

## **ENSAYO DE UNA NUEVA SOLUCION NUTRITIVA PARA CULTIVOS HIDROPÓNICOS EN INVERNADERO CON ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO SOLAR<sup>1</sup>**

P. Robredo<sup>2</sup>, M. Quiroga <sup>4</sup>

INENCO<sup>6</sup>  
Universidad Nacional de Salta  
Buenos Aires 177 - 4400 Salta, Argentina  
FAX 54-387-4255489, e-mail : robredop@unsa.edu.ar

**RESUMEN:** Se presenta una nueva solución nutritiva, formulada a partir de considerar los criterios de Steiner. Se indica la composición de la nueva solución. Se analiza el posible efecto de esta solución sobre la floración temprana de lechuga, debida a altas temperaturas. Se presentan datos de cultivo de distintas variedades de lechuga en dos estaciones diferentes, y se comparan con los obtenidos con otras soluciones. También se presentan datos de cultivo en verano de rabanitos. Se incluyen datos de parámetros característicos de la nueva solución.

**PALABRAS CLAVE:** Hidroponia-Solución nutritiva - cultivo hidropónico-lechuga.

### **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo es continuación de anteriores ensayos de cultivos hidropónicos en invernaderos con acondicionamiento térmico solar. Robredo et al.(2000)

En años anteriores se hicieron cultivos hidropónicos con distintas especies vegetales Quiroga et al.(1998), empleándose como solución nutritiva la de Hoagland y Arnon, la cual es una solución que puede ser usada en el cultivo sin suelo de diferentes especies vegetales.

Una de las especies cultivadas fue lechuga. Debido a que esta planta tiene un ciclo corto, (alrededor de 45 días), se la eligió para continuar las experiencias de manejo de cultivos hidropónicos.

Posteriormente, se avanzó hacia el cultivo de cada especie en particular, siguiendo en ese caso las concentraciones de aniones y de cationes específicas para cada especie que la bibliografía recomienda. Así, se preparó una solución nutritiva respetando los valores de concentraciones de aniones y cationes correspondientes a los macronutrientes indicados específicamente para lechuga por Sonneveld INTA(1993). Esta solución fue preparada empleando las mismas sales usadas en la preparación de la solución de Hoagland y Arnon. De igual manera, el hierro fue suministrado mediante un quelato comercial y los otros nutrientes, llamados micronutrientes, fueron incorporados según la formulación de Hoagland y Arnon para su solución universal.

Ambas soluciones empleadas, a pesar de haber sido usadas con éxito en el cultivo de lechuga y de otras especies, no cumplen con los criterios formulados por Steiner INTA(1993) para el análisis de las relaciones entre los macronutrientes aniónicos y catiónicos.

Por otro lado, uno de los inconvenientes que limita la producción de lechuga en verano, es la floración temprana (bolting) de la planta, lo que trae aparejado una disminución de la calidad comercial, puesto que la transición del crecimiento vegetativo al reproductivo implica cambios en el aspecto y sobre todo en el sabor de las hojas, tornándolas no deseables para el consumo. Según la bibliografía Alcalá et al (2004), este proceso se desencadena por altas concentraciones de nitrógeno, altas temperaturas y bajos valores de radiación.

---

<sup>1</sup> Parcialmente financiado por el Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta y por el FONCYT (SECYT)

<sup>2</sup> Docente de la Fac. de Ciencias Naturales de la UNSa - <sup>4</sup>Personal del CIUNSa

<sup>6</sup> Instituto UNSa - CONICET

Por este motivo, se planteó como objetivo del presente trabajo formular una nueva solución nutritiva, específica para lechuga, que cumpliera con los criterios de Steiner, y analizar si esta solución tendría algún efecto en la floración temprana de lechuga que se observa en los meses de verano.

## MATERIALES Y METODO

### a.-Formulación de la Solución.

Dentro de la Fisiología Vegetal, la nutrición mineral se ocupa de aquellos elementos químicos que los vegetales absorben del suelo. Seis de ellos se encuentran presente en los tejidos vegetales, en mayores proporciones que otros elementos químicos que la planta también obtiene del suelo. Por esto, a estos elementos químicos (nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio) se los llama macronutrientes. Debido a que forman parte de las diferentes estructuras vegetales, a que no pueden ser reemplazados por otro elemento químico y a que su carencia interfiere en el desarrollo del organismo, son considerados esenciales para el crecimiento de las plantas.

