

RENDIMIENTO Y ESTADO NUTRIMENTAL DE KALE (*Brassica oleracea*) cv. DWARF BLUE CURLED SCOTCH EN FUNCIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

YIELD AND NUTRITIONAL STATUS OF KALE (*Brassica oleracea*) cv. DWARF BLUE CURLED SCOTCH AS A FUNCTION OF THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF THE NUTRIENT SOLUTION

Juan Martínez-Castillo¹, María de las Nieves Rodríguez-Mendoza¹,
Manuel Sandoval-Villa^{1*} y José Luis García-Cué²

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo (CP-CM), Postgrado en Edafología. ²CP-CM, Postgrado Socioeconomía, Estadística e Informática, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia (msandoval@colpos.mx)

RESUMEN

El kale (*Brassica oleracea*) cv. Dwarf Blue Curled Scotch es una hortaliza de reciente introducción en México. Se desconocen sus requerimientos nutricionales para producción en invernadero e hidroponía. El primer aspecto a investigar para llevar a cabo una producción exitosa en ambientes controlados es elucidar la respuesta del cultivo a la conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva en su desarrollo y calidad comercial, bajo la hipótesis que a mayor CE de la solución nutritiva habrá mayor rendimiento y concentración nutrimental. Para verificar la hipótesis se estableció un experimento en hidroponía con CE de 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 dS m⁻¹ en la solución nutritiva Steiner, en invernadero en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, México. El diseño experimental usado fue completamente al azar con 10 repeticiones. Para la germinación de la semilla se utilizó turba, y el trasplante se realizó 23 días después de la siembra (dds). Las plántulas se trasplantaron en macetas de 6 L con perlita. Los cuatro tratamientos de CE se aplicaron desde el trasplante y la cosecha se realizó a los 54 días después del trasplante. Los resultados indicaron que a mayor CE aumentaron las lecturas SPAD y la concentración de nitrógeno total en la hoja. La altura de planta, ancho de hoja, diámetro de tallo, largo y volumen radical, así como peso fresco de las plantas incrementaron desde 23 hasta 75 % en las soluciones de 1.5 y 2.0 dS m⁻¹, respectivamente. Se concluye que a mayor CE (2.0 dS m⁻¹) se mejora el rendimiento de kale; asimismo, se incrementa la concentración de nitrógeno total, nitratos y lecturas SPAD y disminuye la concentración de Ca, tanto en extracto celular de peciolo como en tejido de hoja.

Palabras clave: Concentración nutrimental, extracto celular de peciolo, hidroponía, perlita.

SUMMARY

Kale (*Brassica oleracea*) cv. Dwarf Blue Curled Scotch is a recently introduced vegetable in Mexico. Its nutritional requirements for greenhouse and hydroponics production are unknown. The first aspect to investigate to carry out a successful production in controlled environments is to elucidate the response of the crop to the electrical conductivity (EC) of the nutrient solution in its development and commercial quality, under the hypothesis that the higher the EC of the nutrient solution the higher the yield and the nutritional concentration. To verify the hypothesis, an experiment was established in hydroponics with EC of 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 dS m⁻¹ in the Steiner nutrient solution, in a greenhouse at Campus Montecillo of the Colegio de Postgraduados, Mexico. The experimental design used was completely randomized with 10 replications. Peat was used for seed germination,

and the transplant was carried out 23 days after sowing. Seedlings were transplanted into 6 L pots with perlite. The four EC treatments were applied from the transplant and the harvest was carried out 54 days after transplant. Results indicated that the higher the EC, the SPAD readings and the total nitrogen concentration in the leaf increased. Plant height, leaf width, stem diameter, length and root volume, as well as fresh weight of the whole plant increased from 23 to 75 % in the solutions of 1.5 and 2.0 dS m⁻¹, respectively. It is concluded that a higher EC (2.0 dS m⁻¹) improves kale yield; likewise, the concentration of total nitrogen, nitrates and SPAD readings are increased and the concentration of Ca decreases in the petiole cell extract and in leaf tissue.

Index words: Hydroponics, nutrient concentration, perlite, petiole sap.

INTRODUCCIÓN

El kale (*Brassica oleracea*) cv. Dwarf Blue Curled Scotch es una brasicácea que alcanza de 40 hasta 125 cm de altura y no forma cabeza (Fahey *et al.*, 2016; Reyes-Munguía *et al.*, 2017); sus hojas son verdes, rizadas, firmes y con alto contenido de fibra (Reyes-Munguía *et al.*, 2017). Esta hortaliza se comercializa en fresco en pequeños manojos de seis hojas, también se encuentra en conservas, o congeladas ya desinfectadas y deshidratadas en polvo; se cocina en platillos, sopas, tortillas y en frituras, aunque el secado reduce significativamente su valor nutritivo y químico (Fahey *et al.*, 2016; Oliveira *et al.*, 2015; Šamec *et al.*, 2019). Para recolectar hojas frescas comerciales, éstas deben alcanzar un tamaño de entre 10 y 15 cm de largo y la cosecha inicia con el corte de las hojas más bajas y extensas (Casajús *et al.*, 2021).

El kale es considerado un súper alimento por su alto contenido de antioxidantes, entre los que están compuestos fenólicos, carotenoides, flavonoides, antocianinas, glucosinolatos y ácido ascórbico, así como el aporte de fibra dietética (Casajús *et al.*, 2021; Neugart *et al.*, 2018; Zheng *et al.*, 2018). En México, los estados de

Guanajuato y Baja California producen kale en campo y con riego para mercado nacional y de exportación (SIAP, 2020).

En la actualidad, la hidroponía tiene varias ventajas como son el incremento en la producción de plantas por unidad o volumen, control del suministro nutrimental y mayor calidad a la cosecha (Beltrano y Gimenez, 2015). Considerando que el kale es un cultivo de hoja promisorio en la alimentación humana, es posible producir en pequeños espacios usando soluciones nutritivas (Lee *et al.*, 2018), en cualquier época del año y favorecer el desarrollo del cultivo al incrementar el tamaño, sabor y contenido nutrimental. El objetivo de la investigación fue evaluar la respuesta del kale en el rendimiento y concentración nutrimental en función de la conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva Steiner (1984).

