

AVANCES SOBRE LA TOLERANCIA A LA SALINIDAD EN ALFALFA (*Medicago sativa* L.) Y SUS IMPLICANCIAS PARA EL AMBIENTE SEMIÁRIDO SALINO BAJO RIEGO: DESARROLLO DE UN NUEVO CULTIVAR MEDIANTE MEJORAMIENTO GENÉTICO CONVENCIONAL.

Cornacchione, M.V.
Pasturas Cultivadas-Área de Producción Animal. INTA Santiago del Estero.
cornacchione.monica@inta.gob.ar

RESUMEN

El aumento de la salinización del suelo es un problema que limita la producción agropecuaria. La necesidad de disponer de cultivos y forrajes capaces de hacer frente a este estrés tan complejo se ha convertido en una de las prioridades para el mejoramiento genético vegetal. La alfalfa es la forrajera más valiosa a nivel mundial que compite en la actualidad por suelo y agua con otros cultivos. Es un cultivo tradicional bajo riego en regiones áridas y semiáridas, que en general están afectadas por salinidad y que presentan una variable disponibilidad de agua, tanto en cantidad como en calidad. En busca de mayor adaptación y tolerancia a este estrés, entre 2007/2011 el programa de mejoramiento genético de alfalfa del INTA obtuvo poblaciones experimentales (SISAs, Sintético Santiago) sin reposo, germinadas y seleccionadas en suelos salinos y salino-sódicos en Isla Verde, Santiago del Estero, Argentina. Posteriormente, se realizaron diversos estudios controlados de larga duración, en las instalaciones del Laboratorio de Salinidad del USDA en Riverside, con el uso de aguas salinas donde se evaluaron respuestas morfológicas, productivas, fisiológicas, y bioquímicas. Una población (SISA 14) combinó alta tolerancia y mayor producción de biomasa (gr pl^{-1}), explicada en parte por una menor concentración de Na en su biomasa aérea como uno de los atributos asociados con uno de los mecanismos de tolerancia (Cornacchione y Suárez, 2017). En 2019, esa población fue inscrita como *Kumen PV INTA* en el Registro Nacional de Propiedad de Cultivares y será comercializado a partir del 2020.

Salinidad: un estrés de relevancia- La salinización ha sido identificada como uno de los factores más importantes en la degradación de los suelos agrícolas bajo riego, que atenta contra el bienestar ambiental y humano, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria. Un informe reciente del Banco Mundial (Damania *et al.*, 2019) focaliza la importancia de la problemática dual, mencionando: “el mundo enfrenta una crisis invisible en la calidad del agua que disminuye en un tercio el potencial económico en zonas altamente contaminadas” y que debido a “la salinidad de las aguas, en el mundo se pierde cada año una cantidad de alimentos suficiente para 170 millones de personas”. Es sabido que la producción y rendimiento de los cultivos disminuyen cuando la salinidad aumenta, por lo tanto: “más sal en el agua significa menos comida para el mundo”.

Diversos escenarios han sido presentados en el último Forum mundial de Salinidad (2014) sobre los riesgos crecientes de la salinización agravados por: a) la expansión de la agricultura, que a nivel mundial viene ejerciendo presión sobre las fuentes de agua subterránea disminuyendo su

disponibilidad y calidad, y b) por el efecto del cambio climático. El aumento de temperatura media global expuesto en el reciente reporte del Panel de Cambio Climático (IPCC, 2019) pone en evidencia la incertidumbre en la magnitud de los cambios en los ecosistemas y las respuestas de las plantas. El aumento de la temperatura, provoca mayores demandas de evapotranspiración que activan el aumento capilar de sales, que conducen a la salinización del suelo. A su vez, los cambios en los patrones de la precipitación, provocan mayores escorrentías que infiltración y dificultades para la regulación caudal y almacenamiento de agua en el suelo.

