

EVALUACIÓN DEL CULTIVO DE LA LECHUGA (*Lactuca sativa*) EN SISTEMA HIDROPÓNICO BAJO DOS NIVELES DE CLORURO DE POTASIO

Evaluation of lettuce (*Lactuca sativa*) crop in a hydroponic system under two levels of potassium chloride

Blanca Viviana Ayala Apaza¹; Cosme Huanca Chui²; Celia María Fernández Chávez³

RESUMEN

La salinidad es una limitante en cultivos hortícolas, que ocasiona alteraciones en el crecimiento, baja absorción y distribución de nutrientes a diferentes órganos de la planta y cambios en la calidad. El presente trabajo de investigación fue en el invernadero de la Empresa "Hortícolas Chui" con el fin de evaluar dos niveles de cloruro de potasio (KCl) óptimos para evitar la fitotoxicidad del cloruro en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). El fertilizante cloruro de potasio constituyente de la mayor riqueza en potasio, buen porcentaje de solubilidad y además es de bajo costo en nuestro país. En esta investigación se empleó los siguientes niveles de cloruro de potasio (KCl): el primer nivel con 25 ppm de KCl y el segundo con 120 ppm de KCl. El diseño experimental utilizado fue Bloques al azar con dos factores que fueron dos niveles de KCl (25 ppm y 120 ppm de KCl) y dos variedades de lechuga (Rubinela y Crocantela) con 4 tratamientos en 4 bloques. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, número de hojas, diámetro de roseta, peso fresco y rendimiento. Los resultados fueron evaluados mediante un análisis de varianza y comparación de medias de Duncan cuando se encontró diferencias significativas. Los resultados obtenidos para las variedades fueron altamente significativos, logrando el mejor peso la variedad Crocantela 248.5 g planta⁻¹ y con menor peso la variedad Rubinela con 151.75 g planta⁻¹, respecto a los niveles de KCl, el que presentó mejor peso fue con la aplicación de 25 ppm KCl que obtuvo 216.13 g planta⁻¹, el menor peso fue con 120 ppm KCl que obtuvo 184.13 g planta⁻¹.

Palabras clave: cloruro de potasio, *Lactuca sativa*, análisis químico de hojas, análisis químico solución nutritiva, rendimiento.

ABSTRACT

Salinity is a limitation in horticultural crops, which causes alterations in growth, low absorption and distribution of nutrients to different organs of the plant and changes in quality. The present research work was in the greenhouse of the Company "Hortícolas Chui" in order to evaluate two optimal levels of potassium chloride (KCl) to avoid the phytotoxicity of chloride in the cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.). The potassium chloride fertilizer constituting the greatest richness in potassium, good percentage of solubility and is also low cost in our country. In this investigation the following levels of potassium chloride (KCl) were used: the first level with 25 ppm KCl and the second with 120 ppm KCl. The experimental design used was randomized blocks with two factors that were two levels of KCl (25 ppm and 120 ppm KCl) and two varieties of lettuce (Rubinella and Crocantela) with 4 treatments in 4 blocks. The variables evaluated were: plant height, number of leaves, rosette diameter, fresh weight and yield. The results were evaluated by means of an analysis of variance and comparison of Duncan means when significant differences were found. The results obtained for the varieties were highly significant, with the Crocantela 248.5 g plant⁻¹ variety achieving the best weight and the Rubinella variety with 151.75 g plant⁻¹ with the lowest weight, compared to KCl levels, which presented the best weight It was with the application of 25 ppm KCl that obtained 216.13 g plant⁻¹, the lowest weight was with 120 ppm KCl that obtained 184.13 g plant⁻¹.

Keywords: potassium chloride, *Lactuca sativa*, chemical analysis of leaves, chemical analysis of nutritive solution, yield.

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. vivianablanca07@gmail.com

² Gerente General de Comercio y Producción, Hortícolas Chui, Bolivia. cosme.horticolaschui@gmail.com

³ Docente, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. cmfch3311@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

En la actualidad es una preocupación constante para todos los horticultores, el incrementar la calidad y cantidad de sus cosechas. La hidroponía es un método que se basa en sistemas balanceados, donde las plantas reciben una nutrición adecuada para su crecimiento y desarrollo, manteniendo sus raíces continúa o intermitentemente inmersas en una solución acuosa que contiene los elementos minerales esenciales para su crecimiento.