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones experimentales y material vegetal

El experimento se condujo en invernadero sin control de clima con plástico UV-II calibre 720 con 85 % de transmitancia de luz. Se utilizaron semillas de kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) cv. Dwarf Blue Curled Scotch.

Tratamientos y diseño experimental

Para la aplicación de los tratamientos se utilizó agua de la llave, a la cual se le realizó análisis químico, cuyos resultados mostraron una CE de 0.58 dS m^{-1} , pH 7.92, con una concentración de macronutrientes, en meq L^{-1} , de Ca 1.26, Mg 2.06, Na 1.48, S-SO_4^{2-} 0.84, HCO_3^- 2.94 y Cl^- 0.74, la concentración de micronutrientes fue de apenas trazas. Se hicieron los cálculos para completar la concentración de cada macronutriente indicado para elaborar las cuatro soluciones correspondientes a los tratamientos de CE: 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 dS m^{-1} usando como base la concentración de aniones y cationes de la solución nutritiva Steiner. La aplicación de micronutrientes se hizo con base en Arnon (1938), debido a que la solución Steiner hace énfasis en la relación mutua de cationes y aniones y deja de lado el suministro de micronutrientes, usando como fuente el producto Tradecop® AZ (Fe 7.5, Mn 3.5, Cu 0.28, Zn 0.7, B 0.63 y Mo 0.3 %) y como base del cálculo para micronutrientes se empleó la concentración de 3 mg L^{-1} de Fe en la solución. El pH de la solución nutritiva se ajustó con ácido sulfúrico 1 N, utilizando un potenciómetro (Marca Conductronic, Puebla, México) antes de agregar los fertilizantes, cada vez que se preparó la solución nutritiva.

Los tratamientos se distribuyeron bajo un diseño experimental completamente al azar con 10 repeticiones,

las unidades experimentales fueron las plantas individuales en macetas.

Manejo del experimento

La siembra se efectuó el 24 de agosto de 2020 en semilleros de poliestireno de 50 cavidades con turba humedecida a capacidad de retención de humedad (41 %). Los riegos se realizaron con agua de la llave cuyas propiedades fueron descritas líneas arriba. Durante los primeros 8 d, posteriores a la presencia de hojas verdaderas (etapa vegetativa de plántula) los riegos fueron con solución nutritiva Steiner al 10 % hasta el día 12 y a partir de ese día hasta el trasplante (23 dds) con solución nutritiva Steiner al 25 %. El trasplante se hizo en macetas de plástico de 6 L con perlita (partículas de 2 a 5 mm, densidad aparente de 0.16 kg L^{-1} y porosidad de 63 %). Para evitar el paso de luz y el desarrollo de algas en el sustrato, se colocó una capa de tezontle en la parte superior de la maceta.

El riego de las macetas fue manual y para el control de plagas y enfermedades, que se presentaron en baja incidencia, se hicieron aplicaciones de productos preparados como aceite blanco para mosquita blanca, caldo bordelés para mildiu y Biozyme® TF como estimulante hormonal para promover el crecimiento de las plántulas, dado que este producto contiene giberelinas y citocininas a dosis de 31 mg L^{-1} de cada una de estas hormonas vegetales, con la finalidad de obtener plántulas vigorosas sin limitantes para su posterior desarrollo.

VARIABLES EVALUADAS

A los 54 ddt, en tres hojas recientemente expandidas por planta, se tomaron lecturas SPAD (SPAD 502 marca Minolta, Tokio, Japón), y en la misma fecha las plantas se cosecharon. Asimismo, se cuantificó la concentración de Ca^{2+} y K^+ (mg L^{-1}) en extracto celular de peciolo (ECP) de hojas recientemente maduras con ionómetros (marca Laquatwin Horiba®, Horiba Scientific, Kyoto, Japón), diámetro de tallo (mm) a la altura del corte donde se separó la parte aérea y la raíz con vernier digital (marca Truper®, México), peso fresco total de la parte aérea (g) con una báscula de precisión (marca Noval® T-I-EK, Ciudad de México) con capacidad de 5000 g y precisión de 1 g, número de hojas totales y se hizo la separación de aquellas de tamaño comercial. Asimismo, se determinó el volumen de raíz por desplazamiento de agua usando una probeta de 500 mL. La concentración de nitrógeno total se determinó por el método de Kjeldahl, nitratos por el método de Cataldo *et al.* (1975); para Ca, K, Mg, P, S, Fe, Zn, Cu, Mn, B, Mo y Ni la determinación se realizó mediante una digestión húmeda y el análisis en espectrometría de

emisión e inducción por plasma (Varian®, modelo ICP-OES 725-ES, Palo Alto, California, EUA).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de cada variable se sometieron a pruebas de Shapiro-Wilk ($\alpha = 0.05$) para comprobar una distribución normal; las que cumplieron con esta prueba fueron sometidas a análisis de varianzas con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$. También se comprobaron los supuestos de homogeneidad de varianza mediante la prueba de Bartlett, normalidad de los residuos de Shapiro-Wilk y la prueba de independencia de datos. Después, se hizo la comparación de medias a través de la diferencia significativa honesta de Tukey (DSH) con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$. Las variables que no cumplieron con la prueba de normalidad, como la concentración de Ca, fueron convertidas a logaritmos naturales y después sometidas de nuevo a la prueba de Shapiro-Wilk ($\alpha = 0.05$); si con la nueva prueba se cumplían los supuestos de normalidad, se procedía al análisis de varianza y posterior comparación de medias a través de la diferencia significativa honesta de Tukey (DSH). En caso de no cumplir con ambas pruebas, como la concentración de K^+ en ECP, las variables se analizaron a través del procedimiento no paramétrico de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0.05$). Se obtuvieron correlaciones entre nitrógeno total y lecturas SPAD, así como entre Ca en ECP y en material vegetal seco. Los

cálculos se hicieron con los programas SAS versión 9.1 para Windows (SAS Institute, 2010) y R versión 4.0.2 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de hojas totales y hojas comerciales

El número de hojas totales y hojas comerciales (hojas de 10-20 cm) por planta se incrementó conforme aumentó la CE de la solución (Figura 1). El rendimiento de kale con solución nutritiva fue superior en 80 % en comparación con lo obtenido por Alanoca *et al.* (2021), quienes produjeron kale en macetas con diferentes sustratos. Las hojas de las plantas regadas con solución de CE 2.0 $dS\ m^{-1}$ fueron las que mayor peso fresco comercial tuvieron (184 g), 361 % con respecto a aquellas plantas regadas con solución de CE 0.5 $dS\ m^{-1}$ (39.907 g). Sat *et al.* (2017) reportaron no más de 8.6 hojas de kale a los 46 días con diferentes tratamientos orgánicos y mineral; en este caso, con 8 d más de desarrollo en la maceta (54 ddt), la producción fue de 14 (0.5 $dS\ m^{-1}$) y 18 (1.5 $dS\ m^{-1}$) hojas totales, 90 % más peso de hoja con manejo hidropónico en comparación con los resultados de Sat *et al.* (2017).