Hace mas de una década, la FAO (2005), relevó que unas 400 millones de ha en todo el mundo estaban afectadas por salinidad, y una cantidad similar por sodicidad (la mayoría de origen natural); y de los 230 millones de ha bajo riego, un 19,5% estaban afectados por salinidad. En un documento mas reciente de la FAO (2015) menciona que una proporción significativa de tierras agrícolas recientemente cultivadas se han salinizado debido al desmonte y/o al riego (FAO-ITPS, 2015). Esto evidencia el avance creciente del problema.

La *salinización* es el resultado de la acumulación de sales solubles en la solución del suelo que sobrepasa un cierto umbral, partir del cual impacta en la producción. Un suelo se considera salino si la conductividad eléctrica de su extracto de saturación (CEe) es superior a 4 dS m^{-1} (US Salinity Lab., 1954). La *sodificación*, en cambio, es cuando el contenido del ion sodio (Na^+) supera un cierto umbral en el complejo de intercambio del suelo, provocando la dispersión de los coloides y desencadenando problemas de infiltración y profundización del sistema radicular de las plantas (Prieto *et al.*, 2015). El peligro potencial del sodio se evalúa generalmente por el porcentaje de sodio intercambiable (PSI)¹ y por la relación de adsorción de sodio (RAS)². En términos de la calidad del agua, valores de $\text{RAS} \geq 5$ son indicadores de un riesgo potencial (US Salinity Lab., 1954). Se requieren buenos diagnósticos para definir si el suelo es salino, salino sódico o sódico, por su manejo y el uso de aguas salinas, por sus consecuencias en el suelo.

La salinización del suelo se produce mayormente en regiones áridas y semiáridas (FAO-ITPS, 2015) por disolución de las sales existentes en el perfil del suelo regado, por la elevación desde la freática, y también es consecuencia de los excesos de agua por las ineficiencias de riego que superan a la capacidad de drenaje de los suelos provocando la elevación del nivel freático. En las regiones más húmedas -sin riego- en general la presencia del Na^+ es la causa del deterioro de la matriz del suelo (Sanchez *et al.*, 2015).

Argentina, no escapa a esta problemática. Se estima que hay más de 13 millones de ha salinizadas (Inta, 2011). Las regiones más afectadas se encuentran el Chaco semiárido, la depresión del salado y el noroeste de Buenos Aires. Sobre las áreas de riego en el país y su afectación salina y/o sódica se relevaron unas 630.000 ha afectadas (Prieto *et al.*, 2015).

Menos del 10% del área bajo riego del país se encuentra en la provincia de Santiago del Estero y de éstas unas 110.000 ha corresponden al Sistema de Riego del Río Dulce, donde la salinización y la

¹ PSI: el porcentaje de las cargas negativas ocupadas por el sodio en los sitios de intercambio de cationes.

² RAS: definido por $[\text{Na}/(\text{Ca}+\text{Mg})/2]^{-0.5}$, donde las unidades se expresan en meq/L.

sodificación se encuentran entre los principales amenazas para la agricultura sostenida (Prieto *et al.*, 2005).

Efecto de la sal en las plantas- La sal en el agua inhibe el crecimiento de las plantas por efecto osmótico e iónico. Primero, las altas concentraciones de sales disueltas reducen el potencial osmótico y reduce la capacidad de la planta de absorber agua, y esto lleva a un crecimiento más lento; Segundo, los iones ingresan a la corriente de transpiración y pueden inducir a desequilibrios nutricionales por el desbalance que generan, además de toxicidad (Munns and Tester, 2008). Por lo tanto, las plantas desarrollan mecanismos para enfrentar este estrés que controlan el crecimiento y otros que minimizan la entrada de iones por la raíces, la acumulación de iones en las vacuolas de las células de la raíz o follaje, y la regulación del transporte de iones de la raíz al follaje (Munns, 2005). Entre las respuestas se encuentran las modificaciones de los caracteres morfológicos y fisiológicos (cambios en el crecimiento de las plantas, demora y disminución de la emergencia, regulación estomática y tasa de fotosíntesis, entre otros), que están relacionados con diversas modificaciones celulares que incluyen: cambio en la estabilidad de las proteínas y membranas, activación transcripcional de genes del metabolismo, producción y acumulación de osmolitos y antioxidantes, y activación de las vías de señalización, entre otros (Sandhu *et al.*, 2017).

