

PROPUESTA DE MANEJO DE UN SUELO CON LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS Y GESTIÓN DEL RIEGO SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE LECHUGA BAJO INVERNADERO (Tesis en marcha)

Lang, María de la Cruz¹; Víctor Lipinski ²; Luis Fernando Balcaza ³

¹Estación Experimental Agropecuaria (INTA) "Ing. Agr. Guillermo Covas", Ruta 5, Km. Nº 586, Anguil, La Pampa. CP: 6326.

² Estación Experimental Agropecuaria (INTA) La Consulta, Ex Ruta 40, Km 96, La Consulta, San Carlos, Mendoza. CP 5567.

³Estación Experimental Agropecuaria (INTA) Área Metropolitana de Buenos Aires, Defensa 707, C.A.B.A. CP: 1065.

RESUMEN

La acumulación de sales y sodio en el suelo por el uso continuado de agua de mala calidad, afecta la estabilidad estructural, la conductividad hidráulica y la tasa de infiltración del mismo, causando una reducción de su capacidad productiva. En invernadero, toda el agua se deberá aportar en forma de riego, por ello es importante conocer la calidad del agua con que se riega. Ésta se define en función de la salinidad, sodicidad y toxicidad. El objetivo de este trabajo es evaluar la incidencia de la aplicación de yeso y azufre sobre la mejora de las condiciones físico-químicas del suelo y en la productividad y calidad del cultivo de lechuga bajo cubierta. El ensayo se realizará en un túnel alto, con riego por goteo instalado en la E.E.A INTA Anguil. El cultivo que se evaluará será lechuga durante cinco ciclos consecutivos. Se establecerán tres tratamientos de riego y tres tratamientos de enmiendas: $R_1 = 0,7 E_t$, $R_2 = E_t$ y $R_3 = 1,30 E_t$, siendo E_t la evapotranspiración calculada del cultivo utilizando el evaporímetro tipo Piché. Para cada tratamiento de riego se realizarán los tratamientos con enmiendas: **S**: azufre; **Y**: yeso y **T**: testigo. El diseño será en bloques al azar con parcelas divididas, con cuatro repeticiones. Las láminas de riego para cada tratamiento se aplicarán modificando los tiempos de riego según corresponda. Las enmiendas se aplicarán una única vez al inicio del ensayo. La cantidad a agregar dependerá del análisis de suelo y agua inicial. Se realizará un muestreo inicial del suelo para determinar variables químicas y parámetros físicos como infiltración y conductividad hidráulica. Al finalizar cada ciclo intermedio de lechuga, una vez cosechada y antes de realizar el siguiente transplante se tomarán muestras de suelos para evaluar variables químicas. Al finalizar el ensayo se realizará la medición de la infiltración y la conductividad hidráulica. Además se medirá rendimiento expresado en $kg.m^{-2}$, número de plantas. m^{-2} , peso fresco por planta y peso seco por planta. Los resultados esperados son: determinar la lámina de agua que maximice la producción de lechuga con calidad comercial, estimar los coeficientes de cultivo bajo condiciones de invernadero para la Región Semiárida Pampeana y a través de los valores de las variables químicas y físicas del suelo determinar si es viable el uso de enmiendas para mejorar el rendimiento y la calidad del cultivo de lechuga.

INTRODUCCIÓN

La producción de hortalizas bajo invernadero ha tenido un amplio crecimiento en el mundo y en nuestro país. En toda la provincia de La Pampa hay emprendimientos hortícolas en funcionamiento. Este sistema intensivo permite un aumento de rendimiento y calidad, aunque existen problemas limitantes como la acumulación de sales. El problema es más grave aún cuando dicha acumulación es de cationes dispersantes como el sodio que afecta negativamente algunas propiedades físicas del suelo tales como la estabilidad estructural, la conductividad hidráulica y la tasa de infiltración, causando una reducción de su capacidad productiva (**Quinteros et al. 2000**). Según el Laboratorio de Salinidad de suelos USDA “todos los suelos que se riegan se salinizan” (**Sainato, 2006**). Por lo tanto, el manejo adecuado del riego es un factor predominante para el éxito del cultivo (**Marouelli, et al. 1999**).