La producción de lechuga es importante en nuestro medio sobre todo en la alimentación de las familias desde el punto de vista nutritivo y balance dietético con otros alimentos. Esta hortaliza habitualmente es consumida como ensalada fresca, su venta permite generar ingresos dentro de la cadena de producción por su mayor demanda en el mercado. El fertilizante cloruro de potasio (KCl) o muriato de potasio (MOP) por su alta concentración de potasio (60%), es la fuente de aporte de potasio (K_2O) más económica y además posee alta solubilidad, que puede ser utilizado para la mayoría de los cultivos.

Esta investigación consiste en evaluar el cultivo de lechuga en un sistema hidropónico bajo dos niveles de cloruro de potasio en la solución nutritiva, esto permitirá determinar el nivel óptimo de cloruro de potasio para la obtención de buena calidad y peso del producto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

El trabajo de investigación fue desarrollado en un invernadero de la empresa "Hortícolas CHUI" situado en la ciudad de El Alto del departamento de La Paz, Bolivia. El invernadero tiene con una orientación de Norte-Sur, geográficamente se localiza entre paralelo $16^{\circ} 29' 38.75''$ Latitud Sur y $68^{\circ} 14' 20.61''$ Longitud Oeste, a una altitud de 4007 m s.n.m. La temperatura promedio es $33^{\circ}C$ con máximas y mínimas de 38 y $6^{\circ}C$ al interior del invernadero respectivamente.

Metodología

La evaluación fue en un sistema hidropónico NFT. Para la siembra se prepararon esponjas con dimensiones de 3 cm de largo, 3 cm de ancho y 3 cm

de espesor, donde las semillas fueron puestas a 1.5 cm de profundidad. La siembra fue en un sustrato ya preparado con humedad necesaria para su germinación, estas fueron cubiertas con nylon negro de 70 micrones durante siete días, transcurrido este tiempo el nylon fue retirado a fin de evitar la elongación del epicótilo. Después de nueve días se realizó el trasplante a bandejas flotantes durante cuatro semanas, una semana solo en agua y tres semanas con solución nutritiva. Para luego pasar a trasplante definitivo.

El modelo estadístico utilizado fue el diseño de bloques al azar (DBA) con arreglo bi-factorial (Ochoa 2009), con 4 tratamientos distribuidos en 4 bloques, los factores evaluados fueron dos variedades de lechuga (Rubinela y Crocantela) y dos niveles de cloruro de potasio (KCl) (25 ppm y 120 ppm de KCl.). El modelo lineal aditivo se muestra en la Ecuación 1.

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \alpha_i + \lambda_j + \alpha\lambda_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

Dónde: Y_{ijk} = una observación cualquiera; μ = media poblacional; β_k = efecto del k-ésimo bloque; α_i = efecto del i-ésimo nivel de KCl; λ_j = efecto del j-ésimo variedades de lechuga; $\alpha\lambda_{ij}$ = efecto de la interacción del i-ésimo nivel de KCl y el j-ésimo variedad de la lechuga; ε_{ijk} = error experimental.

La composición de los tratamientos (T) fueron los siguientes: a) T1 = 25 ppm de KCl en la variedad Rubinela, b) T2 = 25 ppm de KCl en la variedad Crocantela, c) T3 = 120 ppm de KCl en la variedad Rubinela y d) T4 = 120 ppm de KCl en la variedad Crocantela. La evaluación fue sin considerar el testigo, debido a que la preparación de la solución nutritiva es muy morosa para un sistema hidropónico, la preparación de sales para este sistema de lo realizó en dos horas, siendo que en un sistema hidropónico las plantas no pueden estar mucho tiempo sin riego por el estrés de las plantas y necrosación en las raíces lo cual incide en la producción.

