

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE SOLUCIONES NUTRITIVAS EN CULTIVOS HIDROPÓNICOS EN INVERNADERO<sup>1</sup>

Robredo P<sup>2</sup>, Quiroga M<sup>3</sup>, Echazú R.<sup>4</sup>

INENCO<sup>5</sup>

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

**RESUMEN:** En el presente trabajo se realiza un análisis comparativo de dos soluciones nutritivas aplicadas al cultivo hidropónico de Lechuga, bajo invernadero con acondicionamiento térmico solar. Se compara la solución de Hoagland y Arnon, empleada en experiencias anteriores con la de Sonneveld, de reciente aplicación. Se presentan la composición aniónica, catiónica y en sales de uso comercial para ambas soluciones comparando ambas soluciones químicamente a través de, sus relaciones Nitrato - Amonio y Nitrógeno, Fósforo, Potasio y a través de la aplicación del método de Steiner. Se analiza la evolución en la concentración de nutrientes en un cultivo de Lechuga, evaluando los rendimientos obtenidos con ambas soluciones. Las diferencias entre las soluciones no se reflejan en diferencias en rendimientos en el cultivo. La formulación de Sonneveld, tuvo un comportamiento más estable en su pH.

**PALABRAS CLAVES:** Hidroponia, Soluciones nutritivas, Cultivo sin suelo, Cultivo de Lechuga, Invernadero,

### INTRODUCCIÓN

Desde hace 4 años se realizan diferentes experiencias con cultivo hidropónico en un invernadero con acondicionamiento térmico solar, Saravia et al (1997), la mayor parte de las experiencias se realizaron con cultivo de lechuga. El sistema de cultivo empleado es de bandejas flotantes y se escogió para las experiencias la solución nutritiva universal (considerada apta para muchas especies cultivadas) de Hoagland y Arnon (1938).

La misma solución nutritiva y sistema de cultivo se emplearon en ensayos posteriores de adaptación de especies hortícolas múltiples al sistema de cultivo, donde se ensayaron, acelgas, espinacas, rabanitos, remolachas, escarola, pimiento, tomate y col china. Quiroga et al (1998)

Con la expansión de las técnicas de cultivo hidropónico, la solución de Hoagland y Arnon, como otras de tipo universal, han sido parcialmente reemplazadas por formulaciones con composición, conductividad eléctrica y pH, adecuados a los requerimientos de cada especie cultivada, considerando en muchos casos también las condiciones de cultivo (invierno o verano) e inclusive la etapa de crecimiento de la planta (estado vegetativo, floración, fructificación) Resh (1987)

La multiplicidad de factores que condicionan la absorción de nutrientes minerales, hace que la obtención de una formulación ideal para cada especie o variedad en cada situación, sea algo no fácil de lograr y que se requieran ajustes a las condiciones ambientales y técnicas de cultivo.

Las soluciones nutritivas en general, consideran en su formulación aniones y cationes en sus formas absorbibles por la planta que son Nitrógeno como Nitrato  $\text{NO}_3^{1-}$  y como Amonio  $\text{NH}_4^{1+}$ , Fósforo como Fosfato diácido  $\text{H}_2\text{PO}_4^{1-}$ , Azufre como Sulfato,  $\text{SO}_4^{2-}$ , Potasio como catión  $\text{K}^{1+}$ , Calcio como catión  $\text{Ca}^{2+}$ , Magnesio como catión  $\text{Mg}^{2+}$

Usualmente diferentes formulaciones tienen distintas concentraciones de los elementos esenciales llamados macronutrientes, (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre).

Por otra parte para una buena absorción de nutrientes y por lo tanto para un buen crecimiento de la planta; debe existir una adecuada relación proporcional entre los iones integrantes de la solución nutritiva. Esto último constituye en sí un aspecto de muy delicado equilibrio, ya que la abundancia de un determinado catión o anión, puede constituirse por competencia en un elemento determinante de la deficiencia de otro. Oriol (1993)

<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 Facultad de Cs. Naturales UNSa.- <sup>3</sup> Personal del CIUNSa - <sup>4</sup> Personal del CIUNSa.

