



## Evaluación de niveles de nitrógeno en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en el sistema hidropónico NFT, en la ciudad de El Alto - La Paz

### Evaluation of nitrogen levels in lettuce cultivation (*Lactuca sativa L.*) in the NFT hydroponic system, in the city of El Alto – La Paz

*Rosario Carita Tarquí, Cosme Huanca Chuí y Celía María Fernández Chávez*

#### RESUMEN:

El presente trabajo de investigación compara el comportamiento de dos niveles de nitrógeno en dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa L.*), cultivados en el sistema hidropónico Nutrient Film Technique (NFT), utilizando como referencia la solución nutritiva que propone Shiper. El experimento se realizó en las instalaciones de la empresa "Hortícolas Chuí", ubicada en la zona Bautista Saavedra H, de la ciudad de El Alto. Para la evaluación se utilizaron los siguientes niveles de nitrógeno; (80 %  $\text{NO}_3^-$  y 20%  $\text{NH}_4^+$ ) se denominó como nivel uno y (90 %  $\text{NO}_3^-$  y 10%  $\text{NH}_4^+$ ) se denominó como nivel dos, en las variedades Crocantela y Romanela. Para alcanzar los objetivos planteados, se utilizó el diseño de bloques al azar con arreglo de parcelas divididas. Los tratamientos fueron: T1 (80 %  $\text{NO}_3^-$  y 20%  $\text{NH}_4^+$  - variedad Crocantela), T2 (80 % y  $\text{NO}_3^-$  20% -  $\text{NH}_4^+$  variedad Romanela), T3 (90 %  $\text{NO}_3^-$  y 10%  $\text{NH}_4^+$  - variedad Crocantela), T4 (90 %  $\text{NO}_3^-$  y 10%  $\text{NH}_4^+$  - variedad Romanela). Las variables de respuesta evaluadas fueron: altura de planta, número de hojas, peso fresco, rendimiento, análisis de laboratorio del contenido de nitrógeno total y proteína cruda en las hojas de lechuga; análisis de laboratorio del contenido de nitrógeno total en la solución nutritiva y la relación beneficio costo del cultivo de lechuga en el sistema hidropónico (NFT), el experimento se realizó en la temporada de otoño entre los meses de marzo y mayo. Es importante destacar que hubo una marcada diferencia entre las dos variedades de lechuga, diferencias que son atribuidas a sus características genéticas y morfológicas de cada variedad. En cuanto al peso la variedad Crocantela registró el mayor promedio igual a 283,81 g y 254 g, en cambio la variedad Romanela obtuvo 239,17 g y 202,89 g. En cuanto a la variable rendimiento la variedad Crocantela registro 5,0 kg/m<sup>2</sup> y la variedad Romanela 4,2 Kg/m<sup>2</sup>. Los resultados respecto al factor de estudio niveles de nitrógeno propuestos en el experimento muestran un comportamiento similar, siendo económicamente recomendable el nivel uno (80 %  $\text{NO}_3^-$  y 20%  $\text{NH}_4^+$ ). En cuestión a los resultados del análisis de laboratorio en las hojas de lechuga, el T1 y T2 obtuvieron 5,3 %, en relación al T3 obtuvo el 5,3 % y el T4 obtuvo el 5,0%. El contenido de proteína cruda todos los tratamientos obtuvieron el 33%, el estudio se realizó en la temporada de otoño. Respecto al contenido de nitrógeno total en la solución nutritiva, el nivel uno inicialmente registro 178 mg/l y al finalizar 194 mg/l, respecto al nivel dos inicialmente registro 183 mg/l y al finalizar 237 mg/l. La relación beneficio costo (B/C), los ingresos de la producción en el sistema hidropónico conforme a las interacciones propuestas son: el T<sub>1</sub> mostro una relación igual a 4.5, seguido del T<sub>3</sub> con una relación igual a 4.2, la variedad Romanela obtuvo los siguientes valores, T<sub>2</sub> obtuvo una relación de 3,8 y el T<sub>4</sub> una relación de 3.7; todos los tratamientos del estudio muestran rentabilidad.

#### PALABRAS CLAVE:

Nitrógeno, niveles, proteína cruda, variedades de lechuga, hidroponía.