Las variables evaluadas fueron: a) porcentaje de emergencia b) número de hojas por planta c) diámetro de la roseta (cm) d) altura de la planta (cm) e) peso fresco de la planta (g) f) rendimiento ($kg\ m^{-2}$), g) análisis químico de la solución nutritiva (magnesio, calcio, potasio y cloro) y h) análisis químico de hojas (nitrógeno, potasio y calcio).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis químico de la solución nutritiva

Para realizar el análisis químico de la solución nutritiva, se recolectaron cuatro muestras en todo el ciclo del cultivo. La Tabla 1 muestra que el Mg^{++} y Ca^{++} incrementaron su concentración en la solución nutritiva y el K^+ y Cl^- disminuyeron su concentración en dicha solución.

Tabla 1. Concentración de la solución nutritiva para la aplicación de 25 y 120 ppm de KCl.

Nivel	Mg^{++} ($mg\ L^{-1}$)	Ca^{++} ($mg\ L^{-1}$)	K^+ ($mg\ L^{-1}$)	Cl^- ($mg\ L^{-1}$)
SN n - N1	44	110	140	40
SN a - N1	58	160	80	30
SN n - N2	49	120	160	110
SN a - N2	51	140	110	100

SN n = solución nutritiva nueva; SN a = solución nutritiva antigua, N1 = aplicación de 25 ppm de KCl; N2 = aplicación de 120 ppm de KCl

La concentración del potasio en la solución nutritiva disminuyó, este comportamiento indica que la planta aprovechó la absorción de este elemento para su desarrollo. Respecto al cloruro, la absorción de este fue menor, en cuanto al calcio, en ambos niveles con KCl se puede observar que hubo un incremento este elemento en la solución nutritiva, respecto a la concentración del magnesio, para ambos niveles con KCl se puede apreciar que hubo acumulación de este elemento.

Porcentaje de emergencia

Para todos los tratamientos, los resultados se observaron a partir del segundo día después de la siembra, donde se tuvo alto porcentaje de germinación. A los nueve días después de la siembra se registró un 97.7% de germinación en la variedad Rubinela y 98.3% en la variedad Crocantela. Los valores obtenidos en la presente investigación son aceptables en relación a lo señalado por Giaconi y Escaff (1995) que establece que la germinación no debe ser menor del 70.0%, para semillas de baja capacidad germinativa y del 90.0% para semillas de elevada capacidad, este último fue el caso de la semilla de lechuga empleada en la investigación.

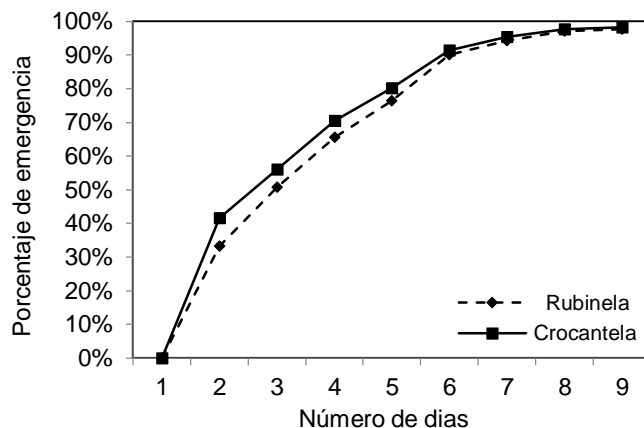


Figura 1. Porcentaje de semillas germinadas en almácigo por día.

Marulanda (2003), manifiesta que el almácigo no es otra cosa que un pequeño espacio al que le damos condiciones adecuadas (óptimas) para garantizar la germinación de las semillas y el crecimiento inicial de las plántulas, además de tener un cuidado inicial especial para que no existan problemas en el desarrollo de las plantas.

Altura de la planta

Los resultados mostraron que no se tuvo diferencias significativas entre los niveles de KCl y en la interacción de las variedades con los niveles de KCl, pero que existieron diferencias altamente significativas entre variedades atribuible a las características genéticas que presenta cada variedad.

En altura de planta la variedad Rubinela presentó un promedio de altura de 20.13 cm, mientras la variedad Crocantela logró el mejor promedio en altura con 24.88 cm, esto debido a las características genéticas que presenta cada variedad. Al respecto Gomes mencionado por Durand (1999), indican que las variaciones en altura de plantas son debidas a los factores genéticos, así como los factores climáticos que influyen de distintas maneras en la expresión de esta variable.