<sup>5</sup> Instituto UNSa - CONICET

Un problema frecuente en cultivo de lechuga en verano, particularmente bajo invernadero es el alargamiento prematuro de la planta para florecer, llamado bolting. Este problema limita en determinadas zonas el cultivo de lechuga en épocas de calor, quedando circunscripto a lugares mas frescos, y es una de las causas de los mayores precios de lechuga en los meses de verano. El bolting es causado principalmente por efecto de temperaturas superiores a 28 C y altas irradiancias, sin que se haya evaluado en cultivos hidropónicos la posible influencia de la solución nutritiva en el fenómeno.

El presente trabajo constituye una continuación de las experiencias anteriormente mencionadas, y la primera en la que se avanza hacia la aplicación de formulaciones específicas para cada cultivo, en busca de aumentar rendimientos y calidad observando sus resultados comparativamente con la solución universal de Hoagland y Arnon, ya probada y conocida.

En el mismo sistema de invernadero y cultivo citados anteriormente, se utilizó, la formulación específica para lechuga indicada por Sonneveld (1982). Se presentan comparativamente las soluciones nutritivas, sus composiciones químicas, proporciones de cationes y aniones, nitratos y amonio y los resultados obtenidos empleándolas para el cultivo de lechuga evaluando paralelamente la incidencia de bolting.

### MATERIALES Y MÉTODOS.

Los ensayos se realizaron en el período octubre - diciembre, con cultivo de lechuga var. Waldmans's Green para la comparación de las soluciones nutritivas de Hoagland y Arnon y Sonneveld, en su formulación específica para cultivos de lechuga. La composición aniónica y catiónica de ambas soluciones se detalla en las tablas 1 y 3

Ión	Fórmula	Concentración	
		mg/L	mequiv/L
Nitrato	NO <sub>3</sub> <sup>1-</sup>	998	16,1
Fosfato Diácido	PO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> <sup>1-</sup>	194	2,0
Sulfato	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	191	4,0
Potasio	K <sup>1+</sup>	394	10,1
Calcio	Ca <sup>2+</sup>	120	6,0
Magnesio	Mg <sup>2+</sup>	48	4,0
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>1+</sup>	36	2,0

Tabla 1 : Solución de Hoagland y Arnon (universal) Preparada con la formulación en sales que figura en la tabla 2

Compuesto	Fórmula	Concentración g/L
Nitrato de Calcio	Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1,020
Nitrato de Potasio	KNO <sub>3</sub>	0,492
Fosfato diácido de Amonio	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,230
Sulfato de magnesio heptahidratado	MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	0,490

Tabla 2 : Formulación en sales de uso comercial para solución de Hoagland y Arnon

Ión	Fórmula	Concentración	
		mg/L	mequiv/L
Nitrato	NO <sub>3</sub> <sup>1-</sup>	1178	19,0
Fosfato Diácido	PO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> <sup>1-</sup>	194	2,0
Sulfato	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	96	2,0
Potasio	K <sup>1+</sup>	429	11,0
Calcio	Ca <sup>2+</sup>	190	9,5
Magnesio	Mg <sup>2+</sup>	24	2,0
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>1+</sup>	9	0,5

Tabla 3 : Solución de Sonneveld - Formulación para cultivo de lechuga

Ambas soluciones nutritivas se prepararon con sales de alta solubilidad de grado técnico, empleadas usualmente en fertirrigación, disponibles en el mercado.

La formulación de la nueva solución de Sonneveld se realizó respetando la relación iónica original citada en Tabla 2, incorporándolos en la siguiente forma:

Nitrato como Nitrato de Calcio y como Nitrato de Potasio

Fosfato Diácido como Fosfato Diácido de Amonio y como Fosfato Diácido de Potasio

Sulfato como Sulfato de Magnesio  
 Potasio como Nitrato de Potasio y como Fosfato Diácido de Potasio  
 Calcio como Nitrato de Calcio  
 Magnesio como Sulfato de Magnesio  
 Amonio como Fosfato Diácido de Amonio

La selección de estas sales se hizo considerando la conductividad de la solución y su pH, ya que al calcular otras combinaciones de compuestos, o bien se alteraba la composición original en algún ión, o bien se alteraba el pH deseado para la solución (6 - 6,9). Situación que se presenta al agregar todo el Fosfato en forma de Fosfato diácido de amonio como en Hoagland. El agregado de fósforo en forma de fosfato diácido de potasio, se adoptó ya que, si bien no es una droga demasiado corriente en el mercado local, se requiere en pequeñas cantidades y actúa contribuyendo a regular el pH y se evitan de esta manera los problemas mencionados.