#### ABSTRAT:

The present research compares the behavior of two levels of nitrogen in two varieties of lettuce (*Lactuca sativa L.*), cultivated in the hidropónico system Nutrient Film Technique (NFT), using as a reference the nutritive solution that Shiper proposes. The experiment was conducted on the premises of the company "Horticultural Chuí", located in the Bautista Saavedra H, of the city of El Alto. For the evaluation used the following levels of nitrogen; (80%  $\text{NO}_3^-$  and 20%  $\text{NH}_4^+$ ) It was called as level one and (90%  $\text{NO}_3^-$  and 10%  $\text{NH}_4^+$ ) was called as level two, Crocantela and Romanela varieties. To achieve the goals, the design of blocks at random with arrangement of split plots was used. The treatments were: T1 (80 %  $\text{NO}_3^-$  y 20%  $\text{NH}_4^+$  - Crocantela variety), T2 (80% y  $\text{NO}_3^-$  20% -  $\text{NH}_4^+$  Romanela variety), T3 (90 %  $\text{NO}_3^-$  y 10%  $\text{NH}_4^+$  - Crocantela variety), T4 (90%  $\text{NO}_3^-$  and 10%  $\text{NH}_4^+$  - Romanela variety). The response variables evaluated were: plant height, number of leaves, fresh weight, plant yield, laboratory analysis of the contents of total nitrogen and crude protein in the leaves of lettuce; laboratory analysis of the total nutrient solution nitrogen content and the analysis of the relation benefit cost of lettuce in the hidropónico system (NFT), the experiment was conducted in the fall season between the months of March and may. It is important to note that there was a marked difference between the two varieties of lettuce, differences that are attributed to genetic and morphological characteristics of each variety. As the weight the Crocantela variety recorded the highest average equal to 283,81 g and 254 g, on the other hand the Romanela variety obtained 239,17 g and 202,89 g. Regarding the variable yield Crocantela variety registrated 5.0 kg/m<sup>2</sup> and the Romanela variety registrated 4,2 kg/m<sup>2</sup>. The results respect to the factor of nitrogen levels in the experiment shows a similar behavior, being economically advisable the level one (80%  $\text{NO}_3^-$  and 20%  $\text{NH}_4^+$ ). The results of the laboratory analysis in lettuce leaves, T1 and T2 obtained 5.3%, in relation to T3 obtained 5.3% and T4 obtained 5,0%. In terms of the crude protein content, all treatments obtained 33%, this study was conducted in the fall season. The laboratory analysis of the content of total nitrogen in the nutrient solution, presents the following results: level one initially registered a value of 178 mg/l and at the end of a value of 194 mg/l, with regard to the level two, initially registered a value of 183 mg/l and at the end of registration a value of 237 mg/l. According to the benefit cost analysis (b/c), the production income in the hidropónico system under the proposed interactions are: T1 showed a 4.5 relation, followed by the T3 with 4.2 relation, the Romanela variety obtained the following values, T2 obtained 3.8 relation and finally T4 with 3.7 relation; all treatments of the present study show cost effectiveness.

**KEYWORDS:** Nitrogen, levels, crude protein, lettuce varieties, hydroponics.

**AUTORES:** **Rosario Carita Tarqui:** Carrera de Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. [rouscarita15@gmail.com](mailto:rouscarita15@gmail.com)

**Cosme Huanca Chui:** Investigador Empresa Hortícolas Chui. [cosme.horticolaschui@gmail.com](mailto:cosme.horticolaschui@gmail.com)

**Celia María Fernández Chávez:** Docente Carrera de Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. [cmfch3311@hotmail.com](mailto:cmfch3311@hotmail.com)

**Presentado:** 08/06/19. **Aprobado:** 15/09/19.

**DOI:** <https://doi.org/10.53287/qeiv9083cu65k>



## INTRODUCCIÓN

La producción de hortalizas en la región del altiplano boliviano, a menudo se ha visto afectada por diferentes factores: desastres naturales, insuficiente precipitación, suelos degradados, el exagerado uso de plaguicidas y fertilizantes, provocando como consecuencia los escasos de alimentos y la reducción de áreas cultivables.

Todos estos problemas llevan a los investigadores a implementar nuevas propuestas en la producción de alimentos de este modo optimizar el uso del agua, obtener mayores rendimientos, garantizar la producción durante todo el año, producir en espacios reducidos, obtener mayores rendimientos de buena calidad y aminorar el impacto ambiental.

En tal efecto la hidroponía, nos permite cultivar y producir plantas sin el uso de suelo o tierra, optimizando el uso del agua, el eficiente uso de fertilizantes, mayores rendimientos por unidad de área cultivada y productos de excelente calidad. En este sentido la técnica Nutrient Film Technique (NFT), es una de las ramas de la hidroponía que tiene como principio la circulación continua o intermitente de una lámina de solución nutritiva. El cultivo de la lechuga es una de las hortalizas con mayor producción en este tipo de sistema hidropónico, esta hortaliza de hoja tiene una alta demanda en el mercado, se considera un

producto de primera necesidad en la canasta familiar, es de consumo masivo en el mundo, se caracteriza por su gran producción de materia verde, buen contenido proteico, fuente importante de vitaminas, minerales (potasio y magnesio), aporta muy pocas calorías, alto porcentaje de agua (90-95 %), folatos y fibra.