Urey (2007), al ensayar con tres variedades de lechuga bajo sistema hidropónico encontró que la variedad Crespa (22.00 cm) fue la que tuvo mayor altura de

planta, con respecto a la variedad Romana (20.70 cm), y por último la variedad White Boston (15.50 cm). El mismo autor afirma que la altura de la planta entre variedades tiene diferencia significativa, de tal manera que una variedad a otra es diferente en cuanto a la altura de la planta, debido a la genética de cada variedad, como al medio ambiente en el cuál se desarrolla cada variedad; por último y el más importante por la disponibilidad de los nutrientes en la solución nutritiva.

Huanca (2017), al ensayar con dos variedades de lechuga en sistema hidropónico NFT, encontró que la variedad Romanela fue la que obtuvo mayor altura con 29.38 cm, respecto a la variedad Crocantela que conto con una altura de 25.13 cm.

Número de hojas

No hubo diferencias significancias para todos los factores de variación, indicándose que estadísticamente la aplicación de los dos niveles de KCl en las dos variedades, tendrán datos similares. Según Huanca (2017), quien realizó su experimento con lechugas de la variedad Crocantela y Romanela, obtuvo resultados no significativos en el número de hojas en cuanto a bloques y tratamientos, mientras que en cuanto a variedades, si tuvo diferencias significativas. Raven (2005) citado por Huanca (2017). Indica que con la aplicación de KCl mediante la solución nutritiva, el potasio es utilizado por las plantas en su crecimiento, principalmente para mantener la presión osmótica dentro de las células, también tiene un papel importante en regular la apertura de las estomas de las hojas de las plantas y turgencia de la células.

Diámetro de la roseta

Los resultados mostraron que solo existieron diferencias altamente significativas entre variedades atribuible a las características genéticas que presenta cada variedad. La variedad Rubinela presentó un promedio 25.25 cm en diámetro de roseta, mientras la variedad Crocantela obtuvo el mejor promedio con 38.63 cm, esto se atribuye a las características genéticas de cada variedad.

Díaz (1998), en condiciones de invernadero para la producción Grand Rapids, en época recomendado para la producción de lechuga como los meses comprendidos entre septiembre y abril obtuvo

diámetros promedio de 30.42 cm. El diámetro de la cabeza está determinado por la genética de cada variedad, interacción genotipo-ambiente y por la densidad de plantación, para las variedades de mayor diámetro la densidad de plantación debe ser baja, a altas densidades hay demasiada competencia por la luz, la cual merma el peso de la biomasa.

Peso fresco de la planta

Se tuvo diferencias significativas entre los niveles de KCl aplicados y diferencias altamente significativas entre variedades, pero no así en la interacción de ambas variables. Todo ello señala que los niveles de KCl tienen efecto directo en el peso fresco de la lechuga.

El promedio de peso fresco más alto fue de 216.13 g planta⁻¹ con la aplicación de 25 ppm de KCl, el menor promedio fue 184.13 g planta⁻¹ con la aplicación de 120 ppm de KCl. Considerando solamente las variedades, con la variedad Crocantela se obtuvo 248.50 g planta⁻¹, mientras que con la variedad Rubinela se obtuvo 151.75 g planta⁻¹.

Gonzales (2018) menciona que el agua que utiliza tiene presencia de cloro que se encuentra en una concentración de 85 ppm, y que esta cantidad de cloro en el agua de riego no afecta a la producción de lechugas hidropónicas. El peso fresco que obtiene en la variedad Crocantela es de 250 g planta⁻¹. Cabezas (2018), indica que el agua de riego que utiliza, tiene presencia de cloro que oscila entre (25-30 ppm) y que estos rangos, no afectan en la producción de la lechuga en hidroponía, el peso fresco que obtiene en la variedad Crocantela es de 290 g a 350 g planta⁻¹, en un tiempo de 35 días después del trasplante a los canales del cultivo. En la variedad Crespa Roja obtiene un peso de 180 g a 200 g planta⁻¹, menciona que esta variedad es de porte bajo y tiene un peso menor, que es una planta mas para ensaladas gourmet, afirma que las especies moradas son más exigentes a altas concentraciones en nutrientes hasta 4 mS cm⁻¹.

