



SOLUCIÓN NUTRITIVA ADICIONADA CON NH_4^+ PARA PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE CHILE HUACLE (*Capsicum annuum* L.)

NUTRIENT SOLUTION ADDED WITH NH_4^+ FOR HYDROPONIC PRODUCTION OF HUACLE CHILI PEPPER (*Capsicum annuum* L.)

Elizabeth Urbina-Sánchez^{1*}, Antonio Cuevas-Jiménez¹, Juan C. Reyes-Alemán¹, Gelacio Alejo-Santiago², Luis A. Valdez-Aguilar³ y Luis M. Vázquez-García¹

¹Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Tenancingo, Tenancingo, Estado de México, México. ²Universidad Autónoma de Nayarit, Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias, Xalisco, Nayarit, México. ³Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

* Autor de correspondencia (elizaurbina@yahoo.com)

RESUMEN

El chile huacle (*Capsicum annuum* L.), ingrediente principal del mole, un platillo de importancia en la comida oaxaqueña y patrimonio cultural inmaterial de la humanidad, se encuentra en peligro de extinción, por lo que es necesario impulsar su cultivo mediante el mejoramiento de las prácticas de producción. La adición de NH_4^+ en la solución nutritiva incrementa el crecimiento y rendimiento de los cultivos, pero en concentración alta provoca toxicidad. El objetivo de este estudio fue evaluar el rendimiento y calidad de dos poblaciones de chile huacle (Rojo y Negro) y tres niveles de concentración de NH_4^+ (0, 1.5 y 3.0 meq L⁻¹) en la solución nutritiva de Steiner, dando como resultado seis tratamientos, los cuales se evaluaron bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos 2 × 3 y 10 repeticiones; la unidad experimental fue un contenedor con 10 L de sustrato y una planta. Se detectaron diferencias significativas entre poblaciones en rendimiento y en número de frutos por planta. No hubo diferencias entre las concentraciones de NH_4^+ adicionadas a la solución nutritiva para ninguna de las variables evaluadas, ni en la interacción entre los factores de estudio, excepto para la combinación entre la población Negro cultivada y la concentración de NH_4^+ de 3.0 meq L⁻¹, donde se obtuvo la mayor producción y número de frutos por planta.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, hidroponía, nitrógeno, nutrición amoniacal.

SUMMARY

Huacle chili pepper (*Capsicum annuum* L.), the main ingredient of mole, an essential dish in Oaxacan food and intangible cultural heritage of humanity, is in danger of extinction; thus, it is necessary to promote its cultivation by improving production practices. The addition of NH_4^+ in the nutrient solution increases the growth and yield of crops, but at high concentrations it causes toxicity. This study evaluated the yield and quality of two populations of Huacle chili pepper (Rojo and Negro) and three levels of NH_4^+ concentrations (0, 1.5 and 3.0 meq L⁻¹) in the Steiner nutrient solution, resulting in six treatments. The treatments were evaluated under a completely randomized design with a 2 × 3 factorial arrangement and 10 replications. The experimental unit was a container with 10 L of the substrate and one plant. Significant differences between populations in yield and the number of fruits per plant were detected. There were no differences among the NH_4^+ concentrations for any of the evaluated traits, nor in the interaction between the studied factors. However, differences were observed for the combination between the Negro population

and the NH_4^+ concentration of 3.0 meq L⁻¹; the highest production and number of fruits per plant were obtained at this concentration.

Index words: *Capsicum annuum* L., ammonium nutrition, hydroponics, nitrogen.

INTRODUCCIÓN

Existen hallazgos arqueológicos en Tamaulipas, Valle de Tehuacán y Oaxaca que señalan a México como centro de origen, domesticación y diversificación del chile (*Capsicum annuum* L.) (Castellón *et al.*, 2014). En la actualidad no se conoce aún la totalidad de la gran diversidad de morfotipos de chiles del estado de Oaxaca, y algunos sólo se hallan cultivados en regiones específicas, como el caso del chile huacle en la Cañada Oaxaqueña, única región en México donde se desarrolla y cultivan sus tres tipos: Rojo, Negro y Amarillo (García-Gaytán *et al.*, 2017).

El chile huacle es el ingrediente principal del mole negro oaxaqueño, típico de la cocina mexicana y considerada patrimonio cultural inmaterial de la humanidad (UNESCO, 2010). Este producto forma parte importante de la alimentación en las fiestas de la región de la Cañada, se usa para aderezar guisos, para teñir salsas, para elaborar la sopa de chileajo, estofado, clemole, etc. Aunque no se encuentra dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-059, esta población de chile se encuentra en peligro de extinción (San Juan *et al.*, 2018; Com. Pers.)¹.