El peso fresco de hojas, total y comercial, aumentó proporcionalmente a los incrementos en la CE de la solución nutritiva (Figura 2); sin embargo, se busca

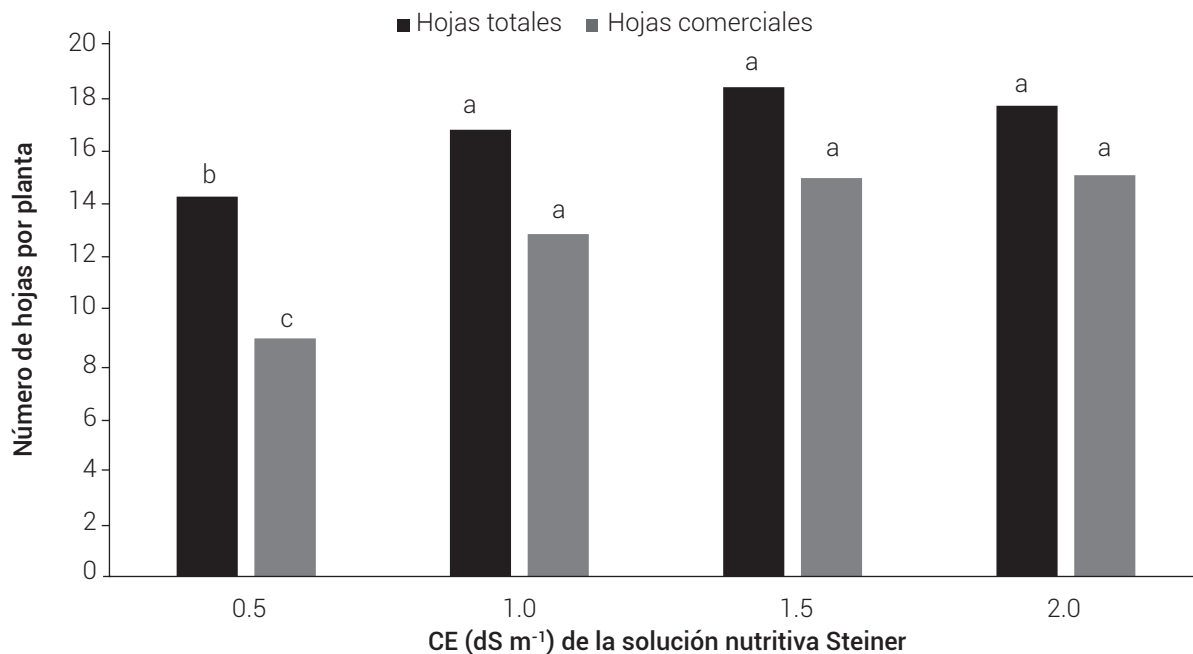


Figura 1. Efecto de la conductividad eléctrica sobre el peso fresco total de hojas y peso fresco de hojas comerciales de kale (*Brassica oleracea*) de 54 ddt. Significancia $P \leq 0.05$ DSH de Tukey.

encontrar el suministro óptimo, tanto con fuentes orgánicas como con fuentes minerales, de lo contrario puede haber excesos como los indicados por Hilaquita (2018) con fuentes orgánicas, donde el rendimiento fue mayor con la aplicación de fertilizante orgánico al 20 que al 30 %, y por Juárez-Rosete *et al.* (2019) y Cruz *et al.* (2012), que obtuvieron mayor peso fresco al aumentar la CE, por lo cual se asume que en estos dos últimos casos el mayor suministro quedó aún por debajo de los niveles de toxicidad o salinidad.

Con el número total de hojas comerciales y su peso total se obtuvo el peso promedio por hoja. Resalta el incremento del ancho y largo de las hojas conforme aumentó la CE

(Cuadro 1). El ancho y longitud de hojas fueron similares a los reportados en la producción en suelo con fertilizantes orgánicos y minerales (Sat *et al.*, 2017).

Según Casajús *et al.* (2021), las hojas comercializables de kale presentan longitud de 10 a 15 cm y se venden en manojos de seis hojas. Las hojas cosechadas en su mayoría fueron del tamaño comercial, al igual que lo reportado por Sat *et al.* (2017), con longitud de 11 a 18 cm. Las hojas de mayor tamaño también son fibrosas y de sabor más intenso, estas hojas no comercializables pueden utilizarse para alimentar animales de traspatio como gallinas, conejos y borregos.