En los cultivos sin suelo, estos nutrientes son suministrados a las plantas mediante las soluciones nutritivas. Sin embargo, para que un elemento químico pueda ingresar a la planta y ser metabolizado, debe encontrarse disponible en la solución, es decir debe encontrarse en una forma química soluble y además absorbible por las raíces vegetales.

Tanto la solubilidad de las sales como la absorción de iones dependen de varios factores, propios de la solución y de la planta. Estos factores además se interrelacionan, siendo uno de los más importantes el pH de la solución nutritiva.

Algunos elementos químicos pueden encontrarse formando compuestos que a su vez, en solución acuosa, forman diferentes aniones, según el pH del medio en el que se encuentren. Este es el caso del fósforo, que forma tres aniones diferentes, los cuales tienen también diferencias en la capacidad de ser absorbidos por las raíces, por lo cual es importante considerar el comportamiento de estos aniones en particular en la formulación de la solución nutritiva.

En diferentes publicaciones, Steiner analiza las relaciones entre el pH y la composición de soluciones nutritivas, así como los diferentes equilibrios iónicos que se presentan en ésta. El alcance de los análisis presentados por Steiner excede los objetivos planteados en primera instancia en el presente trabajo. En sus publicaciones establece que la manera adecuada de formular una solución nutritiva es considerar que tanto los aniones como los cationes correspondientes a los macronutrientes, deben cumplir relaciones que se pueden representar en diagramas ternarios. Así, establece además que los aniones nitrato ( $\text{NO}_3^{-1}$ ), fosfato diácido ( $\text{PO}_4\text{H}_2^{-1}$ ) y sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) deben encontrarse en porcentajes tales que se hallen dentro de una zona ya delimitada. Del mismo modo, para los macronutrientes catiónicos, potasio ( $\text{K}^+$ ), calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ ) se define otra zona también, ambas en los diagramas ternarios.

Para iniciar la formulación de la nueva solución nutritiva, se aceptó suministrar los macronutrientes bajo la forma iónica más fácilmente absorbible por las plantas.

Esto se indica en la tabla.

cationes		Aniones	
Potasio	$\text{K}^+$	Nitrato	$\text{NO}_3^{-1}$
Magnesio	$\text{Mg}^{+2}$	Fosfato diácido	$\text{PO}_4\text{H}_2^{-1}$
Calcio	$\text{Ca}^{+2}$	Sulfato	$\text{SO}_4^{-2}$

Tabla 1: aniones y cationes propuestos.

Luego, se propone formular una solución que contenga la siguiente composición porcentual para los nutrientes aniónicos y catiónicos siguientes, indicados en la tabla 2.

Anión	porcentaje	Catión	porcentaje
nitrato	76	potasio	54
fosfato diácido	11	calcio	38
sulfato	13	magnesio	8

Tabla 2: porcentajes de aniones y de cationes propuestos.

Posteriormente, se procede a elegir las sales que proporcionarán los iones.

Considerando la solubilidad de las sales, su disponibilidad en el mercado, su precio, como también las posibilidades de almacenamiento y de manejo, se deciden ocupar las siguientes sales, ya usadas en otras soluciones nutritivas. Esto se indica en la tabla 3.

Ion	Sal
Nitrato	Nitrato de calcio y nitrato de potasio
Fosfato diácido	Fosfato diácido de potasio
Sulfato	Sulfato de magnesio
Potasio	Nitrato de potasio y Fosfato diácido de potasio
Calcio	Nitrato de calcio
Magnesio	Sulfato de magnesio

Tabla 3: sales empleadas.

Finalmente la nueva solución, llamada La Sorcière, está formada por las siguientes cantidades de sales, según se indica en la tabla 4

Sal	Masa empleada (g)
Nitrato de calcio	156
Nitrato de potasio	111
Fosfato diácido de potasio	39
Sulfato de magnesio	40

Tabla 4: composición en sales de la solución La Sorcière

Con lo cual la composición en iones de la nueva solución se muestra en la tabla 5.