Generalmente, la tolerancia a la salinidad en los cultivos se caracteriza como una tolerancia relativa, estimada a través del modelo de umbral y pendiente, donde el umbral es la salinidad en el que el rendimiento comienza a declinar y la pendiente expresa la disminución del rendimiento relativo por unidad de CE (dS m^{-1}). La tolerancia es el cociente entre la biomasa producida en cada nivel de salinidad y la biomasa del control, siendo esta relación un criterio generalmente utilizado para medir la tolerancia a la sal (Shannon, 1985).

Alfalfa: un cultivo que le hace frente al estrés salino- En Argentina hay aproximadamente 3.2 millones de ha de alfalfa (Basigalup, 2017) creciendo bajo diferentes condiciones en secano y bajo riego. Debido a los cambios rápidos y expansivos en el uso del suelo, con el avance de la frontera agrícola en el país (Andrade *et al.*, 2017), y el desplazamiento de la ganadería a áreas de menor potencial productivo, la alfalfa enfrenta nuevos escenarios en sus áreas de producción. Por un lado: las condiciones de salinidad asociadas al anegamiento y ascenso de napas en la región pampeana (áreas deprimidas) y por otro lado en áreas áridas y semiáridas bajo riego que en general están afectadas por salinidad y las aguas de riego son de menor calidad (Lavado, 2008; Prieto *et al.*, 2015). Este contexto impone un desafío extra, ya que la alfalfa al ser perenne, debe enfrentar las variaciones típicas de la dinámica de las sales en relación a las condiciones ambientales dentro y entre años, a lo largo de sus años de producción.

En el área de riego del río Dulce, la alfalfa bajo riego superficial es un cultivo tradicional alcanzando en la actualidad unas 24.500 ha implantadas (Barraza *et al.*, 2019). Desde que el grado de salinización del suelo es variable, dependiendo de la disponibilidad de agua y manejo (Prieto *et al.*, 2008), también lo es la producción de biomasa de alfalfa y su persistencia (Cornacchione, 2015).

Avances sobre la tolerancia en alfalfa- La alfalfa ha sido clasificada como moderadamente sensible a la salinidad (Maas, 1987). Resultados de investigaciones recientes han puesto en evidencia que la alfalfa es más tolerante a la salinidad de lo que se creía. El umbral de CEe: 2 dS m^{-1} propuesto por Maas (1987) es en realidad superior y diversos estudios lo confirman (Cornacchione y Suarez, 2015, 2017; Putnam *et al.*, 2017; Díaz *et al.*, 2018).

Para algunos cultivos se ha reportado que la etapa de germinación y emergencia son las etapas más sensibles bajo el estrés salino. La literatura es variada y no es clara sobre el concepto general sobre cuál etapa es más importante en la tolerancia, ya que diferentes respuestas han sido encontradas dependiendo de la especie, cultivar, las condiciones experimentales, el tipo de sales disueltas y los niveles de salinidad. Un trabajo interesante que pone en duda la correlación entre la tasa de emergencia y la posible tolerancia a la salinidad en etapa de cultivo concluyó que la capacidad de emerger en condiciones salinas no representa un indicador de tolerancia, tanto para especies tolerantes (ej. trigo duro y cebada) como para las sensibles (ej. garbanzos) (Katerji *et al.*, 2012). En alfalfa, los resultados también son diversos, mientras que algunos autores han concluido que la capacidad de las plantas para producir biomasa no está necesariamente relacionada con la germinación o emergencia (Al-Niemi *et al.*, 1992; Johnson *et al.*, 1992; Rumbaugh y Pendery, 1990; Steppuhn *et al.*, 2012), otros han demostrado una correlación positiva entre la germinación con potencial de rebrote bajo estrés salino (experimento de invernadero) y también con producción en condiciones de campo (Scasta *et al.*, 2012).