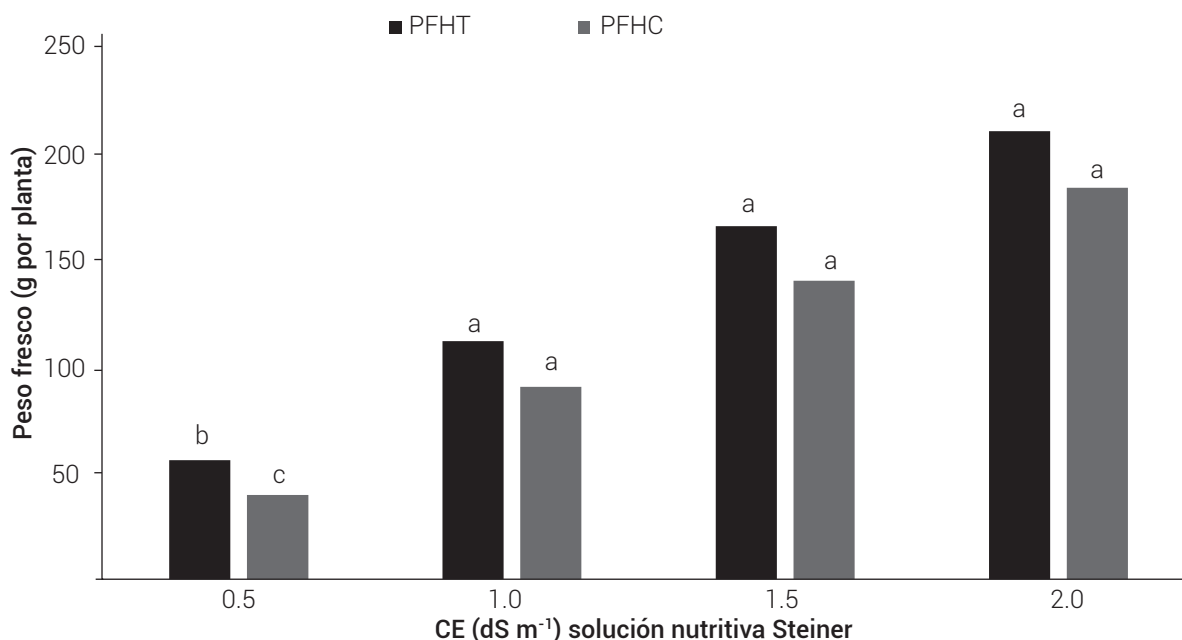


Figura 2. Efecto de la conductividad eléctrica sobre el número de hojas totales (PFHT) y comerciales (PFHC) de kale (*Brassica oleracea*) a los 54 ddt. Significancia $P \leq 0.05$ DSH de Tukey.

Cuadro 1. Efecto de la conductividad eléctrica sobre el peso fresco, ancho y largo de hoja comercial en plantas de kale (*Brassica oleracea*) a los 54 ddt producidas en sustrato de perlita en invernadero.

CE (dS m ⁻¹)	Peso fresco (g)	Ancho (cm)	Largo (cm)
0.5	4.42 ± 0.64 d	7.37 ± 0.13 d	11.54 ± 0.24 d
1.0	7.15 ± 0.41 c	9.08 ± 0.19 c	14.56 ± 0.49 c
1.5	9.42 ± 0.48 b	9.9 ± 0.28 b	16.35 ± 0.38 b
2.0	12.26 ± 0.44 a	11.09 ± 0.20 a	17.79 ± 0.31 a
R ²	0.97	0.81	0.81
CV (%)	6.25	7.17	7.75
DSH 0.05	1.14	0.81	1.40

R²: coeficiente de determinación. CV: coeficiente de variación, DSH: diferencia significativa honesta de Tukey. Medias con letras diferentes en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

Lecturas SPAD

La CE influyó en las lecturas SPAD, a mayor CE en la solución nutritiva, mayor lectura SPAD debido a que el SPAD mide la intensidad del color verde de las hojas, el cual, a su vez, es función de la concentración de clorofila en la hoja que depende del suministro de N y Mg, ambos componentes de la clorofila (Mendoza-Tafolla *et al.*, 2019), con un máximo de 65.43 en plantas regadas con la solución nutritiva con CE de 2.0 dS m⁻¹, 29 % mayor a la de las plantas fertilizadas con 0.50 dS m⁻¹ (50.36; Figura 3). Limantara *et al.* (2015) encontraron que existe una alta correlación entre la concentración de N en hortalizas de hoja, entre ellas el kale, y las lecturas SPAD; sin embargo, esta correlación disminuye con altas lecturas SPAD. Sat *et al.* (2017) también encontraron una estrecha relación entre las lecturas SPAD y la concentración de N total en kale. Salachna *et al.* (2017) al exponer el kale a salinidad, observaron que las lecturas SPAD disminuyeron de 44.6 a 31.2.

La correlación entre las lecturas SPAD y el nitrógeno total fue de 0.796; después, se aplicó una prueba de correlación paramétrica de Pearson ($\alpha = 0.05$) que resultó en $P = 0.0019$, lo que indicó que hay una relación significativa entre las dos variables (Figura 3).

Concentración de Ca²⁺ y K⁺ en extracto celular de peciolo

La CE de la solución nutritiva afectó la concentración de Ca en ECP. Al pasar de 0.5 a 1.0 dS m⁻¹ de CE en la solución nutritiva hubo un incremento de 87 % de la concentración

de Ca en ECP (Cuadro 1). Conductividades eléctricas mayores de 1.0 dS m⁻¹ disminuyeron la concentración de Ca en el ECP (Cuadro 2). Cardona *et al.* (2017) indicaron que la salinidad disminuye la absorción del Ca en la raíz; sin embargo, este no es el caso del K, cuya concentración siguió aumentando en ECP, incluso en el nivel más alto de CE (Cuadro 2).

Benavides-Mendoza *et al.* (2021) encontraron, en etapa vegetativa, concentraciones de 110 a 210 mg L⁻¹ de Ca en ECP en brócoli y coliflor, estas concentraciones son menores que las encontradas en kale. Los mismos autores encontraron concentraciones de K mayores a las del intervalo observado en la presente investigación (de 11.6 a 15.6 mg L⁻¹).

Diámetro de tallo, volumen y longitud de raíz

El diámetro de tallo y volumen radical fueron afectados por la CE, con la misma tendencia que el peso fresco, a mayor CE mayor diámetro. El mayor diámetro fue de 13.84 mm, que equivale a 74 % más que las plantas regadas con solución a 0.5 dS m⁻¹ (Cuadro 3). Estos valores equivalen al doble de grosor de lo reportado por Sat *et al.* (2017), quienes produjeron kale en macetas con suelo con diferentes fuentes orgánicas y minerales, con un diámetro de 6.3 a 6.8 mm.