De esta manera, la composición final de la solución es la que se detalla en la tabla 4 :

Compuesto	Fórmula	Concentración g/L
Nitrato de Calcio	Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,779
Nitrato de Potasio	KNO <sub>3</sub>	0,960
Fosfato diácido de Amonio	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,058
Fosfato diácido de Potasio	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,204
Sulfato de magnesio heptahidratado	MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	0,246

Tabla 4 : Formulación en sales para solución de Sonneveld

Los micronutrientes (Boro, Zinc, Manganeso, Molibdeno, Cobre) se aportaron para ambas soluciones, según la composición recomendada por Hoagland y Arnon y el Hierro mediante un quelato comercial, no resultando relevantes para el presente análisis.

A lo largo del período de cultivo, se realizaron análisis químicos de contenidos de nitrato y amonio por espectrofotometría y de potasio por absorción atómica, en la solución nutritiva de Sonneveld, que se consideran comparativamente con resultados de análisis anteriores de la solución de Hoagland.

### Cultivo

Se cultivó la variedad de lechuga Waldmans Green, para la comparación de resultados con diferentes soluciones. Paralelamente se llevó un cultivo de 4 variedades diferentes de lechuga, al solo efecto de observar respuestas diferenciales en la manifestación de bolting

Se realizaron evaluaciones del crecimiento de las plantas, a través de la evolución del peso a lo largo del cultivo

### RESULTADOS

Una forma en que se caracterizan usualmente las diferentes formulaciones para fertilización es su relación proporcional entre los tres elementos de mayor demanda por las plantas, Nitrógeno, Fósforo, Potasio (expresado como pentóxido de fósforo) y Potasio (expresado como óxido de potasio). Se considera que existe una relación óptima entre estos tres nutrientes para cada especie, determinada por una necesidad diferencial de cada uno de estos iones.

Las relaciones de absorción mutua de los iones Nitrato y Amonio, también es diferente, existiendo para distintas especies una relación óptima en cada caso. Por otra parte una relación adecuada Nitrato - Amonio, permite mantener el pH estable. Un aporte excesivo de Amonio, causa además problemas de fitotoxicidad en las plantas.

Del análisis de ambas formulaciones surgen las diferentes en las proporciones de los nutrientes mencionados, mencionadas que se detallan en tabla 5

	Formulación de Sonneveld		Formulación de Hoagland y Arnon	
Relación NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> /NH <sub>4</sub> <sup>+1</sup>	38 mequiv/mequiv		8 mequiv/mequiv 05	
N (Nitrógeno total)	273 mg	12% 1	225 mg	10% 1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (pentóxido de fósforo)	142 mg	6% 0,5	144mg	6% 0,6
K <sub>2</sub> O (óxido de potasio)	517 mg	23% 1,91	475 mg	21% 2,1

Tabla 5 : Comparación en relación Nitrato - Amonio y Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

De este análisis surge que las mayores diferencias entre las formulaciones se presentan fundamentalmente en la relación Nitrato - Amonio, con un mayor aporte de Nitrógeno en forma de Nitrato en la solución de Sonneveld. Comparativamente en pesos absolutos las cantidades de Nitrato no son muy diferentes pero es muy notable la diferencia en cantidad de amonio, dado que Sonneveld aporta 4 veces menos amonio.

Si bien entre Nitrógeno, Fósforo y Potasio existen diferencias, éstas no parecen ser sustanciales. Del análisis de las tablas 1 y 3 se pueden observar algunas otras diferencias : Hoagland por su parte aporta aproximadamente el doble de Magnesio y de Sulfato, mientras que Sonneveld aporta mayores cantidades de Potasio. Todo esto llevo a pensar en un principio que los resultados entre ambas podrían representar cambios notables en los rendimientos y/o calidad de las plantas.