Investigaciones más recientes realizadas sobre cultivares tolerantes a salinidad indicaron que la tolerancia no depende de la etapa de crecimiento, dado que los niveles de tolerancia durante la emergencia de las plántulas fueron comparables a los exhibidos durante la fase vegetativa (Cornacchione y Suarez, 2015). Este estudio también demostró que cuando el efecto de la salinidad estuvo presente desde la siembra, la emergencia de las plántulas no sólo se retrasó, sino que también disminuyó significativamente, en especial cuando la salinidad del agua de riego (CEa) fue de $18,4$ a $24,0 \text{ dS m}^{-1}$. La reducción de emergencia relativa se observó a partir de los $12,7 \text{ dS m}^{-1}$ (umbral). Los resultados de la reducción de biomasa con el incremento de la salinidad son variables. Las investigaciones en invernáculo, a campo, con diferentes sales y condiciones experimentales hacen que se dificulte la extrapolación de los mismos, pero todos indican un avance en la tolerancia en alfalfa. Para este experimento (Cornacchione y Suarez, 2015) el rendimiento promedio (grMS m^{-2}) disminuyó con el incremento de la salinidad, influenciado en parte por una disminución de la densidad de plantas en el tiempo. La tolerancia promedio de los cortes disminuyó significativamente a partir de $12,7 \text{ dS m}^{-1}$ (umbral), y alcanzó reducciones de 32 y 70% a CEa de $18,4$ y $24,0 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente. Se observó que, las producciones de MS por corte respecto del control variaban según las estaciones; por ej., el promedio de la salinidad umbral fue menor en verano (cuando las temperaturas y la evapotranspiración son mayores) que en invierno/primavera temprana. Los umbrales de CEa se dieron aproximadamente entre $7,2$ - $12,7 \text{ dS m}^{-1}$ en verano y entre $18,4$ - 24 dS m^{-1} en invierno-primavera temprana, respectivamente; estos rangos corresponden a valores de CEe de $3,4$ - $6,0$ y $8,7$ - $11,3 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente. Estos aspectos del estudio permitieron concluir que la tolerancia de la alfalfa a la salinidad se vio afectada por las condiciones climáticas y que el aumento de la salinidad afectó la composición iónica del forraje, ya sea aumentando o disminuyendo la

concentración de algunos iones, pero siempre dentro de rangos suficientes para un buen crecimiento de alfalfa. De la misma investigación se concluyó que la salinidad, en general, mejoró levemente algunos parámetros de calidad forrajera –como PB, FDA y FDN- pero no afectó la capacidad antioxidante del forraje. También la evaluación de la composición iónica del forraje en términos de nutrición mineral para los rumiantes, permitió analizar las concentraciones de los macro y micronutrientes con los máximos tolerables por los animales (Ferreira *et al.*, 2015). En general, las plantas más tolerantes pueden restringir las acumulaciones de iones como Na⁺ y Cl⁻ (Munns y Tester, 2008). Estos iones, pueden limitar el crecimiento de las plantas a través de diferentes mecanismos simultáneamente (Tavakkoli *et al.*, 2010). Investigaciones recientes en alfalfa, proveen evidencia que la concentración de Na⁺ proporciona un explicación parcial de la tolerancia a la salinidad (Cornacchione y Suarez, 2015, 2017; Benes, 2018).

Desarrollo de un nuevo cultivar mediante mejoramiento genético convencional- El programa de mejoramiento genético de INTA, obtuvo un nuevo cultivar con tolerancia a la salinidad. El germoplasma SISA 14 es una población sintética³ derivada de tres ciclos de selección fenotípica recurrente en condiciones salinas semiáridas realizadas en Isla Verde, Santiago del Estero, Argentina. En 2019, el cultivar fue inscripto como *Kumen PV INTA* y será comercializado a partir del 2020. El desarrollo completo de la obtención del cultivar puede leerse en Cornacchione *et al.*, (2018).