El mayor volumen radical (76.8 cm³) correspondió a la CE 2.0 dS m⁻¹, 122 % superior a 34.6 cm³, volumen correspondiente a CE 0.5 dS m⁻¹. Cruz *et al.* (2012) reportaron en tomate incremento en el diámetro del tallo

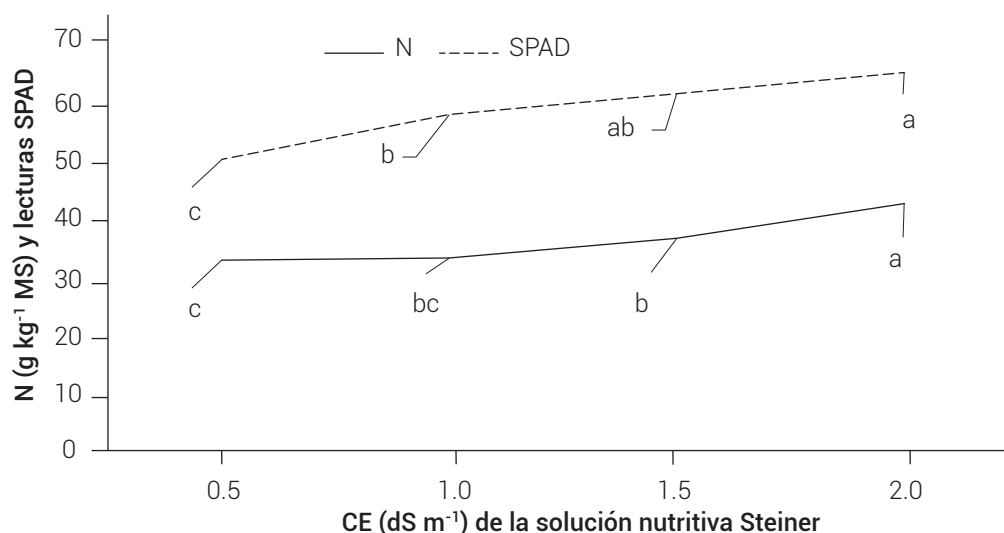


Figura 3. Lecturas SPAD y N por efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva en hojas de kale a los 54 ddt. Significancia $P \leq 0.05$ con DSH de Tukey.

cuando se produjo en solución de Steiner al 100 %. Las raíces más largas fueron las de las plantas que crecieron con la solución de 1.5 dS m⁻¹ (53 cm).

Concentración nutrimental

Nitrógeno total y nitratos

La concentración de nitrógeno total (Nt) y nitratos, con base en peso seco, en las hojas de kale aumentó conforme la solución estuvo más concentrada (Figura 4). El intervalo de variación para N total fue de 32.73 a 42.52 g kg⁻¹ para 0.5 y 2.0 dS m⁻¹, respectivamente. La concentración de nitratos se analizó con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, se encontraron diferencias significativas entre las CE, y ésta varió de 5.6 a 44.9 g kg⁻¹ para 0.5 y 2.0 dS m⁻¹, en el mismo orden. La concentración alta de nitrato (0.5 a 4.5 %), obtenida en las plantas irrigadas con solución nutritiva con 2.0 dS m⁻¹ de CE (4.5 %), puede ser un factor de riesgo para la salud humana. Una estrategia para

cuando el nivel de nitratos es alto en las hojas es consumir las cocidas, ya que está demostrado que la concentración de nitratos disminuye hasta en 75 % por el calor (Correa et al., 2017). La otra opción es utilizar fertilizantes con base en amonio en las semanas finales del ciclo del cultivo. Zhu et al. (2018) encontraron 3500 mg L⁻¹ (0.35 %) de nitratos en kale cv. Zaobao y Lvobao, concentración más baja que la encontrada en esta investigación (0.5 a 4.5 %), lo que demuestra diferencias de absorción entre cultivares. Serio et al. (2001) encontraron 173.7 mg kg⁻¹ (0.017 %) de nitratos en lechuga producida en una solución nutritiva con 2.5 dS m⁻¹ CE. La European Commission (2011) autoriza de 2000 hasta 7000 mg NO₃ kg⁻¹ en función de la hortaliza de hoja y el sistema de producción.

Fósforo, azufre, potasio y magnesio

La concentración de K y Mg en hoja no se afectó por la CE de la solución nutritiva y la de P y S (aniones) fue mayor con menor CE (Cuadro 4). Este tipo de inconsistencias en

Cuadro 2. Efecto de la conductividad eléctrica sobre las lecturas SPAD y concentración de Ca²⁺ y K⁺ en extracto celular de peciolo de hojas de kale (*Brassica oleracea*) producidas en invernadero.

CE (dS m ⁻¹)	Lecturas SPAD	Ca (mg L ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)
0.5	50.3 ± 0.83 c	182 ± 6.46 b	12.2 ± 0.87 bc
1.0	57.7 ± 1.32 b	280 ± 12.29 a	11.6 ± 0.42 c
1.5	61.3 ± 0.97 ab	156 ± 8.71 b	14.7 ± 0.36 ab
2.0	64.9 ± 0.97 a	149 ± 9.24 b	15.6 ± 0.99 a
R ²	0.75	0.77	0.37
CV (%)	5.58	15.52	16.82
DSH 0.05	3.94	35.84	2.74

R²: coeficiente de determinación. CV: coeficiente de variación, DSH: diferencia significativa honesta de Tukey. Medias con letras diferentes en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey, P ≤ 0.05).

Cuadro 3. Diámetro de tallo, volumen y longitud radical de plantas de kale (*Brassica oleracea*) de 54 ddt producidas en perlita ante la conductividad eléctrica de la solución nutritiva.

CE (dS m ⁻¹)	Diámetro de tallo (mm)	Volumen radical (cm ³)	Longitud de raíz (cm)
0.5	7.93 ± 0.34 c	34.60 ± 2.20 c	39.70 ± 1.08 b
1.0	10.16 ± 0.25 b	62.00 ± 3.70 b	43.70 ± 2.45 b
1.5	12.63 ± 0.57 a	64.90 ± 3.11 b	53.40 ± 1.79 a
2.0	13.84 ± 0.58 a	76.80 ± 2.65 a	45.90 ± 1.08 b
R ²	0.73	0.75	0.48
CV (%)	13.09	15.77	11.79
DSH 0.05	1.75	11.32	6.40

R²: coeficiente de determinación. CV: coeficiente de variación, DSH: diferencia significativa honesta de Tukey. Medias con letras diferentes en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey, P ≤ 0.05).

estudios de suministro creciente de nutrimentos (mayor CE en solución nutritiva, sustrato o suelo) se repite en los resultados de Calderon y Mortley (2021); estos autores encontraron incremento de la concentración en hoja de kale para N total, K y Na al aumentar desde 0, con intervalos de 5, hasta 15 % la proporción de compost, pero efecto nulo en P, Ca y Mg. Esta situación de inconsistencia puede deberse a que el kale tiene requerimientos específicos bajos de P. Al comparar la concentración de P encontrada por Calderon y Mortley (2021) de 4.3 a 5.5 g kg⁻¹ (variedad Red Russian) contra lo encontrado en esta investigación de 2.87 a 2.37 g kg⁻¹ (variedad Dwarf Blue Curled Scotch) se observa que se alcanzó apenas la mitad de la concentración, una amplia diferencia considerando que son variedades distintas; por lo tanto, es importante en futuras investigaciones determinar el nivel óptimo de cada nutrimento en cada etapa fenológica. Para el caso del K, éste varió de 14 a 16 g kg⁻¹ y en Calderon y Mortley (2021) ésta fue de 28 a 55 g kg⁻¹; nuevamente, la tendencia fue de valores de dos a tres veces mayores. Lo mismo ocurre con Mg, pero los datos de Calderon y Mortley (2021) duplicaron la concentración encontrada en esta investigación.