Otro análisis que se hizo fue a través del método de Steiner (1980) que permite comprobar si los aniones y cationes aportados cumplen con las relaciones empíricas consideradas adecuadas para su correcta absorción por los vegetales, sin que haya problemas de interacciones negativas entre ellos.

Considera que las plantas están facultadas para absorber en forma selectiva los aniones ( $\text{NO}_3^{1-}$ ,  $\text{PO}_4\text{H}_2^{1-}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ ) y los cationes ( $\text{K}^{1+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ) en determinados intervalos de relaciones mutuas delimitados en el interior de un diagrama ternario denominado "Triángulo de Steiner". El diagrama ternario, presenta delimitadas en su interior zonas consideradas como óptimas para la relación de aniones y cationes. Con los valores de la formulación, se representa la proporción porcentual de Calcio, Magnesio y Potasio, respecto al total que suman los tres cationes, y el punto resultante de la intersección de las tres rectas representadas en las alturas del triángulo deberá quedar comprendido en la zona delimitada como óptima.

La figura 1 muestra la representación de aniones y cationes para ambas formulaciones, en el triángulo de Steiner.

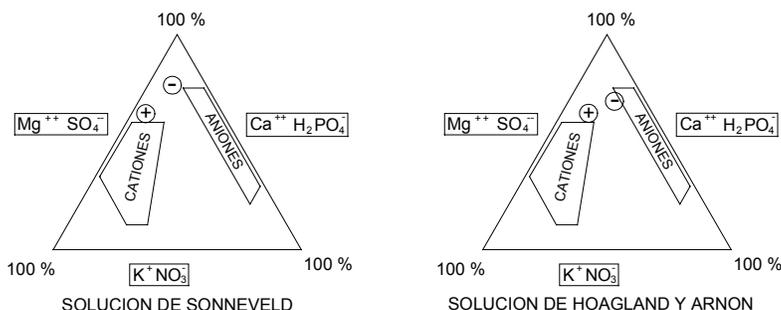


Figura 1 : Representación de aniones y cationes, para las soluciones nutritivas de Sonneveld y Hoagland y Arnon.

Del análisis de ambas soluciones nutritivas por el método de Steiner surge:

Que ninguna de las dos soluciones empleadas cumplen con la condición postulada por Steiner, si bien ambas están muy próximas, no se encuadran dentro de la zona delimitada como óptima para la relación de aniones y cationes presentando mayor diferencia en las proporciones de cationes

Los análisis químicos de la solución de Sonneveld realizados mostraron la evolución en la concentración de nutrientes representada en la figura 2, donde se representa además la evolución en el peso de las plantas, considerados desde el momento del transplante.

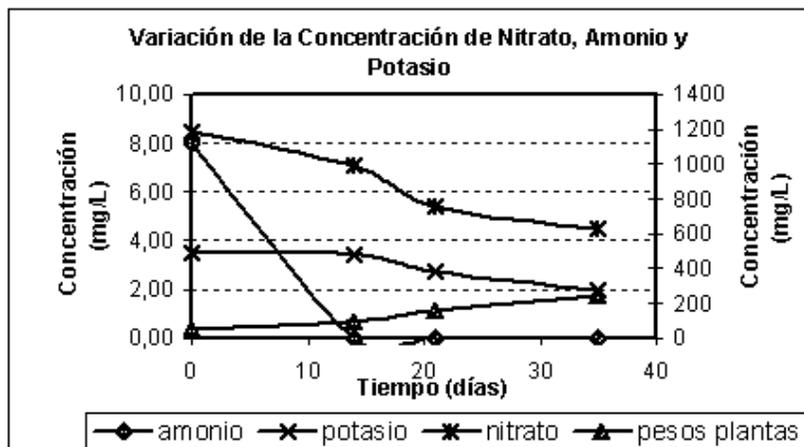


Figura 2 : Evolución de las concentraciones de nutrientes y de pesos de planta.

La concentración de amonio desciende rápidamente, para desaparecer en el término de 14 días. Esta reducción brusca es justificable en parte por volatilización del compuesto y por la baja concentración inicial, además del hecho de que es fácilmente absorbido por las plantas.