En la provincia de La Pampa, en general, las aguas subterráneas son salinas, bicarbonatadas-sódicas, con pH que rondan valores de 8-8,5 y conductividades eléctricas que van desde 1 a 1,5 mmhos.cm⁻¹, superando en algunas zonas estos valores.

Andriulo, et al. (1998) concluyeron que el riego complementario en un Argiudol típico durante 11 años con aguas bicarbonatadas sódicas produjo los siguientes cambios: se duplicó la Conductividad Eléctrica (CE), el PSI se sextuplicó y el pH del suelo aumentó en una unidad. En Manfredi, provincia de Córdoba, **Salas y Lovera (1998)**, reportaron como consecuencia de la aplicación de 375mm de riego en un Haplustol éntico, incrementos de la CE desde 0,8 a 1,7 dS m⁻¹ y del PSI de 0.6 a 7.6% a una profundidad 0-10 cm.

En un ensayo realizado por **Peinemann, et al. (1998)** determinaron que por efecto del riego, el pH aumentó en promedio cerca de una unidad y los PSI aumentó de un valor medio de 2.6% a 8.7%. En Salto, provincia de Buenos Aires, los trabajos realizados por **Irurtia y Mon (1998)** en sitios regados durante 5 años registraron leves incrementos del pH (de 5,9 a 6,1) y de la salinidad. En cambio, los parámetros físicos estudiados mostraron claras tendencias de deterioro. **Balcaza (2003)**, reporta los cambios que se producen en los índices químicos de los suelos de la región del Cinturón Verde del Gran Buenos Aires relacionados con la calidad del agua de riego y el manejo. Partiendo de un suelo natural con pH 6,2 y conductividad eléctrica de 0,84 dS m⁻¹, el suelo bajo 3 años de invernadero presenta un pH de 7,5 y CE de 1,8 dS m⁻¹, mientras aquel que se mantuvo durante 12 años bajo invernadero presentó un pH de 8,5 y CE de 9 dS m⁻¹.

La utilización de enmiendas para sustituir al sodio intercambiable en exceso y disminuir el pH, es una estrategia que permite el mejoramiento del suelo dentro del invernadero.

Las enmiendas se pueden clasificar en dos grupos: los que son fuente independiente de calcio, como el yeso (CaSO₄.2H₂O) y el cloruro de calcio (CaCl₂.2H₂O) y los que promueven la disolución del calcio presente en el suelo (suelos calcáreos, principalmente) (**Hussain et al. 2001**), como el ácido sulfúrico (H₂SO₄), el azufre (S) y el sulfato férrico (Fe₂(SO₄)₃).

La recuperación de un suelo sódico exige disminuir el PSI hasta valores aceptables, es decir, reemplazar parte del sodio adsorbido por otros cationes. Esto se consigue de diversas formas, pero todas ellas tienen en común la adición de calcio en forma de enmiendas de yeso, cloruro cálcico, etc. (**Bohn, et al. 1993**). Según **Pizarro, et al. (1990)** si el suelo es salino-sódico, primero se deberá adicionar el calcio y luego lavar las sales. En un estudio experimental

realizado por **Baile Rubinsky (1962)** en suelos salinos-sódicos de Israel, en laboratorio e invernáculo, se concluye que el lixiviado del suelo no alcanza a liberar la cantidad de calcio suficiente para reemplazar al sodio del complejo. El agregado de yeso al suelo resulta beneficioso, pero si va acompañado de una lixiviación con más de $10.000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

Lazovich, et al. (1985), probaron el efecto de diferentes enmiendas sobre un suelo Natracuol típico en invernadero. Encontraron que el yeso fue la enmienda que mayor eficiencia presentó, en función de los volúmenes de agua requerido para desplazar una cantidad determinada de sodio. Sin embargo, reportaron que el yeso en condiciones de invernáculo, produjo una depresión en los rendimientos, lo cual puede corregirse con el agregado de superfosfato triple.

En suelos de invernáculo la provisión de fósforo, luego de varios años de agregado de materia orgánica y fertilizantes, es suficiente y es difícil que se produzca una depresión en los rendimientos por causa de la deficiente provisión de este elemento.

Chorom y Rengasamy (1997) en un ensayo de laboratorio, encontraron que la aplicación directa de yeso en un suelo alcalino redujo el pH del mismo desde 9,38 hasta 7,89.