El kale cultivado en invierno tiene mayor concentración de Ca, Mg, Fe, Zn y Mn que las recolectadas durante el verano (Šáamec *et al.*, 2011). Las concentraciones de Nt, P y K están por debajo de lo reportado por Sat *et al.* (2017) en kale de China; sin embargo, Sikora y Bodziarczyk (2012) produjeron kale por tres años en campo y encontraron, en promedio, concentraciones hasta 60 % menores de K y Mg que lo encontrado en la presente investigación.

Las concentraciones nutrimentales cuantificadas en el experimento son más altas que las reportadas por otros investigadores y esto se relaciona con el sistema de producción, ya que la mayoría de los estudios son en suelo con la incorporación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, mientras que en hidroponía hasta el momento hay poca información. El USDA (2015) reporta en kale concentraciones de Ca, Fe, Mg, P, K, Zn de 150, 1.47, 47, 92, 491 y 0.56 mg 100 g⁻¹ de peso fresco, respectivamente.

La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0.05$) no detectó diferencias estadísticamente significativas en la concentración de Ca en tejido vegetal. Al analizar la relación entre el Ca en ECP y la concentración de Ca a través de un análisis de correlación no paramétrica de Spearman ($\alpha = 0.05$) se detectó un valor de Rho = 0.502 con un valor de P = 0.0936, que indica que no hay una correlación significativa al 5 % pero sí al 10 % entre las dos variables (Figura 5); esto es, a medida que el Ca en ECP aumenta la concentración de Ca en el tejido aumenta de manera poco pronunciada y viceversa.

Es pertinente recalcar que todas las soluciones nutritivas tuvieron la misma concentración de micronutrimentos, y que se utilizó como base de cálculo al Fe (3 mg L⁻¹); por lo tanto, el efecto sobre los micronutrimentos está dado por la CE generada por los macronutrimentos. Se aprecia que la mayor concentración de Fe y Cu corresponde al segundo nivel de CE de la solución (1.0 dS m⁻¹; 170 y 16.8 mg kg⁻¹) y en Mn (71 mg kg⁻¹, valor más bajo) correspondió a la CE de la solución más baja (0.5 dS m⁻¹; Cuadro 5). En el caso del Fe, en esta investigación la concentración promedio fue 30

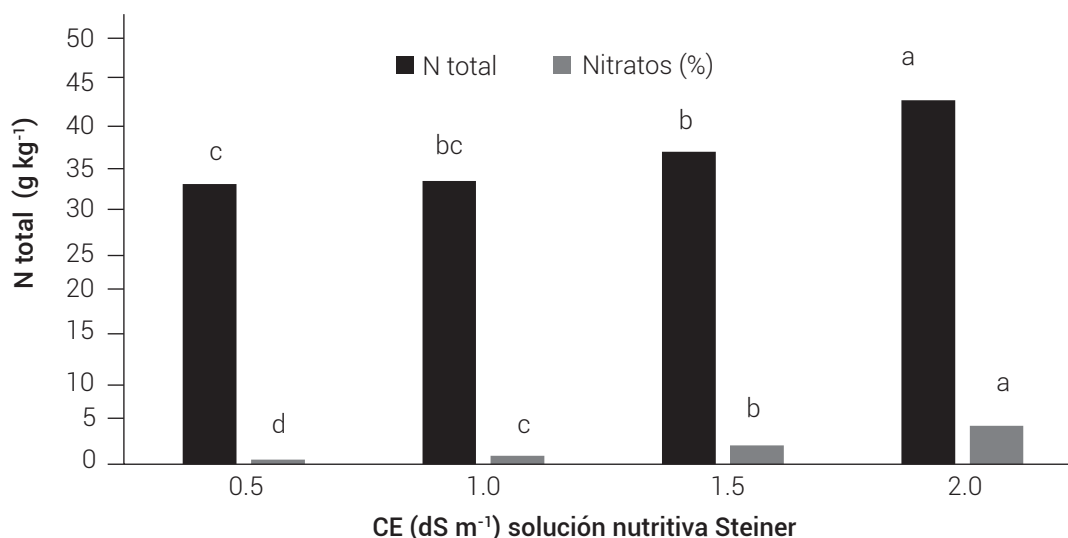


Figura 4. Influencia de la conductividad eléctrica sobre la concentración de nitrógeno total y nitratos en hojas de kale (*Brassica oleracea*) de 54 ddt. Significancia $P \leq 0.05$ DSH de Tukey.

Cuadro 4. Efecto de la CE de la solución nutritiva sobre la concentración de P, K, Mg y S en plantas de kale (*Brassica oleracea*) de 54 ddt producidas en perlita e invernadero.

CE (dS m ⁻¹)	P	K	Mg	S
	(g kg ⁻¹)			
0.5	2.876 a	14.09 a	5.550 a	17.177 a
1.0	2.740 ab	13.20 a	5.447 a	14.100 b
1.5	2.610 ab	13.77 a	5.610 a	12.533 b
2.0	2.376 b	16.14 a	5.810 a	13.050 b
R ²	0.718	0.456	0.178	0.802
CV (%)	5.33	10.39	6.22	7.71
DSH 0.05	0.370	3.885	0.911	2.865

R²: coeficiente de determinación, CV: coeficiente de variación, DSH: diferencia significativa honesta de Tukey. Medias con letras diferentes en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey, P ≤ 0.05).