Rendimiento del cultivo

Se encontraron diferencias significativas solamente entre variedades y no así entre los niveles de KCl y en la interacción de ambas variables. La variedad que obtuvo mayor promedio en peso fue Crocantela con 3.93 kg m⁻² a comparación de la variedad Rubinela que obtuvo un promedio de 2.84 kg m⁻². Estos valores se

registraron a 37 cm de distancia entre plantas. En este caso el mejor rendimiento obtenido fue de la variedad Crocantela a comparación de la variedad Rubinela, fue por las características genéticas de la variedad, ya que la variedad Crocantela es de porte alto mientras que la variedad Rubinela es de porte bajo.

Análisis químico en hoja

El análisis químico de la hoja fue en el Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA), los parámetros evaluados fueron nitrógeno total, potasio total y calcio total (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis químico en hoja (NT, KT y Ca T).

Tratamiento	Nitrógeno Total (%)	Potasio Total (%)	Calcio Total (%)
T1	3.3	7.23	1.92
T2	4.0	8.49	1.96
T3	4.4	4.92	0.99
T4	4.1	9.74	1.97

En la Figura 2, se observa que con el T1 se obtuvo 3.3% de nitrógeno total, con el T2 fue 4.0%, para el T3 fue de 4.4% y para el T4 fue 4.1% de nitrógeno total en la hoja de lechuga. Al respecto Favela et al, (2006) mencionan que la concentración foliar el nitrógeno constituye entre el 1.5 y 6.0% de la materia seca de muchos cultivos, que varía según la especie de que se trate, la edad de la planta (disminución del nitrógeno en las hojas conforme envejece el cultivo) y la parte que de ella se considere. Los valores obtenidos de nitrógeno en esta investigación se encuentran en los valores permitidos.

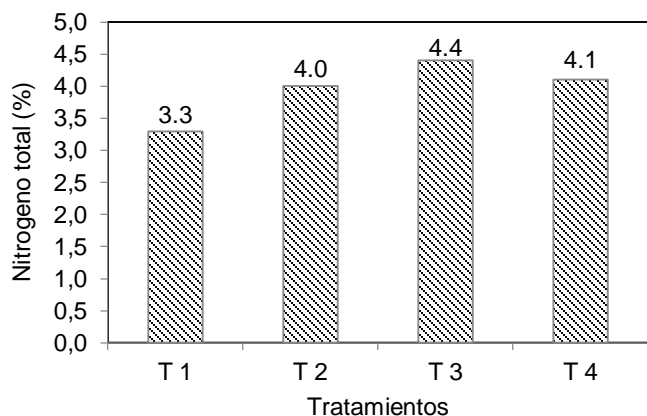


Figura 2. Contenido de nitrógeno total en la hoja de lechuga.

En la Figura 3 se muestra que el T1 tuvo un contenido de potasio total del 7.23%, para el T2 fue de 8.49%, para el T3 fue de 4.92% y para el T4 de 9.74% de

potasio total en la hoja de lechuga. Los niveles de KCl variaron según el tratamiento aplicado, al respecto Rost et al., (1992) citado por López (2007) mencionan que el potasio es un elemento móvil que se desplaza desde los tejidos viejos hasta las zonas meristemáticas.

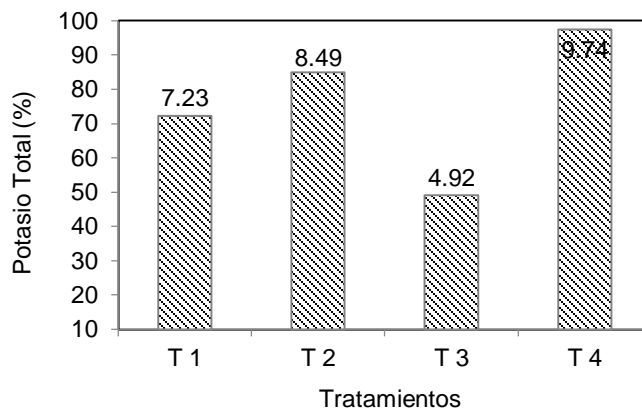


Figura 3. Contenido de potasio total en la hoja de lechuga.