Para una producción con mayor rentabilidad y buena calidad con valor nutricional, uno de los requisitos fundamentales es balancear los nutrimentos que requiere el cultivo de lechuga y de los 17 nutrimentos necesarios para el desarrollo de las plantas, el nitrógeno ejerce el mayor efecto sobre el crecimiento y rendimiento, y es el único nutrimento que puede ser absorbido en tres formas: aniónica ( $\text{NO}_3^-$ ), catiónica ( $\text{NH}_4^+$ ), molecular [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ], y como aminoácidos. (Näsholm et al., 2009)

Es por ello que una combinación adecuada del ion nitrato y del catión amonio, la elección de fertilizantes, el manejo de los parámetros de la solución nutritiva (pH, CE, TDS, temperatura), permiten alcanzar altos rendimientos, con buen valor nutricional para aportar proteínas, nitratos permisibles en la salud humana. El objetivo de la investigación fue conocer la relación óptima de  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva que favorece el comportamiento agronómico y nutrimental de la lechuga en un sistema hidropónico NFT, analizar el contenido de nitrógeno total y de proteína cruda en la hoja de lechuga y analizar la cinética

de la absorción del ion nitrato  $\text{NO}_3^-$  y los efectos del catión amonio  $\text{NH}_4^+$  en el cultivo de lechuga.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar con arreglo de parcelas divididas; considerando el efecto de nivel de nitrógeno, como parcela mayor y variedades de lechuga, como parcela menor.

Se realizó la siembra de las semillas peletizadas de ambas variedades en espuma común. El cálculo de fertilizantes a utilizar se realizó con el programa Hidrobuddy. Se realizó la neutralización del agua potable con la solución diácida. El transparente a bandejas flotantes después de nueve días de la siembra. Luego, las plantas permanecieron seis semanas en bandejas flotantes y otras seis semanas en el sistema NFT.

### Monitoreo del cultivo

Corrección de tallos prolongados en plántulas jóvenes. Corrección de deficiencia de calcio en plantas jóvenes, en bandejas flotantes. Lesiones en las raíces a causa de la toxicidad del amonio. Se aplicó las auxinas al 0.05 ml/l. La corrección de deficiencia de calcio y potasio en plantas en adultas en el sistema NFT.

### Monitoreo de solución nutritiva

Oxigenación de la solución nutritiva en bandejas flotantes. Titulación de la solución nutritiva en bandejas flotantes con hidróxido de potasio y bicarbonato de sodio. Registro de parámetros de la solución nutritiva pH, CE, TDS y temperatura.

### Recolección de muestras para análisis

Hojas de lechuga y solución nutritiva.

### Variables de respuesta

Se tomó en cuenta el porcentaje de germinación, número de hojas, altura de la planta,

peso fresco de lechuga, rendimiento ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), análisis de contenido de nitrógeno total y proteína cruda en las hojas de lechuga. Análisis del contenido de nitrógeno total y parámetros de la solución nutritiva. Relación beneficio y costo.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Variables agronómicas

#### Porcentaje de germinación

En la figura 1, se observa las curvas del porcentaje de germinación de las semillas peletizadas, la variedad Crocantela muestra un alto porcentaje de germinación obteniendo un 98 % y la variedad Romanela un 97%.

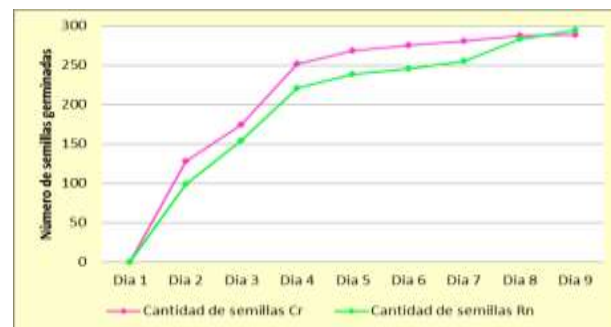


Figura 1. Porcentaje de germinación de semillas peletizadas de lechuga.

Según Huanca (2017), a los siete días obtuvo un 97% y 98% del total de semillas sembradas, en las variedades de Romanela y Crocantela. Cussi (2018), hace referencia a la cobertura de arcilla higroscópica en estas semillas y obtuvo 99,34 % en la variedad Crocantela y 86,60% en la variedad Brunela.

### Número de hojas

El análisis de variancia registra diferencias estadísticas altamente significativas para el factor de variedades de lechuga. Para el efecto de niveles de nitrógeno y la interacción de variedades de lechuga por niveles de nitrógeno no hubo diferencias estadísticas, el coeficiente de variación obtenido fue 14,57 %. La comparación de promedios por la prueba Duncan al 5%, indica

que la V. Crocantela 15,88 hojas fue superior a la V. Romanela 11,5 hojas. Huanca (2017), obtuvo como resultado para la v. Romanela 14 hojas y la v. Crocantela 11 hojas, en temporada de verano.

El registro semanal de la variable número de hojas variedades y niveles de fertilización, se presenta en la figura 2.



Figura 2. Número de hojas de la variedad Crocantela y Romanela.

Murillo (2010), señala que las plantas de lechuga producidas en los canales de cultivo ubicados en la parte baja de la pirámide de producción (dos inferiores), mostraron tener poca cantidad de hojas y estaban muy elongadas, debido a la poca interceptación de luz. El número de hojas en promedio se atribuyen a las características morfológicas de cada variedad, las plantas del canal de cultivo ubicado en la parte inferior del piramidal presentaron menor número de hojas.