Íón	Miligramos	Milimoles	Miliequivalentes
Nitrato	303000	3000	3000
Fosfato diácido	28130	290	290
Sulfato	31680	330	660
Calcio	38000	950	1900
Potasio	54210	1390	1390
Magnesio	7920	330	660

Tabla 5: composición aniónica y catiónica de la solución La Sorcière.

Esta nueva solución carece de amonio, una de las formas más fáciles de suministrar nitrógeno a las plantas, y especialmente útil en las primeras etapas del cultivo, ya que al disponer de una fuente de nitrógeno fácilmente absorbible y metabolizable, se favorece el desarrollo vegetativo de la planta, con lo cual hay un excelente establecimiento del cultivo luego del trasplante de las plántulas, desde las bandejas de germinación a las piletas de cultivo. Esta decisión es uno de los aspectos a ensayar al usar esta solución en los cultivos.

Otras de las características más importantes de una solución nutritiva son sus valores de pH y conductividad eléctrica, ya que, como antes se dijo, definen las especies y variedades de plantas que se podrán cultivar en una dada solución.

También la conductividad eléctrica está relacionada con la disponibilidad de agua y nutrientes que las plantas tendrán una vez iniciado el cultivo. Esto es debido a que las plantas podrán absorber agua y nutrientes siempre que la solución hidropónica tenga valores de conductividad eléctrica dentro de ciertos rangos. En el presente caso, se tomaron como referencia los valores usuales de conductividad eléctrica que la bibliografía recomienda

Teniendo en cuenta estos criterios, se calculó la concentración total de las soluciones usadas anteriormente, lo cual se muestra en la tabla 6:

<i>Solución</i>	<i>Concentración total de iones(meq/L)</i>
Sonneveld	46
Hoagland y Arnon	44,2

Tabla 6: concentración iónica total de las soluciones de Sonneveld y de Hoagland y Arnon

La cantidad total de miliequivalentes presentes en la solución La Sorcière es de 7900 miliequivalentes.

Considerando que ambas soluciones tengan la misma conductividad eléctrica, resulta que el volumen de solución debe ser:

$$V = 7900 \text{ meq} / (44,2 \text{ meq/L}) = 178 \text{ L}$$

este valor se redondea a 180 L, ya que se considera que es mejor tener una solución más diluída.

Con este valor se calcula la concentración de cada nutriente, la cual se indica en la tabla 7:

<i>Ión</i>	<i>Concentración (g/L)</i>	<i>Concentración (mmoles/L)</i>	<i>Concentración (meq/L)</i>
Nitrato	1,04	16,8	16,8
Fosfato diácido	0,16	1,6	1,6
Sulfato	0,18	1,8	3,6
Potasio	0,3	7,8	7,8
Calcio	0,21	5,3	10,6
Magnesio	0,04	1,8	3,6

Tabla 7: concentración de la solución La Sorcière

Parámetros osmóticos de las soluciones:

Para verificar la disponibilidad de agua de la solución, se calcula el potencial osmótico de la solución ( $\psi_o$ ), que cuantifica la disponibilidad de agua de una determinada solución.

El Potencial osmótico depende de la concentración y la temperatura según

$$\psi_o = - RTM$$

con

R = 0,082 atm L / K mol

T = temperatura (K)

M = Molaridad de la solución

Esta función toma como máximo el valor de cero, el que corresponde a la mayor disponibilidad de agua, ( $M=0$ ), equivalente a tener la planta en agua pura. Al incorporar solutos al agua, y obtener una solución, la disponibilidad de agua disminuye con respecto a la del agua pura, por lo cual el potencial osmótico toma valores negativos.

Cuanto más negativo sea, más concentrada será la solución y menor será la disponibilidad de agua para las plantas. Si llega a ser muy concentrada, ocasionará daños. En primer lugar, algunas plantas absorberán sales, lo que provocará daños en las hojas y disminuirá el rendimiento y la calidad comercial, por alterar el gusto y el aspecto de los vegetales. Sin embargo, si la concentración se incrementa más aún, puede llegar a provocar déficit hídrico en los vegetales, de diversa gravedad, que puede o no ser reversible, pero que inevitablemente afectará el rendimiento.