La concentración de calcio total en la hoja de lechuga tuvo una reacción similar al final de la cosecha, con excepción del T3 que presentó una baja concentración en comparación al T1 que a pesar de no tener altas concentraciones de calcio esta mostró una reacción positiva en el crecimiento (Figura 4).

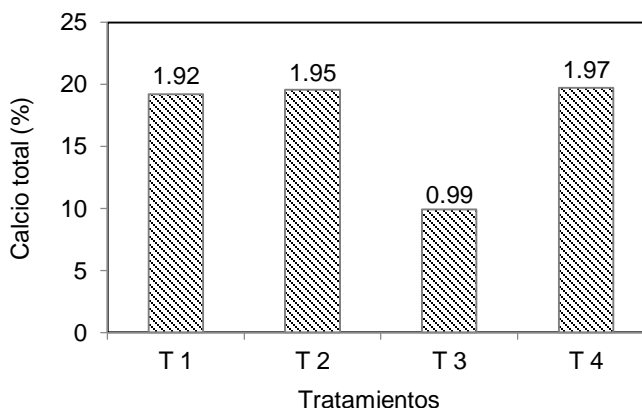


Figura 4. Contenido de calcio total

CONCLUSIONES

Respecto al análisis químico de la solución nutritiva, el comportamiento de las concentraciones de potasio y cloro permitió observar: que la solución de 25 ppm KCl demostró que el potasio fue absorbido en mayor cantidad un 33% en promedio, donde existió aprovechamiento para suplementar nutricionalmente en la planta, pero el cloro descendió en menor cantidad 19.18%. Al aumentar la concentración a 120 ppm KCl, mostro lo inverso a lo anterior, donde el potasio fue

absorbido en menor cantidad y en cambio el cloro un 38.13% fue absorbido por la planta o se volatilizó al ambiente.

La mayor cantidad de potasio se encuentra en las hojas del T4 (nivel 2 variedad Crocantela) y el T2 (nivel 1 variedad Crocantela) con 9.74% y 8.49% de materia seca, mientras que en las hojas del T1 (nivel 1 variedad Rubinela) y T3 (nivel 2 variedad Rubinela) con 7.23% y 4.92% el potasio se encuentra en menor cantidad.

En cuanto al mejor rendimiento logrado fue el nivel 1 representado por 25 ppm de KCl cuyo resultado se debe a los niveles de potasio y a la variedad factores muy importantes que están relacionados con el rendimiento tamaño y calidad del cultivo de lechuga.

BIBLIOGRAFÍA

- Cabezas, A. R. 15 septiembre 2018. Comunicación personal. Cochabamba, Bolivia.
- Diaz, E. 1998. Aplicación fraccionada de nitrógeno en tres densidades de plantación en lechuga (*Lactuca sativa* L.), bajo carpa solar. Tesis de grado. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés 132 p.
- Durand, A. 1999. Análisis de crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) Batavia cultivada en un suelo salino de la Saba de Bogotá. Agronomía Colombia.
- Favela, E.; Preciado, P.; Benavides, A. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Departamento de horticultura. Universidad autónoma agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila, México. 148 p.
- Gonzales. C. Z. 5 mayo 2018. Comunicación personal. Oruro, Bolivia.
- Huanca, C., 2017. Evaluación de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) con dos niveles de cloruro de potasio (KCl), en sistema hidropónico NFT. Tesis de grado. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 111 p.
- López, O. 2007. Efecto de la aplicación en la productividad y calidad de lechuga de tipo romana (*Lactuca sativa* L.). Instituto Tecnológico de Sonora. Obregón, Sonora. 68 p.
- Marulanda, C., 2003. Hidroponía familiar en Colombia desde el Eje Cafetalero. Editorial Optigraf, América - Colombia. 52-55 p.
- Ochoa, R. 2009. Diseños experimentales. La Paz, Bolivia: Vázquez. 176 p.
- Giacconi, M.; Escaff, M. 1995. Cultivo de hortalizas. Editorial Universitaria. Chile. 337 p.
- Urey, G., 2007. Evaluación de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.), en el sistema hidropónico recirculante "NFT". Cochabamba, Bolivia. Universidad Mayor de San Simón. pp. 75.

Artículo recibido en: 26 de junio 2019
Aceptado en: 11 de diciembre 2019