Avances en la expresión de genes ligados a la tolerancia- Las mismas investigaciones con aguas salinas, mostraron que existe una variación considerable para la tolerancia a la salinidad entre genotipos (Cornacchione y Suarez, 2015; Cornacchione y Suarez, 2017). Luego de la selección de distintos genotipos y posterior clonación, se inició un estudio de expresión de genes, que ha permitido clasificar genotipos en función de su capacidad para regular diferentes componentes del mecanismo de tolerancia (Sandhu *et al.*, 2017). En este estudio se identificó y evaluó la expresión de 21 genes que fueron clasificados en 5 grupos según los diferentes mecanismos involucrados en la tolerancia (eflujo de Na⁺ desde la raíz, secuestro de Na⁺ en las vacuolas, recuperación del Na⁺ desde el xilema, síntesis de antioxidantes y solutos, transducción de señales). Posteriormente, se cruzaron diferentes genotipos seleccionados y la investigación continua en la actualidad en las instalaciones del Laboratorio de Salinidad en Riverside, con el desarrollo de las F1. Para abordar este problema complejo, es importante vincular las respuestas bioquímicas y fisiológicas con los mecanismos genéticos subyacentes. La identificación de los mecanismos genéticos que regulan la tolerancia a la sal en alfalfa es la clave para el avance exitoso en la mejora genética.

Recomendaciones finales con implicancia en el semiárido- Las estrategias de manejo para el cultivo de la alfalfa en condiciones salinas claramente incluyen la siembra de cultivares más tolerantes. Pero, bajo condiciones de riego, es aún más significativo utilizar densidades de siembra mayores a las recomendadas que para condiciones no salinas; de esta manera, se podría explotar la gran variabilidad

³ Una variedad sintética de alfalfa es un cultivar producido por el libre apareamiento de varios progenitores, de manera tal que cada posible cruzamiento tenga igual probabilidad de ocurrencia (Busbice, 1969); es un conjunto de infinitos genotipos con un alto grado de uniformidad fenotípica que se mantiene a lo largo de las generaciones.

de tolerancia a la salinidad que existe entre las plantas individuales, posibilitando el establecimiento de una mayor población de plantas capaces de sobrevivir en esas condiciones salinas. Por el contrario, en condiciones de secano, utilizar una densidad de siembra inferior sería preferible a efectos de soportar mejor el estrés hídrico que suele darse periódicamente bajo condiciones de salinidad. Previo a la siembra, la lixiviación (lavado) con agua dulce, siempre que fuera posible, es generalmente beneficiosa, en particular cuando se utilizan cultivares de alfalfa sin tolerancia. Debe recordarse que la alfalfa es menos tolerante a la sal en ambientes calurosos que en aquellos más fríos. Por último, la alfalfa es sensible a la falta de oxigenación a nivel radicular, por lo que las condiciones de anegamiento y dispersión provocadas por un alto contenido sodio son altamente perjudiciales.

En consecuencia, se concluye la necesidad de contar con un buen conocimiento de las condiciones físico-químicas de los suelos previo a la toma de decisión de sembrar alfalfa (Suarez y Cornacchione, 2015).