La absorción de nitrógeno por las plantas es en forma de NO_3^- y NH_4^+ , ambos pueden estar presentes en una solución nutritiva (Lara-Izaguirre *et al.*, 2019). Una concentración adecuada de estos iones incrementa el crecimiento en

¹San Juan M. J., Y. D. Ortiz H. y S. Cruz I. (2018) Efecto de la nutrición sobre frutos y semillas de chile huacle (*Capsicum annuum* L.). *Acta Fitogenética* 5:118.

relación con la altura de planta, biomasa y el rendimiento de los cultivos (Chang *et al.*, 2010; Chen *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2017). Las características químicas de la solución nutritiva definen también la respuesta de las plantas a las condiciones ambientales, particularmente las relaciones mutuas de aniones y cationes, el potencial osmótico y el pH (Urbina-Sánchez *et al.*, 2011).

Algunas especies prefieren N-NO_3^- y otras N-NH_4^+ , o una mezcla de ambos iones (Hawkesford *et al.*, 2012). Hu *et al.* (2015) señalaron que la adición de una concentración de 0.75 mM NH_4^+ y 4.25 mM NO_3^- ; es decir, un balance $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ de 15:85 en la solución nutritiva produjo plántulas de col (*Brassica oleracea*) con mayor altura y biomasa, con una ultraestructura íntegra de los cloroplastos, mayor grado de apilamiento de las grana, mayor contenido de clorofila y mayor tasa fotosintética neta, así como un sistema de raíces más grande. Los mismos autores indicaron que una relación de $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ de 10:90 (0.5 mM NH_4^+ y 4.5 mM NO_3^-) en la solución nutritiva disminuyó el estrés provocado por la baja intensidad luminosa mediante la regulación de la arquitectura de la raíz y la fotosíntesis.

El NH_4^+ se produce continuamente en las plantas para la síntesis de aminoácidos (Bittsánszky *et al.*, 2015), pero si se utiliza en la solución nutritiva como única fuente de nitrógeno, o en una concentración alta, se manifiestan síntomas de toxicidad (Sarasketa *et al.*, 2014). Esteban *et al.* (2016) y Liu y von Wirén (2017) señalaron que algunas enzimas y transportadores de NH_4^+ tipo AMT son los responsables del flujo de NH_4^+ en el tejido vegetal. La rápida acumulación de NH_4^+ en las células provoca desordenes fisiológicos y morfológicos como disminución del crecimiento de la raíz y el tallo asociada con clorosis foliar y daños en el tejido vegetal; ésto ha sido relacionado con desbalances iónicos, alteraciones en el gradiente de pH a través de las membranas vegetales o estrés oxidativo (Bittsánszky *et al.*, 2015; Liu y von Wirén, 2017).

Con altas concentraciones de NH_4^+ en la solución nutritiva se induce la absorción de N, predominantemente en forma catiónica, por lo que se suprime la absorción del anión (NO_3^-), y ésto es balanceado por la liberación excesiva de H^+ desde las células de la raíz; como consecuencia, el pH en el ambiente de la raíz podría caer a niveles perjudiciales para muchas especies vegetales (Hawkesford *et al.*, 2012). Entre otros efectos dañinos que puede ocasionar el suministro de niveles altos de NH_4^+ en la planta está la inhibición de la absorción de cationes como K, Ca y Mg, aumenta el estrés oxidativo y requiere de gasto de energía para mantener bajos niveles de NH_4^+ en el citosol (Britto y Kronzucker *et al.* 2002).

Bajo el contexto descrito, el objetivo de la presente

investigación fue evaluar el efecto de la concentración de NH_4^+ en la solución nutritiva de Steiner sobre la producción y calidad de dos poblaciones de chile Huacle cultivadas en un sistema hidropónico bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

La investigación se llevó a cabo en el Centro Universitario Tenancingo de la Universidad Autónoma del Estado de México, en un invernadero tipo túnel con cubierta plástica de color blanco, con temperatura media de 12.9 a 26.4 °C y humedad relativa de 53 a 95 %. El invernadero está ubicado a 18° 58' 122" N y 99° 36' 697" O, a una altitud de 2055 m. El experimento inició en marzo de 2017; el trasplante se llevó a cabo el 17 de junio y se cosechó el 11 de diciembre del mismo año.

Material genético y manejo inicial

Se utilizaron semillas de las poblaciones de chile Huacle Negro y Rojo, almacenadas durante un año, procedentes de la región de la Cañada del estado de Oaxaca. Antes de la siembra las semillas se embebieron en una solución de 500 ppm de ácido giberélico (AG_3) durante 24 h, para rápida germinación. Se sembraron 60 semillas en charolas de poliestireno con 200 cavidades, como sustrato se utilizó una mezcla de turba ácida (peat moss) y zeolita clinoptilolita en una proporción 3.5:1.5 (v:v). La zeolita clinoptilolita, con tamaño de partícula de 0.5 mm, se recolectó en San Luis Potosí; el contenido de K^+ (71.8 meq L^{-1}) y Ca^{+2} (113.6 meq L^{-1}) se determinó en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Química Ambiental (LFSQA), del Colegio de Postgraduados.

Las plántulas se regaron diariamente en forma manual con 500 mL de solución nutritiva de Steiner (Steiner, 1984) a un potencial osmótico de -36 kPa desde que apareció el primer par de hojas hasta el momento de trasplante (cuando estas tenían dos o tres pares de hojas verdaderas), el cual se realizó en contenedores con una capacidad de 10 L.