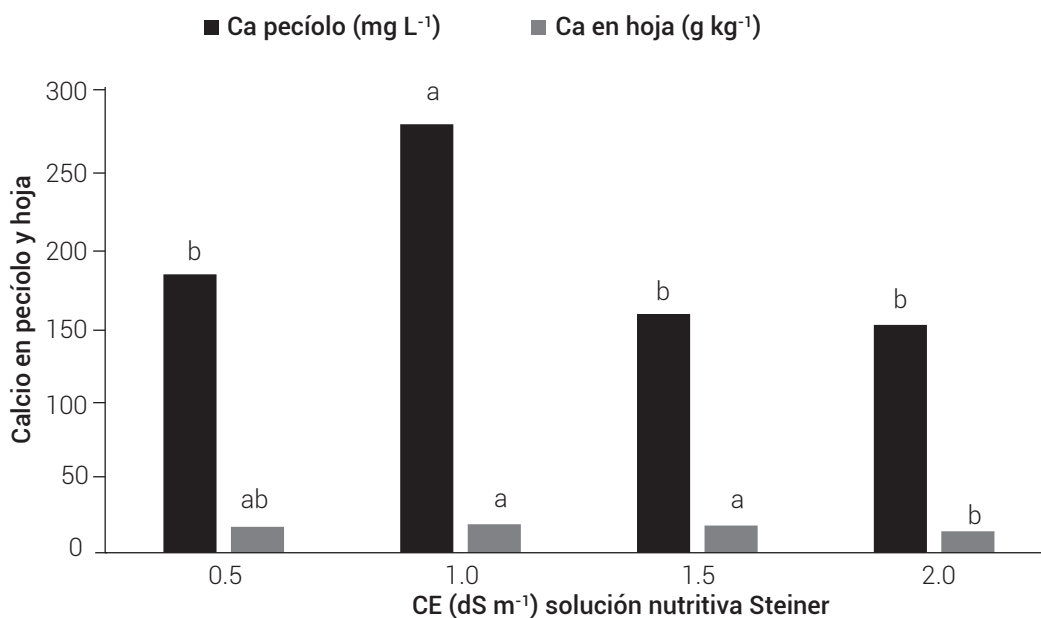


Figura 5. Influencia de la conductividad eléctrica sobre la concentración de Ca en extracto celular de peciolo (ECP) y concentración Ca en tejido de hoja de plantas de kale desarrolladas en hidroponía e invernadero. Significancia P ≤ 0.05 DSH de Tukey en cada serie.

% mayor que la encontrada por Calderon y Mortley (2021), además de que no encontraron efecto de proporciones crecientes de vermicompost en la concentración de Fe en hojas de kale. El Zn y B no fueron modificados por la CE de la solución nutritiva (Cuadro 5). Thavarajah *et al.* (2016) reportaron concentraciones de Fe, Cu y Mn en kale por debajo de lo reportado en la presente investigación, al igual que Calderon y Martley (2021) reportaron para Fe.

CONCLUSIONES

En las condiciones de hidroponía con perlita y bajo invernadero en otoño, se concluye que el incremento de la conductividad eléctrica hasta 2.0 dS m⁻¹ mejora el desarrollo y rendimiento de kale; asimismo, incrementa la concentración de nitrógeno total, nitratos y lecturas SPAD y disminuye la concentración de calcio, tanto en ECP como en hoja. La hidroponía es una alternativa viable para la producción el kale, ya que incrementa el rendimiento y

Cuadro 5. Efecto de la CE de la solución nutritiva sobre la concentración de Fe, Cu, Zn, Mn y B en plantas de kale (*Brassica oleracea*) de 54 ddt producidas en perlita en invernadero.

C E (dS m ⁻¹)	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	(mg kg ⁻¹)				
0.5	157.916 b	10.685 b	28.230 a	71.869 a	45.073 a
1.0	170.477 a	16.865 a	31.180 a	67.451 ab	47.571 a
1.5	168.035 ab	11.476 b	28.883 a	70.060 a	47.655 a
2.0	163.940 ab	11.454 b	27.546 a	56.374 b	51.980 a
R ²	0.619	0.748	0.159	0.706	0.494
CV (%)	2.769	13.909	13.283	7.17	6.41
DSH 0.05	11.953	4.590	3.18	12.447	8.06

R²: coeficiente de determinación, CV: coeficiente de variación, DSH: diferencia significativa honesta de Tukey. Medias con letras diferentes en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey, P ≤ 0.05).

la concentración nutrimental en tejido; sin embargo, se debe vigilar la concentración de nitrato debido a que esta hortaliza se consume en fresco.