BIBLIOGRAFIA

- Al-Niemi, T, Campbell, W. and M. Rumbaugh. 1992. Response of alfalfa cultivars to salinity during germination and post-germination growth. *Crop Sci.* 32:976-980.
doi:10.2135/cropsci1992.0011183X003200040029x
- Andrade, F., Taboada, M., Lema, D., Maceira, N., Echeverría, H y G. Posse, *et al.* 2017. Los desafíos de la agricultura argentina. Satisfacer las futuras demanda y reducir el impacto ambiental. Ed. Andrade, F. 1ª ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ediciones INTA. p 120
- Basigalup, D., Odorizzi, O., y V. Arolfo. 2017. El estado del cultivo de alfalfa en la Argentina. Memorias de la las Jornadas Nacionales de Alfalfa, TodoAgro-INTA. Calchín Córdoba. p. 99.
- Barraza, G., Lopez, J., Ledesma, A., y M. Valoy. 2019. Estimación de superficie de Alfalfa en el Área de Riego de Rio Dulce de Santiago del Estero a través de sensores remotos. Informe Interno Campaña 2018/2019 INTA EEASE.
- Benes, S.E., Galdi G., Hutmacher, R.B., Grattan S.R., Chahal, I., and Putnam D.H. 2018. Alfalfa (*Medicago sativa* L.) is more tolerant to salinity than guidelines indicate: Implications of field and greenhouse studies. In Proceedings. Second World Alfalfa Congress, Cordoba, Argentina. 11-14 November 2018. INTA. (disponible <http://www.worldalfalfacongress.org/>)
- Busbice, T.H. 1969. Inbreeding in synthetic varieties. *Crop Sci.* 9: 601-604.
- Cornacchione, M.V. 2015. Alfalfa en Santiago del Estero. Jornada Todo Alfalfa. Todo Agro, INTA EEA Manfredi Córdoba, Argentina. p. 64-65.
- Cornacchione, M.V. and D.L. Suarez. 2015. Emergence, forage production, and ion relations of alfalfa in response to saline waters. *Crop Sci.* 55: 444-457.
- Cornacchione, M.V. and D.L. Suarez. 2017. Evaluation of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Populations' Response to Salinity Stress. *Crop Sci.* doi:10.2135/cropsci2016.05.0371.
- Cornacchione, M.V., Odorizzi, A., Basigalup, D.H. y V. Arolfo. 2018. Improving salinity tolerance of alfalfa (*Medicago sativa* L.) through conventional breeding In Proceedings. Second World Alfalfa Congress, Cordoba, Argentina. 11-14 November 2018. INTA.
- Damania, R., Desbureaux, S., Rodella, A., Russ, J., and E. Zaveri. 2019. Quality Unknown: The Invisible Water Crisis. Washington, DC: World Bank. doi:10.1596/978-1-4648-1459-4. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO.
- Díaz, F., Grattan, S., Reyes, J., de la Roza-Delgado, B., Benes, S, and C. Jiménez, *et al.* 2018. Using saline soil and marginal quality water to produce alfalfa in arid climates. *Agri. Water Manage.* 199: 11-21. doi:10.1016/j.agwat.2017.12.003.
- FAO. 2005. Global Network on Integrated Soil Management for Sustainable (<http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/management-of-some-problem-soils/salt-affected-soils/more-information-on-salt-affected-soils>)
- FAO-ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources: Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Roma, Italia. p. 608.
- Ferreira, J., Cornacchione, M.V., Liu, X., and D.L. Suarez. 2015. Nutrient Composition, Forage Parameters, and Antioxidant Capacity of Alfalfa (*Medicago sativa*, L.) in Response to Saline Irrigation Water. *Agriculture* 5: 577.
- INTA Informa. 2011. <https://intainforma.inta.gob.ar/suelos-salinos-mas-de-13-m-de-hectareas-son-recuperables/>
- IPCC. 2019. Climate Change and Land.