Tratamientos y diseño experimental

Se estudiaron los factores poblaciones (Rojo y Negro) y concentraciones de NH_4^+ (0, 1.5 y 3.0, meq L^{-1}) en la solución nutritiva de Steiner, cuya combinación dio como resultado seis tratamientos. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2×3 de los tratamientos, con 10 repeticiones; la unidad experimental estuvo constituida por una planta.

Aplicación de riegos

Los riegos se realizaron diariamente a las 8:00 horas en forma manual, con la aplicación de 500 mL antes de la floración y 1000 mL durante la fructificación, con las soluciones nutritivas de Steiner adicionadas con los tratamientos de NH_4^+ señalados (0, 1.5 y 3.0, $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$) a -72 kPa (Cuadro 1). Las concentraciones de micronutrientes corresponden a 4, 0.865, 1.6, 0.023 y 0.011 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Fe, B, Mn, Zn y Cu, respectivamente (Urbina-Sánchez *et al.*, 2011). El agua de riego tuvo concentraciones de 0.01, 0.005, 0.02, 2.5, 0.044, 0.033, 0.38, 1.5 y 0.24 $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ de NO_3^- , P, SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} y Na^+ , respectivamente (Resultados de LFSQA). A las tres soluciones se les ajustó el pH a 5.5 con H_2SO_4 y tuvieron una conductividad eléctrica de 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

Variables respuesta

Altura de la planta (cm)

Se midió al final del experimento (178 días después del transplante, ddt), de la base hasta el ápice de la planta, mediante un flexómetro (Truper®, México).

Peso fresco y seco (g)

Se evaluaron cuatro plantas al azar por tratamiento, las cuales se secaron a 72 °C hasta peso constante en una estufa de aire forzado Felisa® FE293AD (Zapopan, Jalisco, México) y se pesaron en una balanza digital Ohaus Scout® Pro (Parsippany, New Jersey, EUA), con aproximación de 0.1 g.

Longitud (cm), peso fresco y seco de raíz (g)

Al término del ciclo de cultivo se extrajeron cuatro plantas de las macetas, se extrajo y lavó la raíz para eliminar el sustrato, se eliminó el exceso de humedad. Las raíces se colocaron en una superficie plana y se les midió su longitud; se registró el peso fresco antes de someterlas a secado.

Número de frutos, peso fresco y seco de fruto (g)

Se contabilizó el número total de frutos y se obtuvo su peso por planta mediante una balanza digital con aproximación de 0.1 g; ambas variables se cuantificaron en varios cortes, desde que se obtuvieron los primeros frutos maduros hasta el final de la cosecha. Para obtener el peso seco, los frutos se colocaron en una estufa de aire forzado en bolsas de papel. El rendimiento por planta se obtuvo de la sumatoria de los pesos frescos de chile en g por planta.

Diámetro polar y ecuatorial de fruto (mm)

Se midió con un vernier marca Truper®, el diámetro polar se tomó de la base al ápice del fruto, sin considerar el pedúnculo; el ancho del fruto se midió en la parte de mayor amplitud (hombros del fruto), según la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-107/1-SCFI-2014 (SE, 2014).

Longitud y ancho del pedúnculo (mm)

Se midió con un vernier (Truper®) desde la base del fruto hasta la punta del pedúnculo, mientras que el ancho se midió en la parte media del fruto.

Número de semillas

Se tomó una muestra de cinco frutos maduros por planta y se extrajeron las semillas para su conteo.

Sólidos solubles (°Brix) y pH

A 100 g de chile fresco sin semilla se le extrajo el jugo con un extractor para medir la concentración de sólidos solubles (°Brix) con un refractómetro 0-32 Brix® ATC (Nueva Delhi, India). El pH se midió de acuerdo con la metodología señalada en la NMX-F-317-S-1978 (SEGOB, 1978), el extracto obtenido de 100 g de chile fresco sin semilla se disolvió en 20 mL de agua destilada y hervida, y se midió el pH con un potenciómetro Conductronic PH 140 (Puebla, México). Sólo se tomó una muestra general de las dos selecciones para la determinación de estas variables.

Cuadro 1. Soluciones nutritivas ($\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$) utilizadas en chile Huacle (*Capsicum annuum* L.).

Solución	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	NH_4^+	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}
1	11.9	0.99	7.0	0	6.9	8.9	3.9
2	11.8	0.97	6.9	1.5	6.3	8.1	3.6
3	11.7	0.96	6.8	3.0	5.8	7.4	3.3

Concentración de macronutrientes

Se determinó la concentración de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en hojas fuente de reciente maduración y en frutos a madurez de consumo de color rojo o negro a los 144 ddt. Las muestras correspondientes se lavaron y se secaron en una estufa con circulación forzada de aire a 70 °C hasta peso constante, se molieron en un mortero de porcelana y se pesaron en una balanza analítica, Ohaus de 0.0001 g de precisión; posteriormente, se realizaron los análisis químicos correspondientes. El nitrógeno total se determinó mediante una digestión ácida por el método Kjeldahl en su versión micro (< 100 mg). El resto de los macronutrientes se extrajeron mediante una digestión húmeda, con una mezcla en una proporción 2:1 de H_2SO_4 y HClO_4 (CSTPA, 1980) y su cuantificación se realizó con un espectrofotómetro de absorción atómica Varian® (Palo Alto, California, EUA) para el caso de K, Ca, y Mg, mientras que la concentración de P se hizo por el método colorimétrico con un espectrofotómetro Hach DR 2800® (Ames, Iowa, EUA).

Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza y cuando se detectaron efectos significativos se realizaron pruebas de comparaciones de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), mientras que las comparaciones de medias de las interacciones se realizaron con la prueba Scheffe ($P \leq 0.05$). Para el análisis se utilizó el paquete estadístico SAS Versión 9.1 (SAS Institute, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables de crecimiento

No hubo efectos significativos en el peso fresco y seco de planta, largo de raíz, y peso fresco y seco de raíz para poblaciones; sin embargo, la altura mostró efectos significativos entre las poblaciones Rojo y Negro, donde Negro fue 14.37 % mayor que Rojo (Cuadro 2). López-López y Pérez-Bennetts (2015) registraron una altura de 178 cm en la población Negro, resultados superiores que en el presente trabajo.

La población Negro presentó mayor rendimiento por planta y número de frutos por planta que la población Rojo (Cuadro 2), con una diferencia que representa un incremento de 58.5 y 107.1 %, respectivamente.

Las concentraciones de NH_4^+ y su interacción con las poblaciones no mostraron efectos significativos en las diferentes variables, con excepción del rendimiento por planta y número de frutos por planta (Cuadro 2).

Antúñez-Ocampo *et al.* (2014) reportaron que la aplicación de NH_4^+ aumenta tanto el número de frutos como el peso de frutos en *Physalis peruviana* L. En este caso, se destaca que ambas variables, rendimiento y número de frutos, se vieron afectadas, tanto por la población como por el contenido de NH_4^+ en la solución nutritiva. Resultados similares encontraron González-Chávez *et al.* (2019) en cuanto a un efecto interactivo de la concentración de NH_4^+ en la solución nutritiva y las variedades de pimiento Avante y Tribeka en la variable número de frutos por planta.

En la Figura 1 se muestra que el tratamiento más sobresaliente es la población Negro en combinación con la concentración de 3.0 meq L^{-1} de NH_4^+ , con un promedio de 42 frutos por planta. La población Rojo no respondió a soluciones nutritivas sin NH_4^+ y a una concentración media de NH_4^+ (1.5 meq L^{-1}), con un promedio de 16 frutos por planta, aunque concentraciones altas de NH_4^+ en la solución nutritiva redujeron el número de frutos en 50 %. Los resultados indican que la respuesta al NH_4^+ depende de la población de chile huacle; Castañeda-Salinas *et al.* (2013) indicaron que la preferencia de absorción en cuanto al tipo de ion nitrogenado varía entre especies. Cruz *et al.* (2011) encontraron que las plantas responden a la nutrición con NH_4^+ de forma muy heterogénea, aún entre plantas de la misma especie, con respuestas en el crecimiento marcadamente diferentes, mismas que se consideraron tolerantes y sensibles al NH_4^+ . Los mismos autores reportaron que las diferencias en cuanto a sensibilidad al amonio entre cultivares son menores que las observadas entre especies.

En el rendimiento de fruto se detectó una interacción significativa entre poblaciones de chile y concentraciones de NH_4^+ (Figura 2), el mayor rendimiento se obtuvo con un suministro de 3 meq L^{-1} de NH_4^+ en la población de chile Negro; sin embargo, la población Rojo disminuyó la producción en 54.1 % cuando las plantas recibieron soluciones nutritivas con concentración alta de NH_4^+ . De estos resultados se infiere que la respuesta al NH_4^+ depende de la población de chile Huacle evaluada, lo cual coincide con lo reportado por Chang *et al.* (2010), Chen *et al.* (2015) y Liu *et al.* (2017), quienes indicaron que existe una relación específica de $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ para cada especie para incrementar el rendimiento de los cultivos. De acuerdo con Hawkesford *et al.* (2012) y Bittsánszky *et al.* (2015), esto se puede deber a una continua síntesis de aminoácidos debido a la rápida asimilación del NH_4^+ por la planta, lo que se refleja en un incremento en el rendimiento.

Variables de calidad

Con excepción del diámetro de pedúnculo y número de semillas, la mayoría de las variables de calidad fueron

Cuadro 2. Características agronómicas de dos poblaciones de chile Huacle (*Capsicum annuum* L.) bajo tres niveles de amonio en la solución nutritiva y significancia estadística de los factores principales e interacción.

