of ionic and osmotic componets of salt stress on the germination of four quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) selections.Chilean Journal of Agricultural Research.69 (4): 477-485.

Gonzales, J. A. 1999. Ecofisiología y morfología del estrés debido a factores adversos. En Jacobsen, S-E y Mujica, A. (Eds). I curso internacional sobre Fisiología de la resistencia a sequia en Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima – Peru, p.3-29.

Herve, D., Ledezma, R., Orsag, V. 2002. Limitantes y manejo de los suelos salinos y/o sódicos en el Altiplano boliviano. IRD, CONDESAN. 272 p.

Inda, R. 2010. Evaluación del comportamiento del nitrógeno en parcelas con cultivo de quinua bajo diferente manejo de suelos (Municipio de salinas de Garcí Mendoza), Oruro. Tesis de Licenciatura – Universidad Mayor de San Andrés, La Paz – Bolivia. 138p.

Jacobsen, S. E., Bosque, H. 2002. Potencial de producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Gualberto Villarroel. En imitantes y manejo de los suelos salinos y/o sódicos en el altiplano boliviano. Editores científicos (Herve D, Ledezma, R., Orsag, V.). IRD, CONDESAN.

Jacobsen, S. E.; Quispe, H.; Mujica, A. Quinoa: 2000. An alternative Crop form Saline Soils in the Andes. CIP Program Report. 403-408.

Jacobsen, S-E., Mujica, A. 1999. Quinoa: Cultivo con Resistencia a la sequia y otros factores adversos. IV Simposio Internacional de Desarrollo Sustentable. Consultado: 20 de mayo del 2014.

<http://hoeger.com.ve/ama/pdf/sesion-biodiversidad-05.pdf>.

Ledent, J. F. Deficit hídrico y crecimiento de las plantas: respuestas al déficit hídrico, comportamiento morfofisiológico. pp27 y 28.

Miranda, R. 1995. Caracterización físico – química de los suelos del cantón San José Llanga y su relación con asociaciones vegetales. Tesis de licenciatura – Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia, 129 p.

Miranda, R. 2012. Adubação orgânica em condições de Irrigação suplementar e seu efeito na Produtividade da quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) no planalto da Bolívia. Tesis de Doctorado en la Ciencia del Suelo. Universidad Federal de Santa Maria. Santa Maria, Brasil. 98p.

Motavalli, P. P., Aguilera, J., Blanco-Canqui, H., Valdivia, C. 2013. Los suelos y el cambio climático: consecuencias y potencial de adaptación en el altiplano boliviano andino. p 99-122. En Jiménez. E. (eds) Cambio climático y adaptación en el Altiplano boliviano. Ediciones CIDES – UMSA. La Paz Bolivia.

Orsag, V., Flores, M. 2002. Principios del origen, formación y clasificación de los suelos salinos y sódicos. En imitantes y manejo de los suelos salinos y/o sódicos en el Altiplano boliviano. Editores científicos (Herve D, Ledezma, R., Orsag, V.). IRD, CONDESAN.

Phills, B. R.; Peck, N. H.; MacDonald, G. E.; Robinson, R. W. 1979. Differential response of Lycopersicon and Solanum species to salinity. Journal of the American Society for Horticultural Science, v.104, n.3, p.349-352,

Pizarro, C. F. 1986. Riegos localizados de alta frecuencia. Editorial Mundi – Prensa. España, pp. 110 -113.

Porta, J, Lopez-Acevedo, M., Roquero, C. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Edit. Mundi Pres. Madrid.España.807 p.

Razzaghi, F., Ahmadi, S. H., Jacobsen, S.E., Jensen, C. R., Andersen, M. N. 2012. Effects of salinity and Soil-Drying on radiation use efficiency, water productivity and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Journal agronomy and Crop Science. 173-184.

Valero, R. 2006. Efecto del stress salino en cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en ambiente protegido. Tesis de Licenciatura - Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 84p.

Verena, I. A., Jacobsen, S-E., Shabala, S. 2012. Salt tolerance mechanisms (*Chenopodium quinoa* Willd.). Environmental and Experimental Botany.v 92, p. 43-54.

Wu, S. J.; Ding, L.; Zhu, J. K. 1996. SOS1, a genetic locus essential for salt tolerance and potassium acquisition. The Plant Cell, v.8, n.4, p.617-627.

Zhu, J.-K. 2001. Cell signaling under salt, water and cold stresses. Current Opinion on Plant Biology, v.4, p.401-406.