En un trabajo realizado por **Quinteros, et al. (2000)** en Entre Ríos, determinaron que la adición de yeso produjo una recuperación en las condiciones físicas del suelo, repercutiendo en un incremento de la productividad de forraje. Se pudo comprobar que los efectos positivos del yeso en el suelo se mantuvieron a lo largo del tiempo que duró el ensayo (26 meses).

El azufre elemental (S) es el acidificante más empleado, y el mecanismo por el cual se transforma en ácido sulfúrico es producto de la oxidación generada por acción de bacterias del género *Thiobacillus*, siendo *Thiobacillus thiooxidans* la especie más importante (**Chapman, 1990; Miyamoto, 1998**). **Gale et al. (2001)** sugirieron que el efecto principal del azufre en un suelo sódico no es la acidificación directa, sino la disolución de la cal presente en el suelo y la liberación de cationes Ca^{2+} que reemplazan a los cationes Na^+ para luego ser lixiviados.

En un trabajo realizado por **Longo, et al.** (no publicado) donde se evaluó el efecto del agregado de enmiendas (yeso y azufre) al suelo de un invernadero se observó que el pH del suelo tratado con azufre disminuyó notablemente (pH inicial de 9,39; pH final 7,31) hasta el tercer muestreo, lo que indicaría la acción lenta del azufre. **Sierra, et al. (2007)** utilizaron el azufre elemental como corrector del pH y la fertilidad de algunos suelos de Chile. Reportaron que en todos los suelos analizados hubo una disminución del pH por efecto de la aplicación de azufre, como consecuencia de la transformación a sulfato por oxidación microbológica. **Zérega y Adams (1991)**, realizaron un ensayo donde evaluaron los efectos de la cachaza y el azufre sobre un suelo salino-sódico bajo condiciones de invernadero. Determinaron que solamente el azufre, en sus tratamientos principales y en las interacciones con cachaza, ejerció efectos mejoradores sobre las propiedades químicas del suelo. Además, observaron de manera evidente el mejoramiento de la tasa de penetración de agua en el suelo.

Por lo expuesto se proponen como hipótesis de trabajo: 1) El agregado de yeso o de azufre mejorarán la infiltración del agua y la conductividad hidráulica. 2) En suelos modificados o tratados con enmiendas químicas es necesario aplicar láminas de riego más altas para asegurar la eliminación del sodio por lixiviación. 3) La modificación de las condiciones del suelo por efecto combinado de enmiendas y riego permite mejorar el rendimiento y la calidad de lechuga bajo invernadero. El objetivo general del trabajo es evaluar la incidencia de la aplicación de yeso y azufre sobre la mejora de las condiciones físico-químicas del suelo y en la productividad y calidad del cultivo de lechuga bajo cubierta.

Los objetivos específicos son determinar el efecto de las enmiendas químicas aplicadas al suelo, durante un año de cultivo en invernadero (5 ciclos de lechuga), a través de la medición de variables físicas – químicas; establecer la lámina de agua adecuada para el cultivo de lechuga bajo invernadero en la Región Semiárida Pampeana, para optimizar su rendimiento y calidad y medir producción comercial en rendimiento y calidad.

MATERIALES Y MÉTODO

1. Descripción y diseño del ensayo

El ensayo se realizará en un túnel alto de 6 metros de ancho por 50 metros de largo, con riego por goteo instalado en la E.E.A INTA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”, La Pampa, Argentina (36° 32` latitud sur y 63° 59` longitud oeste). El cultivo que se evaluará será lechuga (*Lactuca sativa*) variedad crispa, cultivar comercial Brisa durante cinco ciclos comerciales consecutivos (un año calendario aproximadamente). La siembra se realizará a través del trasplante de plantines que serán comprados a una plantinera de la zona. Se establecerán tres tratamientos de riego y tres tratamientos de enmiendas. Los tratamientos de riego serán: $R_1 = 0,7 Et_c$, $R_2 = Et_c$ y $R_3 = 1,30 Et_c$, siendo Et_c la evapotranspiración calculada del cultivo utilizando el evaporímetro tipo Piché según la siguiente fórmula: $Et_c = E_p \times K_c$. La E_p es la evaporación registrada por el Piché y K_c es el coeficiente del cultivo, el cual variará según el ciclo del mismo y será utilizado el recomendado por la FAO para lechuga: $K_{c\ inc.}$: 0,7; $K_{c\ med.}$: 1,05 y $K_{c\ fin.}$: 0,75.