Factores y niveles de variación	AP (cm)	RPPL (g)	NFP	PFP (g)	PSP (g)	LR (cm)	PFR (g)	PSR (g)
Poblaciones	*	*	**	NS	NS	NS	NS	NS
Rojo	89.47 b	274.14 b	13.58 b	348.30 a	70.00 a	42.45 a	103.25 a	16.93 a
Negro	102.33 a	434.43 a	29.67 a	403.75 a	81.15 a	47.61 a	102.81 a	17.48 a
Amonio (meq L ⁻¹)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
0	91.90 a	305.19 a	16.75 a	353.23 a	61.83 a	44.73 a	105.15 a	18.21 a
1.5	96.15 a	363.50 a	23.00 a	417.68 a	90.76 a	44.06 a	102.24 a	18.23 a
3.0	99.66 a	394.16 a	25.13 a	357.18 a	74.14 a	46.30 a	101.70 a	15.16 a
Interacción	NS	*	*	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)	14.11	38.94	46.85	40.69	43.45	15.22	48.56	59.94

Medias con la misma letra en las columnas dentro de cada factor de variación son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). AP: altura de planta, RPPL: rendimiento por planta, NFP: número de frutos por planta, PFP: peso fresco de planta, PSP: peso seco de planta, LR: largo de raíz, PFR: peso fresco de raíz, PSR: peso seco de raíz, NS: no significativo, *: significancia estadística con $P \leq 0.05$, **: significancia estadística con $P \leq 0.01$.

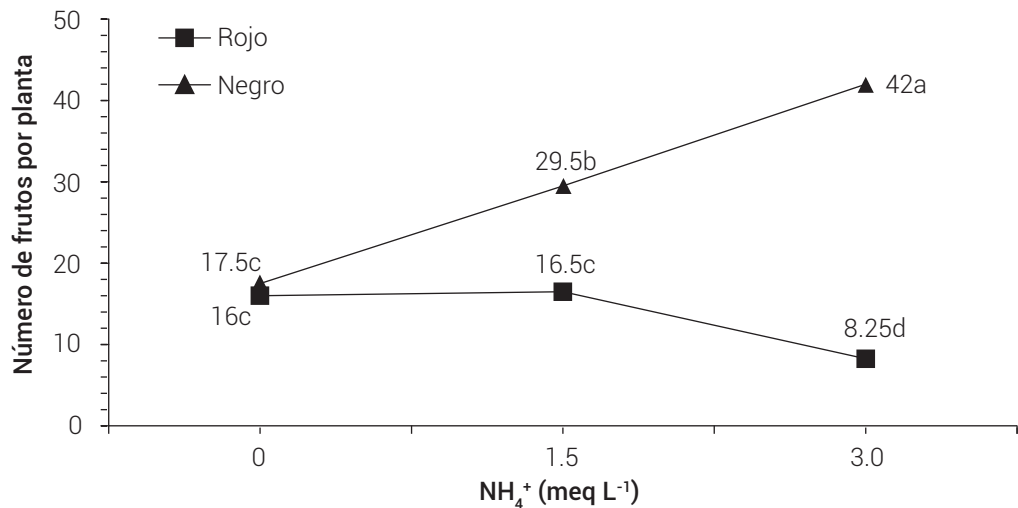


Figura 1. Interacción de los niveles de NH_4^+ × poblaciones de chile huacle en número de frutos por planta. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Scheffe, $P \leq 0.05$).

iguales o superiores en la población Rojo.

17.55 % más ancho que en la población Negro (Cuadro 3).

Se presentaron diferencias significativas en el diámetro polar entre ambas poblaciones, en la población Negro el diámetro polar fue mayor con 72.35 mm, mientras que en la población Rojo alcanzó una magnitud de 57.81 mm (Cuadro 3).

La población Rojo sobresalió en el diámetro ecuatorial con 36.93 mm, mientras que la población Negro tuvo 31.72 mm (Cuadro 3). En cuanto al ancho del pedúnculo, se presentó diferencia significativa, en la población Rojo fue

La población Rojo superó en 23 % el peso seco de fruto a la población Negro. Estos resultados podrían ser inherentes a la expresión fenotípica de cada población y coinciden con lo reportado por Vázquez *et al.* (2010), quienes encontraron diferencias entre cultivares de chile serrano en peso de fruto. González-Chávez *et al.* (2019) también observaron diferencias en el peso seco del fruto con respecto a la variedad; en contraste, el número de semillas fue significativamente mayor en la población Negro (117.05 semillas), lo que superó en 34 % a la