BIBLIOGRAFÍA

- Alanoca J., C. Aruhsua, L. Bustillos, D. Capiona, R. Choquehuanca, A. Helguero y E. Tinco M. (2021) Evaluación inicial de la col rizada (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) en tres diferentes sustratos en macetas. *Revista Estudiantil AGRO-VET* 5:36-41.
- Arnon D. I. (1938) Microelements in culture solutions experiments with higher plants. *American Journal of Botany* 25:322-325, <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1938.tb09223.x>
- Beltrano J. y D. O. Gimenez (2015) Cultivo en Hidroponía. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de la Plata. Buenos Aires, Argentina. 179 p.
- Benavides-Mendoza A., K. de Alba-Romenus and N. Francisco-Francisco (2021) Relation between soil solution composition and petiole cellular extract of crops in western Mexico. *Terra Latinoamericana* 39:e873, <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.873>
- Calderon E. and D. G. Mortley (2021) Vermicompost soil amendment influences yield, growth responses and nutritional value of kale (*Brassica oleracea* Acephala group), radish (*Raphanus sativus*) and tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Soil Science and Environmental Management* 12:86-93, <https://doi.org/10.5897/JSEM2021.0873>
- Cardona W. A., J. S. Gutiérrez D., O. I. Monsalve C. y C. R. Bonilla C. (2018) Efecto de la salinidad sobre el crecimiento vegetativo de plantas de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) micorrizadas y sin micorrizar. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 11:253-266, <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.6109>
- Casajús V., M. Perini, R. Ramos, R., A. Barriga L., C. Salinas, E. Sánchez, ... and G. Martínez (2021) Harvesting at the end of the day extends postharvest life of kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*). *Scientia Horticulturae* 276:109757, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109757>
- Cataldo D. A., M. Maroon, L. E. Schrader and V. L. Youngs (1975) Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 6:71-80, <https://doi.org/10.1080/00103627509366547>
- Correa B. A., S. Elgueta P. y S. Moyano A. (2017) Estado de la inocuidad asociado a la producción de hortalizas de hoja. Publicación 348. Centro Regional de Investigación La Platina, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile. pp:19-36.
- Cruz C. E., M. Sandoval V., V. H. Volke-Haller, A. Can C. y J. Sánchez-Escudero (2012) Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:1361-1373, <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v3i7.1343>
- European Commission (2011) Amending regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for nitrates in food stuffs. Commission regulation (EC) No 1258/2011 of 2 December 2011. *Official Journal of the European Union* 320:15-17.
- Fahey J. W. (2016) Brassica: characteristics and properties. In: *Encyclopedia of Food and Health*. B. Caballero, P. M. Finglas and F. Toldrá (eds.). Academic Press. Cambridge, Massachusetts, USA. pp:469-477, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00083-0>
- Hilaquita T. R. (2018) Evaluación de dos variedades de col rizada (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) bajo niveles de abonamiento foliar orgánico aeróbico. *Apthapi* 3:667-678.
- Juárez-Rosete C. R., J. A. Aguilar-Castillo, C. A. Aburto-González y G. Alejo-Santiago (2019) Producción de biomasa, requerimiento nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio, y concentración de la solución nutritiva en orégano. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 25:17-28, <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.02.006>
- Lee J. Y., A. Rahman, J. Behrens, B. Brennan, B. Ham, H. S. Kim, ... and M. J. Kwon (2018) Nutrient removal from hydroponic wastewater by a microbial consortium and a culture of *Paracercomonas saepeantans*. *New Biotechnology* 41:15-24, <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.11.003>
- Limantara L., M. Dettling, R. Indrawati, Indriatmoko and T. H. P. Brotosudarmo (2015) Analysis on the chlorophyll content of commercial green leafy vegetables. *Procedia Chemistry* 14:225-231, <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.03.032>
- Mendoza-Tafolla R. O., P. Juárez-Lopez, R. E. Ontiveros-Capurata, M. Sandoval-Villa, I. Alia-Tejagal and G. Alejo-Santiago (2019) Estimating nitrogen and chlorophyll status of romaine lettuce using SPAD and at LEAF readings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 47:751-756, <https://doi.org/10.15835/nbha47311589>
- Neugart S., S. Baldermann, F. S. Hanschen, R. Klopsch, M. Wiesner-Reinhold and M. Schreiner (2018) The intrinsic quality of brassicaceous vegetables: how secondary plant metabolites are affected by genetic, environmental, and agronomic factors. *Scientia Horticulturae* 233:460-478, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.038>
- Oliveira S. M., I. N. Ramos, T. R. S. Brandão and C. L. M. Silva (2015) Effect of air-drying temperature on the quality and bioactive characteristics of dried galega kale (*Brassica oleracea* L. var. *Acephala*). *Journal of Food Processing and Preservation* 39:2485-2496 <https://doi.org/10.1111/jfpp.12498>
- Reyes-Munquía A., L. Rosas-Trejo, R. G. Campos-Montiel, A. Quintero-Lira y M. L. Carrillo-Inungaray (2017) Propiedades antioxidantes del extracto acuoso de *Brassica oleracea* var. *sabellica*. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales* 3:30-34.
- Salachna P., R. Piechocki and A. Byczyńska (2017) Plant growth of curly

- kale under salinity stress. *Journal of Ecological Engineering* 18:119-124, <https://doi.org/10.12911/22998993/66247>
- Šamec, D., J. Piljac-Žegarac, M. Bogović, K. Habjanić and J. Grúz (2011) Antioxidant potency of white (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) and Chinese (*Brassica rapa* L. var. *pekinensis* (Lour.)) cabbage: the influence of development stage, cultivar choice and seed selection. *Scientia Horticulturae* 128:78-83, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.01.009>
- Šamec D., B. Urlić and B. Salopek-Sondi (2019) Kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) as a superfood: review of the scientific evidence behind the statement. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 59:2411-2422, [HTTPS://DOI.ORG/10.1080/10408398.2018.1454400](https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1454400)
- SAS Institute (2010) SAS/STAT® 9.1 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 5121 p.
- Sat C., C. A. Loetchai, S. Yadrung, R. Watcharawit, F. B. Matta and P. Wikanya (2017) Efficiency of biogas effluent from Durian shells and seeds combined with chicken manure on soil chemical properties, growth and nutrient concentrations of Chinese kale (*Brassica oleracea*). *International Journal of Agricultural Technology* 13:2651-2660.
- Serio F., A. Elia, P. Santamaria and G. R. Rodriguez (2001) Lettuce growth, yield and nitrate content as affected by electrical conductivity of nutrient solution. *Acta Horticulturae* 559:563-568, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.559.82>
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2020) Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Agosto 2021).
- Sikora E. and I. Bodziarczyk (2012) Composition and antioxidant activity of kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) raw and cooked. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria* 11:239-248.
- Steiner A. A. (1984) The universal nutrient solution. Sixth International Congress on Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands. pp:633-650.
- Thavarajaha D., P. Thavarajaha, A. Abare, S. Basnagala, C. Lacher, P. Smith and G. F. Combs Jr. (2016) Mineral micronutrient and prebiotic carbohydrate profiles of USA-grown Kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*). *Journal of Food Composition and Analysis* 52:9-15, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46847-9>
- USDA, United States Department of Agriculture (2015) FoodData Central. US Department of Agriculture. Washington, D. C., USA <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/?query=kale> (August 2021).
- Zheng Y. J., Y. T. Zhang, H. C. Liu, Y. M. Li, Y. L. Liu, Y. W. Hao and B. F. Lei (2018) Supplemental blue light increases growth and quality of greenhouse pak choi depending on cultivar and supplemental light intensity. *Journal of Integrative Agriculture* 17:2245-2256, [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62064-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62064-7)
- Zhu Y., G. Li, H. Liu, G. Sun, R. Chen and S. Song (2018) Effects of partial replacement of nitrate with different nitrogen forms on the yield, quality and nitrate content of Chinese kale. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 49:1384-1393, <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1464179>