### Altura de la planta

El análisis de varianza para altura de planta para el factor variedades de lechuga presenta una diferencia altamente significativa, en cambio el factor niveles y la interacción entre factores A\*B (nivel por variedad). Los promedios obtenidos son: T1 23 cm, T2 30 cm, T3 22 cm y T4 33 cm de altura. El coeficiente de variación tiene un valor de 8.17 %, la prueba Duncan al 5%, indica que la v. Romanela resultó estadísticamente superior a la v. Crocantela. Huanca (2017), la v. Romanela se destacó con de

29,38 cm a comparación de la variedad Crocantela que tuvo una media de 25,13 cm, se atribuye estas diferencias a sus características genéticas de cada variedad.

En la figura 3, se presentan el registro semanal de la altura de planta (variedades vs nivel de fertilización).



Figura 3. Altura de planta de las variedades Crocantela y Romanela.

Según Huallpa (2009) citado por Huanca (2017), las variaciones en altura de plantas son atribuidas a los factores genéticos. Al respecto Cussi (2018), realizó su experimento con dos variedades de lechuga (Crocantela y Brunela), obtuvo como resultado plantas de mayor altura en los canales de cultivo inferiores debido a una menor cantidad de luz, morfología de la planta.

### Peso fresco

El análisis de varianza muestra diferencias estadísticas altamente significativas para el efecto del factor variedades de lechuga. Para el efecto de niveles de fertilizantes y para la interacción de variedades de lechuga por niveles de fertilizantes no hubo diferencias estadísticas. Se obtuvieron como promedios T1 283,81 g, T2 239,17 g, T3 254,36 g y T4 202,89 g, el coeficiente de variación obtenido fue 8.29%. La comparación de promedios para variedades según la prueba de Duncan al 5% indica que la v. Crocantela resultó estadísticamente superior a la v. Romanela.

En la figura 4, se expone el promedio obtenido en cuanto a peso de planta niveles de fertilización.

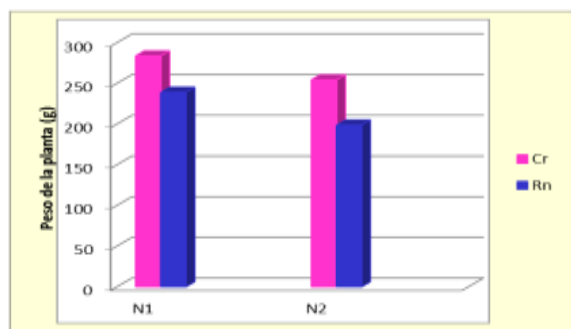


Figura 4. Peso fresco de lechuga.

Andrade (2017), menciona que la variedad Crocantela registra 200 a 250 g/planta, la v. Romanela 180 a 200 g, en un sistema NFT mixto. Al respecto Cabezas (2017), obtuvo para la v. Crocantela un promedio de 220 a 320 g/planta, en un sistema NFT mixto. En el presente estudio los resultados sugieren que una adición del 80 %  $\text{NO}_3^-$  y 20 %  $\text{NH}_4^+$  dan como resultado una mayor ganancia de peso en ambas variedades estudiadas, es por ello que, para Hartman *et al.*, (1986) menciona que la combinación de ambos iones como fuente de nitrógeno mejora el crecimiento vegetativo. Huanca (2017), señala que las diferencias son atribuibles principalmente a las características genotípicas de cada variedad, y a la asimilación de los diferentes nutrientes.

#### **Rendimiento en materia verde ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )**

En el análisis de varianza para el efecto variedades de lechuga mostraron una diferencia altamente significativa. Por otra parte, para el efecto niveles de fertilización, la interacción (nivel y variedades) presento diferencias no significativas. Los promedios registrados son T<sub>1</sub> 5,0  $\text{kg}/\text{m}^2$ , T<sub>2</sub> 4,2  $\text{kg}/\text{m}^2$ , T<sub>3</sub> 4,6  $\text{kg}/\text{m}^2$ , T<sub>4</sub> 4,0  $\text{kg}/\text{m}^2$ . El coeficiente de variación es de 3,71 %. La comparación de promedios para variedades la prueba de Duncan al 5% indica que la variedad v. Crocantela resulto estadísticamente superior a la v. Romanela.

En la figura 5, se evidencia que las variedades Crocantela y Romanela responden de diferente manera.

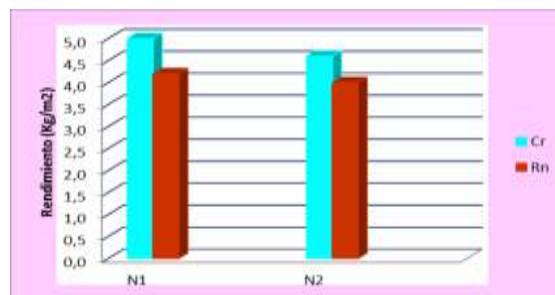


Figura 5. Rendimiento de la lechuga.