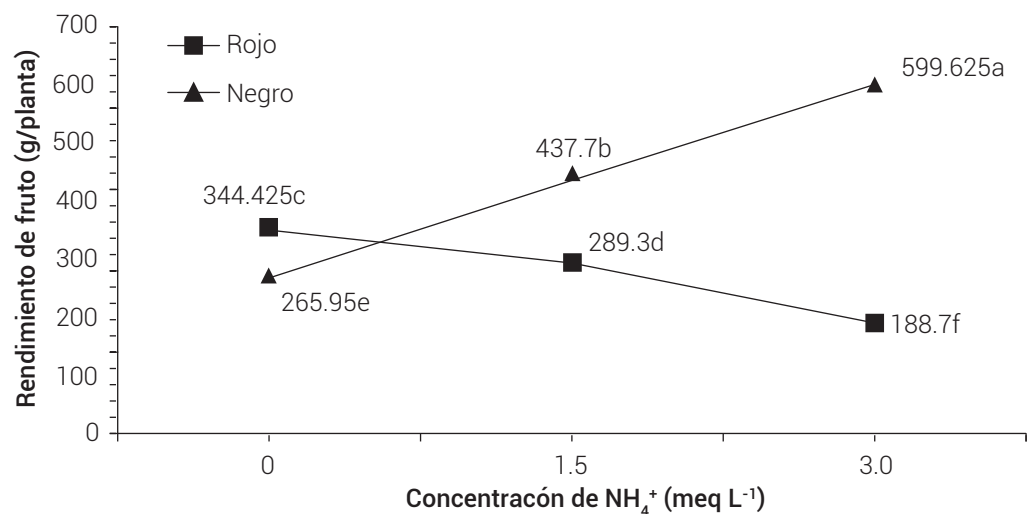


Figura 2. Interacción de los niveles de NH₄⁺ × poblaciones de chile Huacle sobre el rendimiento de fruto. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Scheffe, P ≤ 0.05).

Cuadro 3. Características del fruto de dos poblaciones de chile Huacle (*Capsicum annuum* L.) con tres niveles de amonio en la solución nutritiva y significancia estadística de los factores principales e interacción.

Factores y niveles de variación	DP (mm)	DE (mm)	LPe (mm)	APe (mm)	PFF (g)	NS	GP (mm)	PSF (g)
Poblaciones	*	**	NS	*	*	*	NS	NS
Rojo	57.81 b	36.93 a	29.91 a	4.42 a	23.22 a	87.37 b	2.65 a	2.20 a
Negro	72.35 a	31.72 b	32.22 a	3.76 b	18.86 b	117.05 a	2.29 a	2.13 a
Amonio (meq L ⁻¹)	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS
0	59.84 a	33.28 a	27.92 b	4.02 a	18.91 a	96.58 a	2.63 a	2.01 a
1.5	69.69 a	33.61 a	32.51 a	4.18 a	20.67 a	105.73 a	2.20 a	2.22 a
3.0	65.73 a	36.08 a	32.76 a	4.05 a	23.54 a	104.33 a	2.59 a	2.27 a
Interacción	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)	16.95	7.98	10.43	11.86	20.08	22.27	18.26	31.95

Medias con la misma letra en las columnas dentro de cada factor de variación son estadísticamente iguales (Tukey, P ≤ 0.05). DP: diámetro polar, DE: diámetro ecuatorial, LPe: largo de pedúnculo, APe, ancho de pedúnculo, PFF: peso fresco de fruto, NS: número de semillas, GP: grosor de pericarpio, PSF: peso seco de fruto, NS: no significativo, *: significancia estadística con P ≤ 0.05, **: significancia estadística con P ≤ 0.01.

Cuadro 4. pH y grados °Brix de dos poblaciones de chile Huacle (*Capsicum annuum* L.) cultivadas en tres niveles de NH₄⁺ en la solución nutritiva.

Población	NH ₄ ⁺ (meq L ⁻¹)	pH	° Brix
Rojo	0	4.63	10.2
Rojo	1.5	4.71	9.0
Rojo	3.0	4.56	10.0
Negro	0	4.86	8.2
Negro	1.5	4.75	9.2
Negro	3.0	4.82	9.5

población Rojo (Cuadro 3).

Los chiles tratados con una solución con NH₄⁺ a 1.5 y 3.0 meq L⁻¹ tuvieron un pedúnculo 16.87 % más largo que los que se regaron con la solución sin NH₄⁺, un pedúnculo vigoroso impide la entrada de patógenos al fruto, se recomienda dar seguimiento a esta variable en relación con la patogenicidad por hongos (Cuadro 3).

Variables químicas

En el Cuadro 4 se muestran las variables químicas medidas en el fruto del chile Huacle. La población Rojo estuvo en un intervalo de pH de 4.56 a 4.71, mientras

que la población Negro en un intervalo de 4.75 a 4.86. En sólidos solubles el intervalo fue de 9 a 10.2 °Brix para la población Rojo y en la población Negro de 8.2 a 9.5 °Brix.

Contenido de nutrimentos en hoja y fruto

El Cuadro 5 muestra que no hubo diferencias significativas entre poblaciones en los contenidos de N total, K, Ca y Mg, no así en el contenido de P. La concentración de NH_4^+ e interacciones sólo afectó el contenido de Mg en la hoja (Cuadro 5). Según Jones *et al.* (1991), los intervalos de suficiencia de macronutrimentos para *Capsicum annuum* L. se ubican de la siguiente manera: N de 3.5 a 5.0 %, P de 0.22 a 0.7 %, K de 3.50 a 4.50 %, Ca de 1.3 a 2.8 % y Mg de 0.30 a 2.8 %. De acuerdo con lo anterior, los resultados del presente estudio se encuentran dentro de los niveles óptimos de concentración de algunas variedades de *Capsicum annuum* L. En relación con el contenido nutrimental en fruto, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas para las variables

respuesta estudiadas, con excepción del contenido de P en las selecciones e interacción.