El nitrato disminuye en igual período un 17,06 %, quedando al final del ciclo de cultivo un remanente de un 52,35 % en la solución nutritiva. El potasio disminuye paulatinamente a lo largo del cultivo con escaso consumo en los primeros 14 días y con un remanente final del 56,85 % respecto al aporte inicial.

Tanto en Nitrato como en Potasio es observable un notable incremento en el consumo luego de los primeros catorce días, coincidente además con el aumento en el ritmo de crecimiento de las plantas. Las concentraciones finales de nitrato y potasio en la solución hacen pensar en la posibilidad de su aprovechamiento para suplementar nutricionalmente algún cultivo menos exigente o en la posibilidad de partir de una formulación con concentraciones menores ajustadas a los niveles de requerimientos en las plantas, para lo cual sería necesario realizar análisis más detallados de lo que ocurre con los demás cationes y aniones.

En análisis similares realizados para la formulación de Hoagland y Arnon Saravia et al (1997), se pudo observar que el amonio permanece en solución durante un período mayor, esto es atribuible a la mayor concentración inicial del compuesto. La concentración de Nitrato final es del 53,84 % respecto a la inicial.

Un aspecto destacable en relación al manejo de las soluciones nutritivas es el hecho de que en la solución de Hoagland y Arnon se requirieron permanentes controles y corrección de pH, que tendió a acidificarse durante el ciclo de cultivo. La solución de Sonneveld en cambio permaneció con un pH estable alrededor de 6,3.

La evolución de pesos medios de plantas obtenida a lo largo del ciclo de cultivo para ambas soluciones se detalla en la tabla 6

Días desde transplante	Peso plantas (g) Sol. Sonneveld	Peso Plantas (g) Sol. Hoagland y Arnon
15	48,63	34,86
29	91,66	83,26
36	153,56	176,32
50	244,41	243,00

Tabla 6 : Evolución comparativa de pesos de plantas

Usualmente en condiciones de verano en invernadero, las altas temperaturas e irradiancia acortan el período entre siembra y floración, produciendo prematuramente el indeseable alargamiento que reduce el valor comercial de las lechugas.

Si bien en todos los casos las plantas de lechuga presentaron alargamiento para floración, este se produjo luego de los 60 días desde la siembra. El ciclo para las variedades ensayadas oscila entre 45 y 70 días, con lo que resulta que las variedades con ciclo entre 45 a 50 días (Grand Rapids, Black Simpson y Brisa) lograron completar su ciclo, mientras que en la variedad de lechuga de cabeza (Grandes Lagos), éste se acortó. Fue también posible observar que en la variedad arpeollada (de cabeza) si bien la cabeza se formó, no fue lo deseablemente compacta.

El gráfico de la figura 3 muestra la evolución de temperaturas del invernadero, del ambiente exterior y de la solución nutritiva, en algo más de tres días representativos del período de cultivo.

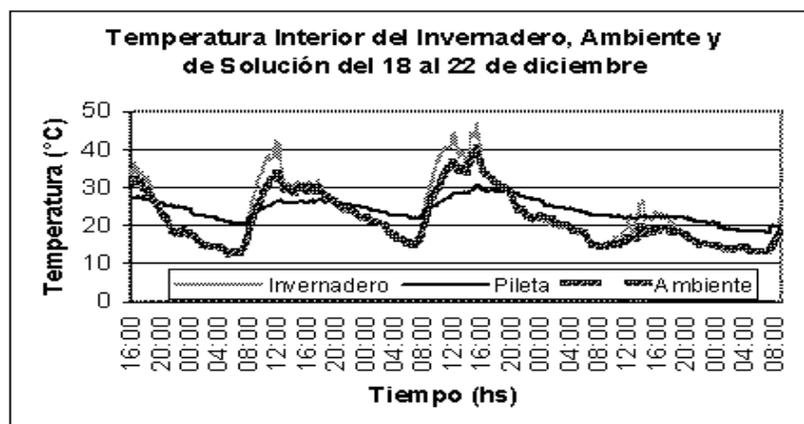


Figura 3 : Evolución de temperaturas del 18 al 22 de diciembre

Del gráfico puede observarse que si bien las temperaturas fueron en muchos casos superiores a los 28 °C citados en la bibliografía como determinantes de la presencia de Bolting, las temperaturas de solución nutritiva se mantuvieron en general por debajo de ese valor, superándolo en períodos breves. Este aspecto juntamente con la reducción en la irradiancia de un 60 %, puede haber operado favorablemente para la reducción del problema.