Huanca (2017) citado por Cussi (2018), obtuvo 7,67  $\text{kg}/\text{m}^2$  para la variedad Crocantela 6,36  $\text{kg}/\text{m}^2$  para la variedad Romanela. Por otra parte, Cussi (2018), obtuvo un rendimiento de 6,66  $\text{kg}/\text{m}^2$  para la variedad Crocantela. Habiendo expuesto los datos obtenidos en el sistema NFT, se puede observar que en el nivel uno con el 80% de  $\text{NO}_3^-$  y el 20 %  $\text{NH}_4^+$ , se obtuvo mayor rendimiento para ambas variedades Crocantela y Romanela. Al respecto Cárdenas y Navarro *et al.*, (2006), indican que una combinación de las dos formas de N en una relación apropiada es benéfica para el crecimiento de las plantas, el rendimiento y calidad.

#### **Análisis de contenido de nitrógeno total en la hoja de lechuga**

Los análisis en hojas de lechuga realizados presentan los siguientes resultados: el contenido de nitrógeno total en MS de las hojas de lechuga en el T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> (80 %  $\text{NO}_3^-$  20 %  $\text{NH}_4^+$ ) obtuvieron valores iguales a 5,3 %, T<sub>3</sub> 5,0 % y T<sub>4</sub> 3,5 % (90 %  $\text{NO}_3^-$  10 %  $\text{NH}_4^+$ ).

Favela *et al.*, (2006), indica que la concentración foliar el nitrógeno constituye de 1.5 y 6.0 % de la MS. Sinfield *et al.*, (2010), mencionan que sobre el rango entre 1 – 5% de la MS de la planta, está constituida de nitrógeno debido a su papel clave en los procesos de crecimiento de las plantas. Las variedades

Crocantela y Romanela, contienen valores dentro de lo establecido a otras investigaciones, la planta aprovecho el nitrógeno de manera eficiente para su desarrollo.

### **Análisis de contenido de proteína cruda en la hoja de lechuga**

Respecto a los análisis de PC en las hojas de lechuga, los tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> (80 % NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 20 % NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> (90 % NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 10 % NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), contienen un valor igual a 33% de proteína cruda.

Según Belcher y Ponce (2011), mencionan que el contenido del % PC varía de acuerdo a la variedad y la estación del año, en la estación de otoño, la variedad mantecosa registró 21,51% y la variedad crespa 25,10%.

Sánchez (2012), menciona que la proteína es considerada un nutriente esencial en la alimentación; el porcentaje de proteína cruda en la lechuga crespa es de 20,2 %, teniendo en cuenta el tenor proteínico de lechuga y el porcentaje de MS por cada 100 g de lechuga fresca consumida se aportaría, aproximadamente, 1,6 g de proteína.

### **Temperatura del invernadero**

Las temperaturas máximas y mínimas en el invernadero se registraron durante todo el periodo de investigación.

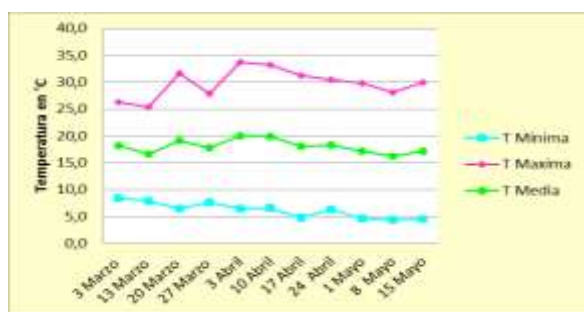


Figura 6. Temperatura del invernadero.

Las temperaturas registraron los siguientes promedios: temperatura mínima de 5,1 °C, temperatura máxima de 30,8 °C y una temperatura media de 17,97 °C. Las

temperaturas del ambiente registradas durante la investigación son atribuidas a la temporada de año (otoño). Quispe (2018), señala como temperaturas óptimas una máxima de 30,7 °C y una mínima de 7,8 °C.

### **Análisis químicos y parámetros de la solución nutritiva**

Para (80 % NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 20 % NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) SN nueva 178 mg/l y SN renovada 194 mg/l, (90 % NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 10 % NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) SN nueva 183 mg/l y SN renovada 237 mg/. Los resultados de los análisis nos presentan que en ambos niveles después del tiempo de utilidad de la solución nutritiva hubo un incremento en cuanto a la concentración de nitrógeno total.

Al respecto Santos y Ríos (2016), afirman que, en condiciones normales, el 70% de los iones absorbidos por la planta corresponde al nitrógeno en sus dos formas. Las plantas absorben el amonio con gran facilidad y selectividad frente a otros cationes, cuanto más amonio esté presente en la solución nutritiva, menos nitratos se absorben. Subiendo el NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, se logra una acidificación y subiendo el NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, se logra una basificación, este parámetro juega un papel fundamental en la disponibilidad de los elementos para la planta, por la insolubilización de éstos.

Se utilizó la solución nutritiva que propone Shiper, (205 ppm de nitrógeno), los análisis de laboratorio reportan cantidades menores en la solución nutritiva nueva valores inferiores que son atribuidos al grado de pureza de los fertilizantes utilizados. En la etapa de bandejas flotantes y las tres primeras semanas en el sistema NFT, se utilizaron fertilizantes no solubles, reacciones exotérmicas realizadas con la adición de ácido nítrico en volúmenes determinados por titulación.