CONCLUSIONES

El suministro de NH_4^+ a una concentración de 3.0 meq L^{-1} en la población Negro incrementó el número de frutos y rendimiento, mientras que la población Rojo expresó su mayor rendimiento y número de frutos cuando se cultivó sin NH_4^+ o a una concentración de 1.5 meq L^{-1} . Las variables químicas pH y °Brix en las dos poblaciones de chile Huacle cultivadas en tres niveles de NH_4^+ en la solución nutritiva fueron similares. No hubo diferencias entre poblaciones en el contenido de N, K, Ca y Mg en hoja y fruto, excepto la población roja que tuvo una mayor concentración de P tanto en hoja como en fruto. El contenido nutrimental (N, P, K, Ca y Mg) en los frutos no fue afectado por el incremento en NH_4^+ en la solución nutritiva; sin embargo, la concentración de Mg en la hoja disminuyó por efecto del NH_4^+ . La población Negro tuvo frutos más largos y menos anchos, y un mayor

Cuadro 5. Contenido de nutrimentos (%) en hojas y frutos de dos poblaciones de chile huacle (*Capsicum annuum* L.) en tres niveles de amonio de la solución nutritiva y significancia estadística de los factores principales e interacción.

Factores y niveles de estudio	N	P	K	Ca	Mg
	Hojas				
Poblaciones	NS	*	NS	NS	NS
Rojo	3.59 a	0.12 a	5.96 a	1.18 a	1.77 a
Negro	3.88 a	0.08 b	5.60 a	1.19 a	1.73 a
Amonio (meq L^{-1})	NS	NS	NS	NS	*
0	3.50 a	0.09 a	5.99 a	1.21 a	1.83 a
1.5	3.77 a	0.11 a	5.82 a	1.18 a	1.79 ab
3.0	3.94 a	0.08 a	5.53 a	1.15 a	1.62 b
Interacción	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)	17.41	53.46	17.69	12.69	10.21
	Frutos				
	N	P	K	Ca	Mg
Poblaciones	NS	*	NS	NS	NS
Rojo	3.33 a	0.37 a	4.69 a	0.20 a	0.40 a
Negro	3.26 a	0.23 b	4.85 a	0.21 a	0.39 a
Amonio (meq L^{-1})	NS	NS	NS	NS	NS
0	2.87 a	0.30 a	4.86 a	0.21 a	0.39 a
1.5	4.18 a	0.33 a	4.64 a	0.20 a	0.39 a
3.0	2.83 a	0.28 a	4.81 a	0.21 a	0.40 a
Interacción	NS	**	NS	NS	NS
CV (%)	32.60	18.27	13.53	5.51	17.30

Medias con la misma letra en las columnas dentro de cada factor de variación son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). NS: no significativo, *: Significancia estadística con $P \leq 0.05$, **: significancia estadística con $P \leq 0.01$.

número de semillas que la población Rojo, que además tuvo frutos con mayor peso fresco y pedúnculo más grueso en comparación con la población Negro.