En la tabla 8 se dan los valores de Potencial osmótico ( $\psi_o$ ) calculados para las distintas soluciones.

Solución nutritiva	Potencial osmótico ( $\psi_o$ , atm, 25°C)
Hoagland y Arnon	-0,91
Sonneveld	-1,11
La Sorciere	-0,88

Tabla 8: valores de Potencial osmótico ( $\psi_o$ ) para las distintas soluciones

Analizando los resultados, resulta ser más conveniente la Solución La Sorcière, pues al tener mayor disponibilidad de agua, permite mayor absorción de agua y nutrientes, con lo cual son muchas las especies vegetales que pueden cultivarse.

En todas las soluciones empleadas, los micronutrientes fueron incorporados de acuerdo a la formulación de Hoagland y Arnon, (1). El hierro se agregó como un quelato comercial, de modo que las soluciones tuvieran una concentración de 2 ppm de hierro (1).

#### **b.- Experiencias realizadas.**

Esta solución fue usada por primera vez en un ensayo en el invernadero que el INENCO posee en Campo Castañares, Salta, donde comparativamente se cultivaron lechugas de dos variedades (llamadas crespa y mantecosa) ya cultivadas anteriormente en invernadero. El sistema empleado está descrito en publicaciones anteriores. (1)

La experiencia se inició con la germinación en cámara de humedad y temperatura constantes.

Las plantas fueron trasplantadas a las piletas en octubre de 2003, empleando una densidad de siembra de 25 plantas /m<sup>2</sup> según los ensayos anteriores (1). Las soluciones se colocaron en dos piletas, de 5 m<sup>2</sup> de superficie de cada una, alternándose en ellas las dos variedades de plantas. En cada pileta se colocaron 700 L de cada solución nutritiva ( Sonneveld y La Sorcière).

Se midió la temperatura ambiente del invernadero, durante el período de la experiencia, llegando a tener el valor máximo de 34 ° C a las 13 horas, por lo cual en ocasiones se usó una malla de media sombra de color negro para disminuir la irradiación.

Las plantas fueron cosechadas 35 días después de ser trasplantadas.

Además, en la misma solución se inició el cultivo consociado de rabanito. La experiencia duró 25 días , (contados desde el trasplante), cosechándose en la última semana de noviembre.

La solución La Sorcière también fue usada posteriormente en otra experiencia (iniciada en el siguiente mes de Abril) de cultivo de tres variedades de lechuga, llamadas repollada, cressa y mantecosa. Esta experiencia se planteó para evaluar el rendimiento obtenido en época invernal. También en este caso, la germinación se realizó en un cámara con control de temperatura y de humedad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 9 se dan los valores de peso cosechado correspondientes a cada variedad cultivada empleando las dos soluciones indicadas (el valor registrado corresponde a un promedio de 22 plantas)

Solucion hidropónica	Peso lechuga mantecosa	Peso lechuga cressa
Sonneveld	343,8 g	359,7 g
La Sorcière	355,2 g	364,1 g

Tabla 9: pesos promedios de plantas

En la tabla 9 es posible notar que para ambas variedades las plantas alcanzaron pesos similares al ser cultivadas con las dos soluciones ensayadas. Sin embargo, en el caso de la solución La Sorcière, las plantas fueron más resistentes al ser manipuladas durante la cosecha y posterior transporte. Hubo menos deterioro de las hojas, lo cual es congruente con el hecho de que la solución La Sorcière tiene mayor concentración de calcio. La calidad de las plantas(color, sabor, sanidad) fue excelente, sin que hubiera diferencias entre las producidas con cada solución.

Además, a pesar de que las temperatura ambiente del invernadero fuera superior a los 30 °C, las plantas cultivadas con la solución La Sorcière, no evidenciaron floración temprana, por lo cual puede decirse que esta solución no tuvo en esas condiciones efecto inductor de este fenómeno. Es aconsejable continuar los ensayos en verano, para obtener mayor información.

La misma solución fue apta para el cultivo de rabanitos. La calidad obtenida, (color, sabor y aspecto) fue excelente.

En la tabla 10 se dan los resultados de los pesos promedios obtenidos en el cultivo de lechuga en invierno.