### **Análisis químico de elementos de la solución nutritiva**

Las concentraciones de  $K^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Ca^{++}$  y del anión  $SO_4^-$ , se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Análisis de la SN de ambos niveles de los elementos ( $K^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Ca^{++}$ ,  $SO_4^-$ ).

Niveles de Nitrógeno	K + (mg/l)	Mg <sup>++</sup> (mg/l)	Ca <sup>++</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)
SN nuevo N <sub>1</sub>	213,80	45,95	157,40	331,71
SN renovado N <sub>1</sub>	143,60	53,60	206,20	456,88
SN nuevo N <sub>2</sub>	218,20	47,60	171,20	313,63
SN renovado N <sub>2</sub>	137,95	83,35	310,00	514,60

Fuente: Análisis Químico en (IBNORCA) – GNRE.

En la concentración del catión potasio  $K^+$ , hubo una asimilación de este catión para el beneficio de las plantas, a pesar de que el amonio es un antagonista del potasio. El catión magnesio  $Mg^{++}$  en ambos niveles se observa una acumulación,

Lasa et al., (2000), Mengel y Kirkby (2000), indica que la inclusión de amonio en ciertas concentraciones puede limitar la absorción de cationes como el magnesio. La absorción del catión  $Ca^{++}$ , puede apreciar que hubo una acumulación de este elemento.

Al respecto Santos y Ríos (2016), indican que el amonio es un antagonista del calcio, los problemas con las altas cantidades de  $NH_4^+$  se agravan con altas temperaturas en la raíz, y el pH se la solución nutritiva a ciertos valores en reacción con los fosfatos el ion  $HPO_4^{2-}$  precipita con el calcio muy fácilmente, disminuyendo el fósforo asimilable, la precipitación de  $CaHPO_4$ .

El anión sulfato  $SO_4^-$ , el exceso de este anión se debe a la alta concentración de azufre en el agua potable y al uso del sulfato de calcio utilizado para cubrir el requerimiento nutricional.

### Comportamiento e interacción de los parámetros en la solución nutritiva

Se realizó el seguimiento de los parámetros de la solución nutritiva: pH, CE y temperatura.

### Parámetros de la solución nutritiva en bandejas flotantes

El pH en la etapa de bandejas flotantes inicialmente presenta un descenso seguido de una oscilación durante toda esta etapa, el comportamiento del pH está sujeto al tipo de fertilización (catión amonio o ion nitrato), en el nivel uno se registró valores de 4,8 y 6,1 y en el nivel dos registros una mínima de 4,7 y 6,1.

La conductividad eléctrica se observa un comportamiento ascendente al igual que los sólidos disueltos, debido al incremento semanal del 10% de la concentración de las sales en la solución nutritiva y al desarrollo de las plantas existe una mayor absorción de agua, se registró de  $914 \mu S/cm^2$  a  $1006 \mu S/cm^2$  en el nivel uno, en el nivel dos  $1070 \mu S/cm^2$  a  $1202 \mu S/cm^2$ .

Los sólidos disueltos presentan valores de 457 ppm y 503 ppm en el nivel uno y en el nivel dos son 535 ppm y 601 ppm.

Piarpuezan y Remache (2011), señalan que el pH apropiado de la solución nutritiva es 5,5 y 6,5. Para Cussi (2018), los parámetros en la solución nutritiva como la CE, TDS actúa de un modo ascendente debido al incremento de la concentración de las sales en la solución nutritiva.

### Parámetros de la solución nutritiva en la etapa sistema NFT

El comportamiento de los parámetros de la solución nutritiva durante la etapa de NFT, se presentan en las figuras 7 y 8.

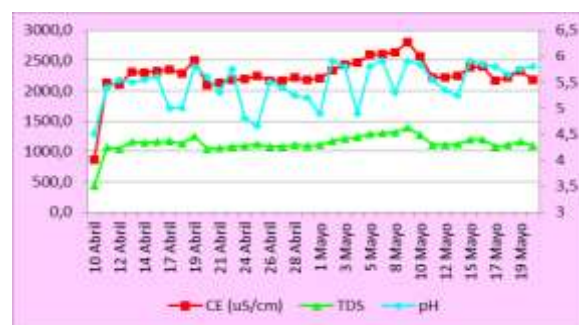


Figura 4. CE, pH y TDS nivel uno.

Evaluación de niveles de nitrógeno en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el sistema hidropónico NFT, en la ciudad de El Alto - La Paz.

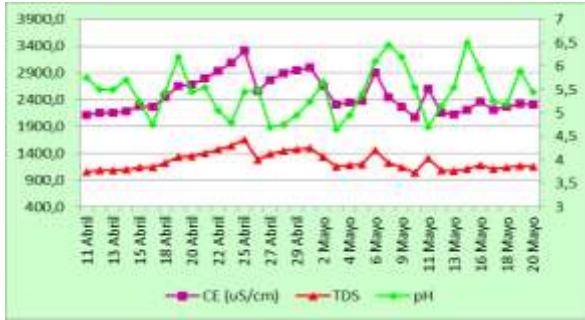


Figura 5. CE, pH y TDS nivel dos.