- (<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/Fullreport-1.pdf>) .
- Johnson, D.W., S.E. Smith, and A.K. Dobrenz. 1992. Selection for increased forage yield in alfalfa at different NaCl levels. *Euphytica* 60:27–35.
- Katerji, N., M. Mastrorilli, F.Z. Lahmer, and T. Oweis. 2012. Emergence rate as a potential indicator of crop salt-tolerance. *Eur. J. Agron.* 38:1–9. doi:10.1016/j.eja.2011.11.006
- Lavado, R.S. 2008. Visión sintética de la distribución y magnitud de los suelos afectados por salinidad en la Argentina. In: E. Taleisnik, K. Grunberg and G. Santa María, editors, *La Salinización de Suelos en la Argentina: su impacto en la producción agropecuaria*. EDUCC, Córdoba, Argentina. p. 11-15.
- Maas, E.V. 1987. Salt tolerance of plants. In: B. R. Christie, editor *Handbook of Plant Science in Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. p. 55-75.
- Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. *New phytologist* 167: 645-663.
- Munns, R. and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 651-681.
- Prieto, D., G. Angella and M.C. Angueira. 2008. Un enfoque al problema de la salinidad en el área de riego del Río Dulce, Santiago del Estero. In: E. Taleisnik, K. Grunberg and G. Santa María, ed. *La Salinización de Suelos en la Argentina: su impacto en la producción agropecuaria*. EDUCC, Córdoba, Argentina. p. 93-104.
- Prieto, D.R., G. Angella, M.C. Angueira, A. Pérez Carrera and C. Moscuza. 2005. Indicadores de desempeño del sistema de riego del Río Dulce, Santiago del Estero, Argentina. *Uso y gestión del Agua en Tierras Secas*. CYTED. p. 55-78.
- Prieto, D., Sanchez R.M., y R.S. Martínez. 2015. Las áreas de riego y la degradación de suelos. In: R. R. Casas and G. F. Albarracin, ed. *El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina*. FEDIC Bs.As Argentina. p. 319-346.
- Putnam, D.H., Benes, S., Galdi, G., Hutmacher, B., and S, Grattan. 2017. Alfalfa (*Medicago sativa*, L.) is tolerant to higher levels of salinity than previous guidelines indicated: implications of field and greenhouse studies. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 19. EGU2017-18266-1.
- Rumbaugh, M.D., and B.M. Pendery. 1990. Germination salt resistance of alfalfa (*Medicago sativa* L.) germplasm in relation to subspecies and centers of diversity. *Plant Soil* 124:47–51. doi:10.1007/BF00010930
- Sanchez, R., L. Guerra and M. Scherger. 2015. Evaluación de las áreas bajo riego afectadas por salinidad y/o sodicidad en Argentina FAO-INTA. p. 47.
- Sandhu, D., M.V. Cornacchione, J.F.S. Ferreira and D.L. Suarez. 2017. Variable salinity responses of 12 alfalfa genotypes and comparative expression analyses of salt-response genes. *Sci. Rep.* 7, 42958; doi: 10.1038/srep42958.
- Scasta, J.D., C.L. Trostle, and M.A. Foster. 2012. Evaluating alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars for salt tolerance using laboratory, greenhouse and field methods. *J. Agric. Sci.* 4:90.
- Shannon, M.C. 1985. Principles and strategies in breeding for higher salt tolerance. *Plant Soil* 89: 227-241. doi:10.1007/bf02182244.
- Steppuhn, H., S.N. Acharya, A.D. Iwaasa, M. Gruber, and D.R. Miller. 2012. Inherent responses to root-zone salinity in nine alfalfa populations. *Can. J. Agric. Sci.* 92:235–248.
- Suarez, D.L y Cornacchione, M.V. 2015. Manejo de la salinidad para la producción de alfalfa y evaluación de la variabilidad dentro y entre cultivares. *Memorias de las Jornadas Nacionales de Alfalfa, TodoAgro-INTA, Manfredi*. p. 85.
- Tavakkoli, E., P. Rengasamy, and G.K. McDonald. 2010. High concentrations of Na⁺ and Cl⁻ ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress. *J. Exp. Bot.* 61:4449–4459. doi:10.1093/jxb/erq251
- Third International Salinity Forum. 2014. *Proceedings*. June 16-18, Riverside Convention Center CA, USA p. 314
- US Salinity Laboratory Staff. 1954. *Determination of Properties of Saline and Alkali Soils*. In: *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. Dep. Agri. Agr. Handbook No.60. Washington: US Gov. Printer. p. 7-33

Cita: Cornacchione, M.V. Avances sobre la tolerancia a la salinidad en alfalfa (*Medicago sativa*) y sus implicancias para el ambiente semiárido salino bajo riego: Desarrollo de un nuevo cultivar mediante mejoramiento genético convencional. *I Jornadas de Producción de Bovinos para Carne*, Santiago del Estero, Argentina. 2019. Pág. 23-29.