BIBLIOGRAFÍA

- Antúñez-Ocampo O. M., M. Sandoval-Villa, G. Alcántar-González y M. Solís-Martínez (2014) Aplicación de amonio y nitrato en plantas de *Physalis peruviana* L. *Agrociencia* 48:805-816.
- Bittsánszky A., K. Pilinszky, G. Gyulai and T. Komives (2015) Overcoming ammonium toxicity. *Plant Science* 231:184-190, <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.12.005>
- Britto D. T. and H. J. Kronzucker (2002) NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology* 159:567-584, <https://doi.org/10.1078/0176-1617-0774>
- Castañeda-Salinas C., M. Sandoval-Villa, A. L. Sánchez-Monteón, G. Alejo-Santiago, V. M. Jiménez-Meza, C. A. Aburto-González y M. García-López (2013) Respuesta de plántulas de uchuva (*Physalis peruviana* L.) a diferentes concentraciones de nitrato y amonio. *Revista Bio Ciencias* 2:148-153.
- Castellón M. E., J. C. Carrillo-Rodríguez, J. L. Chávez-Servia y A. M. Vera-Guzmán (2014) Variación fenotípica de morfotipos de chile (*Capsicum annum* L.) nativo de Oaxaca, México. *Phyton* 83:225-236.
- Cruz C., M. D. Domínguez-Valdivia, P. M. Aparicio-Tejo, C. Lamsfus, A. Bio, M. A. Martins-Loução and J. F. Moran (2011) Intra-specific variation in pea responses to ammonium nutrition leads to different degrees of tolerance. *Environmental and Experimental Botany* 70:233-243, <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.09.014>
- Chang J., D. Liu, H. Cao, S. X. Chang, X. Wang, C. Huang and Y. Ge (2010) $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratios affect the growth and N removal ability of *Acorus calamus* and *Iris pseudacorus* in a hydroponic system. *Aquatic Botany* 93:216-220, <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2010.08.002>
- Chen B., D. Liu, W. Han, X. Fan, H. Cao, Q. Jiang, ... and Y. Ge (2015) Nitrogen-removal ability and niche of *Coix lacryma-jobi* and *Reineckia carnea* in response to $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio. *Aquatic Botany* 120:193-200, <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2014.05.016>
- CSTPA, Council on Soil Testing and Plant Analysis (1980) Handbook on Reference Methods for Soil Testing. Revised edition. Council on Soil Testing and Plant Analysis. Athens, Georgia, USA. 130 p.
- Esteban R., I. Ariz, C. Cruz and J. F. Moran (2016) Review: Mechanisms of ammonium toxicity and the quest for tolerance. *Plant Science* 248:92-101, <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.04.008>
- García-Gaytán V., F. C. Gómez-Merino, L. I. Trejo-Téllez, G. A. Baca-Castillo and S. García-Morales (2017) The Chilhuacle chili (*Capsicum annum* L.) in Mexico: description of the variety, its cultivation, and uses. *International Journal of Agronomy* 2017:5641680, <https://doi.org/10.1155/2017/5641680>
- González-Chávez O., R. Bugarín-Montoya, G. Alejo-Santiago y C. R. Juárez-Rosete (2019) Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ en plantas de pimiento morrón con despunte temprano. *Revista Bio Ciencias* 6:e548, <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e548>
- Hu L., J. Yu, W. Liao, G. Zhang, J. Xie, J. Lv, ... and R. Bu (2015) Moderate ammonium:nitrate alleviates low light intensity stress in mini Chinese cabbage seedling by regulating root architecture and photosynthesis. *Scientia Horticulturae* 186:143-153, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.02.020>
- Hawkesford M., W. Horts, T. Kichey, H. Lambers, J. Schjoerring, I. Skrmsasger Möller and P. White (2012) Functions of macronutrients. In: Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Third edition. P. Marschner (ed.). Elsevier. San Diego, CA, USA, pp:135-189, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00006-6>
- Jones J. B., B. Wolf and H. A. Mills (1991) Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide. Micro-Macro Publishing. Athens, Georgia, USA. 213 p.
- Lara-Izaguirre A. Y., A. N. Rojas-Velázquez, M. J. Romero-Méndez, H. M. Ramírez-Tobías, E. Cruz-Crespo, J. A. Alcalá-Jáuregui y C. Loredó-Ostí (2019) Crecimiento y acumulación de NO_3^- en lechuga hidropónica con relaciones nitrato/amonio en dos estaciones de cultivo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42:21-29, <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.1.21-29>
- Liu G., Q. Du and J. Li (2017) Interactive effects of nitrate-ammonium ratios and temperatures on growth, photosynthesis, and nitrogen metabolism of tomato seedlings. *Scientia Horticulturae* 214:41-50, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.006>
- Liu Y. and N. von Wirén (2017) Ammonium as a signal for physiological and morphological responses in plants. *Journal of Experimental Botany* 68:2581-2592, <https://doi.org/10.1093/jxb/erx086>
- López-López P. y D. Pérez-Bennetts (2015) El Chile huacle (*Capsicum annum* sp.) en el estado de Oaxaca, México. *Agroproductividad* 8:35-39.
- Sarasketa A., M. B. González-Moro, C. González-Murua and D. Marino (2014) Exploring ammonium tolerance in a large panel of *Arabidopsis thaliana* natural accessions. *Journal of Experimental Botany* 65: 6023-6033, <https://doi.org/10.1093/jxb/eru342>
- SAS Institute (2004) SAS/STAT User's Guide 9.1. SAS Institute, Inc. Cary, North Carolina, USA. 5136 p.
- SE, Secretaría de Economía (2014) NMX-FF-107/1-SCFI-2014. Productos alimenticios. Chiles secos. Parte 1: especificaciones y métodos de prueba. (Cancela a la NMX - FF-107/1- SCFI-006). Secretaría de Economía. México, D.F. 26 p. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5379404&fecha=23/01/2015&print=true (Agosto 2020).
- SEGOB, Secretaría de Gobernación (1978) Norma Oficial Mexicana Determinación de pH en alimentos NMX-F-317-S-1978. Diario Oficial de la Federación. 23 de diciembre de 1978. México, D. F.
- Steiner A. A. (1984) The universal nutrient solution. In: Proceeding of the 6th International Congress on Soilless Culture. International Society for Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands. pp:633-649.
- UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural organization (2010) Traditional Mexican cuisine: ancestral, ongoing community culture, the Michoacán paradigm. Paris. <https://ich.unesco.org/en/RL/traditional-mexican-cuisine-ancestral-ongoing-community-culture-the-michoacan-paradigm-00400> (September 2020).
- Urbina-Sánchez E., G. A. Baca-Castillo, R. Núñez-Escobar, M. T. Colinas-León, L. Tijerina-Chávez y J. L. Tirado-Torres (2011) Zeolita como sustrato en el cultivo hidropónico de gerbera. *Terra Latinoamericana* 29:387-394.
- Vázquez G. E., M. Ramírez M., H. Mata V., R. Ariza F. e I. Alía T. (2010) Atributos de calidad y vida de anaquel de frutos de cultivares de chile serrano en México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:79-82.