La conductividad eléctrica y TDS muestran un ascenso paulatino en la primera semana debido a una mayor absorción de agua. Respecto al nivel uno registró valores de 2250 a 2100  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ , el volumen utilizado fue de 1800 l. El nivel dos la CE registro de 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$  a 2300  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$  el volumen que se utilizado fue de 270 l, en el nivel uno se registró un pH igual a 4,8 y 6,0 y respecto al nivel dos un pH igual a 4,9 y 6,5.

Al respecto, Huanca (2017), señala que la mayor evapotranspiración de la planta trae como consecuencia el incremento de la CE, en su experimento registro 3218  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 1890  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Resh (1989), indica que al incrementarse el nivel de sales totales se incrementara también rápidamente la conductividad eléctrica.

Cellmax (2018), indica que la correlación entre pH y CE debe equilibrarse de acuerdo con el metabolismo de la planta y sugiere un pH óptimo de 6.5 y una CE de 2.0  $\text{mS}/\text{cm}^2$ . Los parámetros durante la etapa de esta investigación están dentro de lo establecidos por Cellmax.

### Temperatura de la solución nutritiva

La temperatura de la solución nutritiva, en ambos niveles el comportamiento fue homogéneo, registro un valor mínimo de 9,5 °C en el mes de marzo y una temperatura máxima de 30 °C correspondiente al mes de abril.

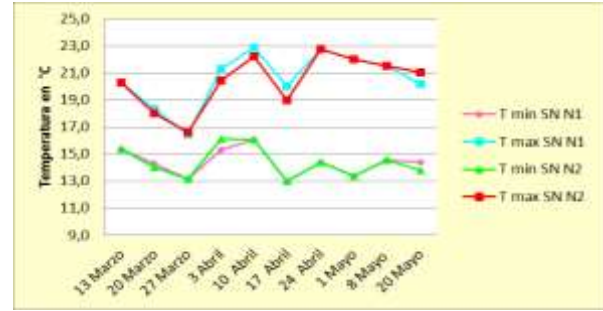


Figura 6. Temperatura (°C) de la Solución Nutritiva.

Al respecto Huanca (2017), en la etapa de bandejas flotantes registro 23 °C como máximo y mínimo 12 °C, en la etapa de sistema NFT presento como máximo 32,2 °C y la mínima de 11,7 °C, sin observar daños ni alteraciones en las plantas.

Favela (2006) sostiene que la temperatura óptima es de 22 °C; a medida que la temperatura disminuye, la absorción y asimilación de los nutrimentos también lo hace. Con temperaturas menores a 15 °C se presentan deficiencias principalmente de calcio, fósforo y hierro.

### Análisis económico

La relación beneficio costo nos permite conocer y proporcionar parámetros claros para determinar la rentabilidad. Los tratamientos presentan valores mayores a 1, lo que nos indica que todos los tratamientos son rentables, de este modo la variedad Crocantela del T1 y T3, obtuvieron una relación de B/C igual a 4,5 y 4,2; mientras que la variedad Romanela tiene una rentabilidad menor al interactuar con ambos niveles de fertilización de nitrógeno, obteniendo una rentabilidad igual a 3,8 T2 y 3,7 T4.

### CONCLUSIONES

En la variable de respuesta número de hojas por planta, la variedad Crocantela fue superior a la variedad Romanela. Se atribuye estas diferencias a las características genéticas de cada una de las variedades.



La variable altura de la planta, la que obtuvo mayor altura fue la variedad Romanela en el nivel dos, en comparación de la variedad Crocantela en el nivel uno. Las diferencias significativas se atribuyen a las características genéticas y morfológicas de cada una de las variedades.

En cuanto a la variable peso fresco de planta, el nivel uno (80 % de  $\text{NO}_3^-$  - 20% de  $\text{NH}_4^+$ ), presento una mayor ganancia de peso en ambas variedades, la morfología de la variedad Crocantela influye en la ganancia del peso.

En rendimiento de lechuga expresado en  $\text{kg/m}^2$ , se puede concluir que la variedad Crocantela obtuvo un rendimiento respecto a la variedad Romanela. La diferencia es atribuida a las características genéticas, morfológicas y requerimientos ambientales.

Respecto al contenido de nitrógeno total en las hojas de lechuga, las dos variedades bajo el efecto de los niveles de fertilización propuestos están entre los rangos permisibles establecidos en otros estudios igual a 1 – 6 % de la MS de la planta de la lechuga está constituida de nitrógeno.

Con relación al contenido de proteína cruda en las hojas de ambas variedades de lechuga variedad Crocantela y Romanela contienen un 33% de proteína cruda, el estudio se realizó en la temporada de otoño.