Solucion hidropónica	Peso lechuga mantecosa	Peso lechuga cressa	Peso lechuga repollada
La Sorcière	469,2 g	484,5 g	439,2 g

Tabla 10: pesos de plantas(promedios de 10 plantas)

Los pesos obtenidos muestran que la solución es adecuada para el cultivo de lechuga, ya que el rendimiento obtenido con 25 plantas/m<sup>2</sup> de pileta es equivalente a 11,6kg/m<sup>2</sup> de pileta. Según bibliografía, en el sistema tradicional de cultivo en campo se obtienen un rendimiento promedio bastante menor ( 1 kg/m<sup>2</sup>). Considerando como 300 g el peso promedio de cada planta que se puede obtener en el mercado local, implica una producción de 3,3 plantas/m<sup>2</sup>, bastante menor a la obtenida en el sistema sin suelo.

También en estas experiencias se hicieron ensayos de degustación de las lechugas obtenidas, siendo muy aceptadas.

En la tabla 11 se comparan las concentraciones correspondientes a cada ión en las soluciones empleadas en todas las experiencias desarrolladas con cultivos sin suelo en el INENCO.

<i>Concentraci3n(miliequiv/L)</i>	<i>Hoagland y Arnon</i>	<i>Sonneveld</i>	<i>La Sorciere</i>
Nitrato	16,1	19	17,1
Fosfato diácido	2	2	1,7
Sulfato	4	2	3,8
Potasio	10,1	11	7,9

<i>Concentracion(miliequiv/L)</i>	<i>Hoagland y Arnon</i>	<i>Sonneveld</i>	<i>La Sorciere</i>
Calcio	6	9,5	10,9
Magnesio	4	2	3,8
Amonio	2	0,5	0

Tabla 11: concentración iónica de diferentes soluciones empleadas

La nueva Solución tiene proporcionalmente mayor concentración de calcio, lo cual es congruente con el hecho de que las plantas parecen ser más resistentes y por lo tanto se facilita el manejo de ellas luego de ser cosechadas. La falta de nitrógeno como amonio no afectó el crecimiento, ni influyó en el establecimiento del cultivo. Sería necesario continuar los ensayos para obtener mayor información.

## CONCLUSIONES

Se propone una nueva solución nutritiva para el cultivo hidropónico de lechuga, formulada según los criterios de Steiner.

La nueva solución, llamada La Sorcière, fue usada con éxito en el cultivo de tres variedades de lechuga, llamadas crespa, mantecosa y repollada, experiencias que fueron realizadas en verano y en invierno.

En todos los casos, las plantas cosechadas alcanzaron pesos similares a los obtenidos con otras soluciones nutritivas, aunque mostraron ser más resistentes, facilitando las tareas de cosecha y sobre todo manejo luego de cosecha.

Esta nueva solución parece atenuar en cierta medida la floración temprana de lechuga debida a las condiciones de alta temperatura.

La solución La Sorcière fue usada también en el cultivo de rabanitos, obteniéndose plantas de excelente calidad, por lo que permitiría el cultivo integrado de ambas especies, como una manera de optimizar el uso de las instalaciones.

## REFERENCIAS

- 1.- Robredo, P., Quiroga, M., y Echazú, R. (2000) Análisis comparativo de soluciones nutritivas en cultivos hidropónicos en invernadero. "Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente", Vol. 4. N° 1, pp 2.13.-
- 2.- Quiroga, M., Robredo, P., Saravia, L., Echazú, R. y Oliva, L (1998). Huerta hidropónica experimental. "Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente", Vol. 2. N°2, pp 1.13.-
- 3.- Tecnología de la agricultura protegida. (1993). Facultad de Agronomía. UBA. E.E. San Pedro. INTA.-
- 4.- Alcalá, A., Fernández, N. y Aguirre, C. (2004) Respuesta del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a la fertilización nitrogenada. Publicación de la Facultad de Ciencia Agrarias, Universidad Nacional del Noreste. Chaco, Argentina.-

## ABSTRACT

This paper deals with a new nutrient solution for the hydroponic culture of lettuce. The solution was calculated according with the criteria proposed by Steiner. The composition of the new solution, called La Sorcière, is given. The results of the cultures of three different varieties of lettuce are presented. The solution seems to have certain effect on bolting. Further studies are necessary.