Para cada tratamiento de riego se realizarán los tratamientos con enmiendas: **S**: azufre; **Y**: yeso y **T**: testigo.

El diseño será en bloques al azar con parcelas divididas, con cuatro repeticiones.

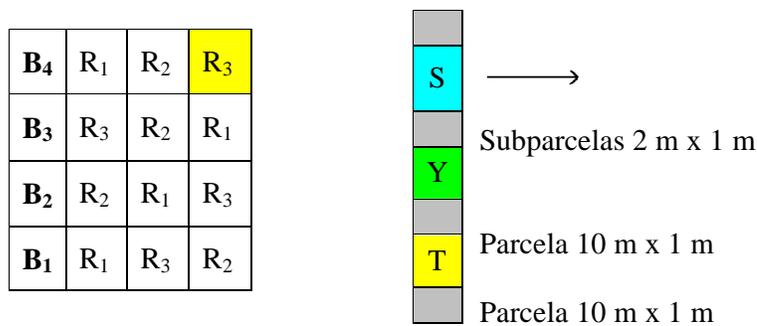


Figura 2: Diseño del ensayo

Cada parcela será de 10 metros de largo por 1 metro de ancho y cada subparcela de 2 metros de largo y 1 metro de ancho, dejando 1 metro entre ellas para que no se solapen los tratamientos con enmiendas. El riego se realizará con cintas de goteo, con goteros distanciados a 0,10 m. Se colocarán 3 cintas por parcela a 0,33 m entre ellas. El sistema de plantación será a tres bolillos, quedando 6 hileras de plantas. Previamente a la instalación y

armado de las parcelas del ensayo, toda la superficie del túnel será regada durante un tiempo determinado para producir la salinización y sodificación del suelo, simulando un invernadero con cierta antigüedad de uso. El manejo en cuanto a fertilización, control de malezas, plagas y enfermedades se hará de acuerdo a las necesidades del cultivo. No se realizará abonado con materia orgánica de ningún tipo para que ésta no interfiera y/o enmascare los resultados. La fertilización será química y dependerá del estado actual del suelo.

Se colocarán dos evaporímetros tipo Piché y un termómetro dentro del túnel para llevar un registro diario de evaporación y temperatura. Las láminas de riego para cada tratamiento se aplicarán modificando los tiempos de riego según corresponda. La cinta de goteo tendrá un caudal medio: $0,85 \text{ L h}^{-1}$ ($17,2 \text{ mm h}^{-1}$). Las enmiendas se aplicarán una única vez al inicio del ensayo. La cantidad a agregar dependerá del análisis de suelo y agua inicial. Luego de cada cosecha y antes del siguiente trasplante, se realizará un acondicionamiento del suelo para lograr que quede mullido para el próximo ciclo.

2. Muestro inicial: agua de riego y suelo

2.1 Toma de muestra del agua de riego

El análisis consistirá en: pH, CE, RAS, Dureza, CSR, Cationes: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ y Aniones: CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}

2.2 Muestreo inicial del suelo

Se realizará un muestreo por bloque (muestra compuesta) a dos profundidades: 0-20 cm y 20-40 cm en donde se determinará: textura, densidad aparente (PEA), capacidad de campo (%), punto de marchitez permanente (%), caracterización de las arenas por el Método USDA, materia orgánica (Método Walkey y Black), nitrógeno total (Método de Kjeldahl), fósforo asimilable (Método Arizona), potasio intercambiable (Técnica de equilibrio con acetato de amonio 1N), CE (Método conductimétrico sobre extracto de saturación) y pH (Método potenciométrico en pasta saturada). Por otro lado se realizará un muestreo por parcela experimental a dos profundidades: 0-20 cm y 20-40 cm (24 muestras) en donde se determinará CE, pH, CIC (capacidad de intercambio catiónico), cationes de intercambio: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ y PSI. El método que se utilizará será lavado con agua, hasta reacción negativa de cloruros, previo al tratamiento de extracción con Acetato de Amonio para la determinación de los Cationes de Intercambio, con la finalidad de eliminar el sodio soluble (como ClNa).