El análisis de nitrógeno total ( $\text{N}_T$ ) realizado en la solución nutritiva se concluye que factores como la dinámica del pH, fertilizantes utilizados, la pureza de cada fertilizante y relación catiónica – aniónica, influyen en la acumulación de este elemento en la solución nutritiva y en la fisiología de las plantas.

El pH y la CE de las soluciones nutritivas en la etapa de bandejas flotantes y sistema NFT, estos sujetos al nivel o tipo de fertilización utilizado tanto el catión amonio como el ion

nitrato influyen directamente en la dinámica del pH.

La relación B/C de los tratamientos evaluados para la producción de lechuga en el sistema hidropónico NFT, se considera con una mayor rentabilidad el  $T_1$  y  $T_3$  seguido de los tratamientos  $T_2$  y  $T_4$ . Se concluye que todos los tratamientos llegan a cubrir los gastos realizados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andrade. J. (2017). Comunicación personal, 20 de mayo de 2017.
- Belcher B. y Ponce J. (2011). Producción, contenido de nitratos y proteína bruta en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) crespa y mantecosa, con dos dosis de fertilizante y cuatro épocas de cultivo. Tesis final de graduación para alcanzar el grado de ingeniero agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa - Argentina.
- Cabezas. R, A. (2017). Comunicación personal, 20 de mayo de 2017.
- CELLMAX (2018). Explicación del potencial de hidrogeno y la conductividad eléctrica. En línea. Consultado el 18 de mayo de 2018. Disponible en: <https://www.cellmax.eu/es/explicacion-del-potencial-de-hidrogeno-y-la>
- Cussi, C. M. (2018). Evaluación del caudal mínimo de riego para la producción optima de lechuga en un sistema NFT en la ciudad de El Alto, La Paz. Tesis de Grado. UMSA. Facultad de Agronomía. La Paz – Bolivia.
- Favela, E., Preciado, P. y Benavides A. (2006). Manual para la preparación soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Narro. Torreon, Coahuilla.
- Favela E., Preciado P. y Benavides A. (2009). Manual para la preparación de soluciones

- nutritivas. Departamento de horticultura. Universidad autónoma agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila, México. 148 p.
- Huallpa, S. F. (2009). Comportamiento productivo de variedades de nabo (*Brassica napus* L) con diferentes abonos orgánicos en el altiplano norte de La Paz. Tesis de Grado Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. La Paz – Bolivia.
- Huanca, C. (2017). Evaluación de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad Crocantela y Romanela, con dos niveles de cloruro de potasio (KCl) en el sistema hidropónico NFT, El Alto - La Paz. Tesis de Grado. UMSA. Facultad de Agronomía. La Paz – Bolivia.
- Lasa B, S; Frechilla, M; Aleu, B G; Moro, C; Lamsfus, P M. y Apariciotrejo (2000). Effects of low and high levels of magnesium on the response of sunflower plants grown with ammonium and nitrate. *Plant Soil* 225:167-174.
- Mengel, K. y Kirkby, E. A. (2000). Principios de nutrición vegetal. Traducción al español de la 4ª edición (1987) Melgar, de R.J. y Ruíz, M. International Potash Institute. Basel, Switzerland. 135-146 pp.
- Murillo, W. A. (2010). Optimización de la producción de tres especies de hortalizas bajo producción hidropónica en el sistema NFT en los invernaderos “la huerta” en la localidad de Chicani (La Paz). Trabajo Dirigido. UMSA. Facultad de Agronomía. La Paz – Bolivia.
- Näsholm T, K; Kielland, U. y Ganeteg. (2009). Uptake of organic nitrogen by plant. *New Phytol.* 182:31-48.
- Piarpuezan y Remache. (2011). Rendimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) híbrido Titan bajo el sistema de hidroponía cerrada, con tres concentraciones de concentraciones de nitrógeno y potasio en soluciones nutritivas. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario. Universidad Técnica del Norte. Facultad de Ingeniería en ciencias agropecuarias y ambientales. Ibarra – Ecuador.
- Quispe. V. E. (2018). Evaluación de la eficiencia del sistema NFT en dos tiempos de riego para la optimización de la electrobomba en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en ambiente controlado, en la ciudad de El Alto zona Bautista Saavedra. Tesis de Grado. UMSA. Facultad de Agronomía. La Paz – Bolivia.
- Quispe, V. E. (2017). Evaluación de la eficiencia del sistema NFT en dos tiempos de riego para la optimización de la electrobomba en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en ambiente controlado, en la ciudad de El Alto zona Bautista Saavedra. Tesis de Grado. UMSA. Facultad de Agronomía. La Paz – Bolivia.
- Resh, H. (1989). Cultivos Hidropónicos, Nuevas Técnicas de Producción. Barcelona, España: Mundi-Prensa.
- Sánchez, T. (2012), Contenido de nitratos y proteína en lechuga crespa y amaranto hortícola producidos con enmienda y urea. Facultad de Agronomía. Santa Rosa La Pampa – Argentina.
- Santos B. y Ríos, D. (2016). Cálculo de soluciones nutritivas en suelo y sin suelo. Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural. Cabildo Insular de Tenerife. Santa Cruz – España.