La incidencia de Bolting en las lechugas fue independiente de la solución nutritiva utilizada, alargándose de la misma manera y en iguales plazos las lechugas cultivadas con Sonneveld y con Hoagland y Arnon. Un aspecto a destacar es que las lechugas a pesar del alargamiento no toman el sabor amargo ni consistencia dura característica de las lechugas en ese estado cultivadas en el campo.

## CONCLUSIONES

Del análisis comparativo entre las soluciones nutritivas de Hoagland y Arnon y de Sonneveld, surge que:

Ninguna se encuadra dentro de las proporciones de cationes y aniones consideradas óptimas por el método de Steiner quedando para una evaluación posterior la formulación de una solución nutritiva que se adapte a estas condiciones, y su comparación con las formulaciones empleadas en el presente trabajo.

La solución de Hoagland y Arnon, es una muy buena solución universal, capaz de producir rendimientos en lechuga análogos a los posibles con una formulación reconocida y específica para la especie, como la de Sonneveld.

La solución de Sonneveld, resultó tener un pH apreciablemente más estable, derivado de la presencia de Fosfato diácido de Potasio en su formulación y de su relación Nitrato- Amonio mayor. Esta condición de estabilidad en el pH facilita su manejo.

Pero si bien las diferencias entre las soluciones nutritivas, analizadas desde el punto de vista de los rendimientos en peso obtenidos, no presentan una variación apreciable, es indiscutible que la situación ideal es cultivar cada especie con una solución perfectamente adaptada a sus requerimientos, y es conocido que la adaptación requiere ajustes que muchas veces no son triviales ni mucho menos rápidos. Por ello se considera esta experiencia como el primer paso en la tarea lograr aplicar y ajustar formulaciones adecuadas a cada especie en cultivo.

Los análisis referidos a la incidencia de Bolting en las lechugas, mostraron que el acondicionamiento térmico del invernadero logra mantener condiciones adecuadas para que las lechugas tipo crespas Waldmans Green, Brisa y Black Simpson, logren completar su ciclo de cultivo con buenas cualidades, mientras que las lechugas tipo arrepolladas de cabeza Grandes Lagos, inician alargamiento para floración antes de completar su ciclo, mostrando de esta manera menor aptitud para cultivos de verano.

## REFERENCIAS

Saravia et al, (1997). Cultivo hidropónico de lechuga en un invernadero con acondicionamiento térmico solar Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Volumen 1, N° 1, 25-28.

Quiroga M, et al . (1998) Huerta Hidropónica Experimental. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol 1 N° 1 01.17 -01.24

Resh Howard M, (1987) Hydroponic Food Production 3° edición Woodbridge Press Publishing Company – California.

Tecnología de la Horticultura Protegida (1993) Facultad de Agronomía de la UBA – INTA EEA Sn Pedro.

Oriol M, (1993) Fertirrigación, Sustratos y Cultivos Sin Suelo. Depto. De Tecnología Hortícola – Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (IRTA). Catalunya – España.

**AGRADECIMIENTOS:** A Hugo González, Técnico Principal del CONICET y a Enrique Soria Abad, Técnico Asistente del CONICET del IMBEMI –UNSa. Por su valiosa colaboración.

**ABSTRACT :** This paper deals with a comparative analysis of two nutrient solutions used in a lettuce hydroponic culture in a solar greenhouse. Hoagland and Arnon solution used in experiences conducted previously and the new Sonneveld solution are compared. The ionic and commercial composition for each solution is presented. The Steiner method and the nitrate – ammonium and nitrogenous, phosphor, potassium ratio are analyzed. The evolution of the concentration of several ions and its relationship with the crop production is included

In this case, both nutrient solutions had similar crop production but the Sonneveld solution had the advantage of a more constant pH value.