3. Medición inicial de los parámetros físicos del suelo

a. Infiltración (I)

Se realizará la medición de la infiltración en el centro de cada parcela (12 mediciones), con un infiltrómetro de cilindro de doble anillo.

b. Conductividad hidráulica (K)

Se realizará la medición de la conductividad hidráulica en cada parcela (12 mediciones). El método que se utilizará será el del “permeámetro de carga constante o del cilindro con suelo disturbado”.

4. Determinación del Coeficiente de Uniformidad

Se realizará la medición del CU para determinar la uniformidad de riego con que opera el sistema.

5. Cálculo de las necesidades de yeso

$$\text{meq /100 g de suelo}^1 \times 10 \times \text{Peso Equivalente del Yeso (86)} \times \text{Peso del terreno}^2 = \text{kg. Yeso/sup.}$$

¹ meq /100 g = Na del suelo que hay que reemplazar por igual cantidad de miliequivalentes de yeso

² Superficie (m²) x Densidad aparente (Ton/m³) x Espesor del suelo (m)

6. Cálculo de las necesidades de azufre

Para el cálculo de las necesidades de azufre se va a considerar que el yeso tiene un 18.6% de azufre, por lo tanto el valor que se obtenga del cálculo del yeso se multiplicará por 0,186 para obtener la cantidad de azufre necesaria para el tratamiento.

7. Mediciones

7.1 Suelo:

- Variables químicas

Al finalizar cada ciclo intermedio de lechuga, una vez cosechada y antes de realizar el siguiente transplante se tomarán muestras compuestas de cada tratamiento de Riego x Enmienda a dos profundidades: 0-20 y 20-40 (18 muestras) para determinar: CE, pH, CIC (capacidad de intercambio catiónico), cationes de intercambio: Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ y PSI. Al finalizar los cinco ciclos, el muestreo final se realizará en cada subparcela (36), a ambas profundidades, haciendo un total de 72 muestras.

- Variables físicas

Al finalizar los cinco ciclos de lechuga se realizará la medición de la Infiltración (I) y la Conductividad hidráulica (K) en cada subparcela (36 mediciones). Con los datos obtenidos se construirá la curva de infiltración para cada subparcela, la cual será comparada con la curva de infiltración inicial de cada parcela de riego y se podrá determinar el efecto de la enmienda sobre esa variable física del suelo. Con respecto a la Conductividad hidráulica, los valores obtenidos serán comparados con los valores iniciales de cada parcela, utilizando la escala de calificación orientativa adaptada del Servicio de Conservación de Suelo de los Estados Unidos, 1951.

7.2 Planta:

De cada subparcela se evaluarán las cuatro hileras centrales de plantas (dejando una hilera a ambos lados como bordura) de un metro de largo, dejando 0,50 m en ambos extremos

también como bordura. Es decir que la superficie evaluada será de 0,66 m² por cada subparcela. Se medirá:

Rendimiento: - kg.m⁻²
- Número de plantas.m⁻²
- Peso fresco por planta.
- Peso seco por planta (secado a estufa)

Otras mediciones: - Peso fresco y seco de raíces.
- Área foliar (uso de escáner + programa “tomato analyzer”)
- Estado general del cultivo (sensorial).

8. Resultados esperados

- Determinar la lámina de agua que maximice la producción de lechuga con calidad comercial.
- Estimar los Coeficientes de cultivo (Kc) bajo condiciones de invernadero para la Región Semiárida Pampeana.
- A través de los valores de las variables químicas y físicas del suelo se espera determinar si es viable el uso de enmiendas para mejorar el rendimiento y la calidad del cultivo de lechuga.

BIBLIOGRAFÍA

Andriulo, A; Galetto, M. L; Ferreyra, C.; Cordone, G.; Sasal, C.; Abrego, F.; Galina, J. y Rimatori, F. 1998. Efecto de 11 años de riego complementario sobre algunas propiedades del suelo. I: Propiedades físico- Químicas. Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, Villa Carlos Paz, Mayo de 1998, 247-258.

Baile Rubinsky, De Lis. 1962. Estudio Experimental sobre mejoramiento de suelos salino-alcalinos realizado en laboratorio e invernáculo. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo. Tomo IX, N° 2.

Balcaza, L. 2003. Deterioro de los suelos cultivados bajo invernáculo. Idia XXI N° 4. Ediciones INTA.

Bohn, H.L.; McNeal, B.L. y O'Connor, G.A. 1993. Química del suelo. Ed. Limusa. México.

Chapman, S.J. 1990. *Thiobacillus* populations in some agricultural soils. Soil Biol. Biochem. 22:479-482.

Chorom, M. and Rengasamy, P. 1997. Carbonate chemistry, pH, and physical properties of an alkaline sodic soil as affected by various amendments. Australian Journal of Soil Research, vol.35, N°1,149-162.

Gale, G, Koenig, R & Barnhill, J 2001. Managing soil pH in Utah, Utah State University, viewed 15 March 2008.

<http://extension.usu.edu/files/publications/publication/AG-SO-07.pdf>.

- **Hussain, N.; Hassan, G.; Arshhadullah, M. and Mujeeb, F. 2001.** Evaluation of amendments for the improvement of physical properties of sodic soil', International Journal of Agriculture and Biology, Vol. 3, N°. 3, 319-322.

- Irurtia, C. B. y Mon, R. 1998.** Cambios en las propiedades físicas y químicas de los suelos de la región pampeana después de 5 años de riego suplementario. Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Villa Carlos Paz, Mayo 1998: 241- 242.
- Lazovich, M. R., Costa, J. L. y Godz, P. 1985.** Efecto de enmiendas y lavado sobre el desplazamiento catiónico y producción de materia seca de un Natracuol, en invernáculo. Ciencia del suelo. Vol. 3. N° 1-2: 95-101
- Longo, A.; Ferratto, J.; Mondino, C. y Grasso, R.** Efecto de la incorporación de yeso y azufre en un suelo salino-sódico en relación al rendimiento de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo invernadero. (Trabajo no publicado)
- Marouelli, W. A.; Pereira, W.; Silva, H. R.; Silva, Washington Luiz Carvalho; Souza, A. 1999.** Resposta da abóbora híbrida tipo tetsukabuto a diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1999, Pelotas. A Engenharia Agrícola, Tendências e Inovações. Pelotas: SBEA, Vol. 1.
- Miyamoto, S. 1998.** Use of acids and acidulants on Alkali soils and water 217-255. In A Wallace and R.E. Terry (eds.) Handbook of soil conditioners substances that enhance the physical properties of soil. Part III. Mineral soil conditioners Marcel Dekker, New York, USA.
- Peineman, N.; Díaz Zorita, M.; Villamil, M. B.; Lusarreta, H. y Grunewald, D. 1998.** Consecuencias del riego complementario sobre propiedades edáficas en la llanura pampeana. Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, Villa Carlos Paz, mayo de 1998, 7-8
- Pizarro Cabello, F. 1990.** Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación. 2da edición. Madrid. Ediciones. Mundi-Prensa. 471 p.
- Quinteros, C.; Boschetti, N.; Durand Morat, A. y Fettolini, S. 2000.** Recuperación de suelos dispersivos por medio de enmiendas.
<http://www.fertilizando.com/articulos/recuperación%20de%20suelos>.
- Sainato, C. M.; Galindo, G. y Heredia, O. 2006.** Agua Subterránea. Exploración y utilización agropecuaria. Ed. Facultad de Agronomía UBA. 115 p.
- Salas, H. P. y Lovera, E. F. 1998.** Efecto del riego suplementario sobre algunas características del suelo. INTA, EEA - Manfredi. Proyecto IPG, 14 de mayo de 1998, 9 p.
- Sierra, C., Lancelloti, M. y Vidal, P. 2007.** Azufre Elemental como Corrector del pH y la Fertilidad de Algunos Suelos de la III y IV Región de Chile. Agricultura Técnica (Chile) 67(2):173-181.
- Zérega, L. y Adams, M. 1991.** Efectos de la cachaza y el azufre sobre un suelo salino-sódico del estado de Carabobo bajo condiciones de invernadero. Caña de azúcar, Vol. 9 (02): 110-126.