Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4194

Artículo

Nutrición de pepino con fertilizantes líquidos quelatados

Dante Nayib Inzunza-García [1]
Carlos Alfonso López-Orona [1]
Lorena Molina-Cárdenas [1]
Felipe Ayala-Tafoya [1]
José Ángel Martínez-Gallardo [1]
Guadalupe Alfonso López-Urquídez [1, §]

1 Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Sinaloa. Carretera Culiacán-Eldorado km 17.5, Culiacán, Sinaloa, México. CP. 80398. Tel. 667 8461084. (dantenayib@hotmail.com; clopezorona@uas.edu.mx; lorenamolina@uas.edu.mx; tafoya@uas.edu.mx; jose-angel-13@hotmail.com).

Autor para correspondencia: alfonsolopezurquidez@uas.edu.mx

Resumen

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es un cultivo muy importante en México y requiere de grandes cantidades de nutrientes para su desarrollo. Para lo cual se emplean intensivamente fertilizantes sintéticos. Sin embargo, gran parte de los nutrientes que estos tienen, no son asimilados por las plantas, lo que incrementa la contaminación ambiental. Una alternativa es el uso de quelatos en los fertilizantes. Por ello se evaluó el efecto de fertilizantes líquidos quelatados de calcio, potasio y magnesio en rendimiento y calidad de frutos en el cultivo de pepino, aplicados en fertirriego en condiciones de malla sombra en Culiacán, Sinaloa, durante el ciclo otoño invierno 2021-2022. El diseño experimental de parcelas apareadas en pares homogéneos con dos tratamientos, uno con fertilizantes quelatados y un testigo con la fertilización tradicional que aplica el productor cooperante, con cinco repeticiones. La cantidad de plantas evaluadas fue determinada mediante un muestreo aleatorio simple, obteniéndose 113 plantas por tratamiento, las cuales fueron seleccionadas aleatoriamente en dos pasos: primero se seleccionaron los surcos, posteriormente las plantas correspondientes a cada surco. Las variables de respuesta fueron calidad del fruto y rendimiento. Se encontró que con fertilizantes quelatados se incrementó la concentración de potasio, calcio y magnesio en tallos, hojas y frutos, lo que condujo a la obtención de frutos con mayor firmeza, longitud y por tanto, mayor rendimiento. Por ello se concluye que la aplicación de Ca, K y Mg quelatados eficientiza el uso de fertilizantes e incrementa el rendimiento de pepino.

Palabras clave:

firmeza de fruto, grados brix, quelatos, traslocación de nutrientes.



License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4194

Introducción

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es un cultivo de gran importancia en México (FAOSTAT, 2021). Esta hortaliza es de rápido crecimiento y desarrollo, por lo que demanda de gran cantidad de nutrientes (Barraza, 2018; Valenzuela, 2025), los cuales son suministrados mediante fertilizantes químicos y sintéticos, y gran parte de ellos no son asimilados por las plantas, lo que genera contaminación ambiental (Chittora *et al*., 2023). Además, varios de los fertilizantes no son renovables (Babcock-Jackson *et al*., 2023) con alta demanda en la agricultura intensiva.

Los fertilizantes deben utilizarse eficientemente, para ello se requiere: a) material genético adecuados; (Rueda *et al*., 2025); b) modificar las características fisicoquímicas del suelo y de la interacción de los nutrientes aplicados (Yang *et al*., 2024); y c). eficientar el trasporte de los nutrientes dentro de la planta usando quelatos (Fu *et al*., 2026). Aunque también pueden emplearse en algunos macronutrientes, como el calcio, magnesio y potasio.

De acuerdo con el comportamiento bioquímico y su función fisiológica, el Ca, Mg y K forman parte de un grupo de nutrientes, que pueden ser quelatados loas cuales son facilmente absorbidos en forma de iones de la solución del suelo (Mengel y Kirkby, 2000). La presente investigación se concentra en este grupo de nutrientes. Ya que estos iones, al estar encapsulados por la molécula quelante, no tienen reacciones químicas adversas con otros elementos del suelo, por ejemplo, con el fósforo y son trasladados con mayor facilidad (Manik *et al*., 2023), generando sinergias con la materia orgánica, haciendo más eficiente el uso de fertilizantes (Fu *et al*., 2026).

Las fuentes más comunes de Ca, Mg y K son demasiado solubles y pueden perderse más fácilmente que los fertilizantes quelatados, por lo que, si se opta por estos últimos, la fertilización puede ser más eficiente ya que esto permite que estén disponibles por más tiempo en la planta (Areche *et al*., 2023). Por ello, en la presente investigación se planeó como objetivo evaluar la eficiencia de los quelatos en la asimilación de K, Ca y Mg en plantas de pepino y su efecto en la calidad de frutos y el rendimiento del cultivo, bajo la hipótesis de que los fertilizantes quelatados modificarán la concentración de K, Ca y Mg en los órganos de las plantas e influirán en el rendimiento del cultivo.

Materiales y métodos

Área de estudio y establecimiento del ensayo

El estudio se realizó en Culiacán, Sinaloa, durante el ciclo otoño invierno de 2021-2022, con un productor cooperante en la empresa agrícola El Porvenir, ubicada a un costado de la carretera Villa Benito Juárez-Navolato, con coordenadas 24.654° latitud norte, 107.506° longitud oeste, altitud de 20 m. El clima del lugar es semiárido, muy cálido y con lluvias en verano. El suelo es franco limoso de acuerdo con el triángulo de texturas de USDA (Moreno-Maroto y Alonso-Azcárate, 2022).

El ensayo se estableció bajo condiciones de malla sombra con un diseño experimental de parcelas apareadas en pares homogéneos, con dos tratamientos con cinco repeticiones, Cada una de las culaes constó de cinco surcos con dos hileras de plantas. La longitud de la unidad experimental fue de 10 m, con un aproximado de 325 plantas unidad experimental.

La distribución de las repeticiones fue sistemática cada 20 m a partir de los 10 m del borde del surco, con una separación de 5 m entre repetición. Cada tratamiento estuvo separado por dos surcos en una nave de 5 ha. Un tratamiento fue la aplicación de fertilizantes sintéticos convencionales (TFC) utilizados por el productor cooperante.

El tratamiento dos constó de la misma fertilización complementado con fertilizantes líquidos quelatados (TFQ). Se utilizó malla sombra antiáfidos de color blanco, con un tamaño de abertura de 200 micras, 20% de sombra y una densidad de 130 g m^{-1}.

Las camas de cultivo fueron acolchadas con plástico color negro. Se utilizó el híbrido de pepino tipo slicer americano de nombre ‘Zeus’ de la casa comercial ‘Semillas Fitó’. Las plantas se colocaron

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4194

a doble hilera y en zigzag a una distancia de 30 cm entre ellas obteniendo aproximadamente 40 000 plantas ha^{-1}. Se evaluaron dos tratamientos de fertilización, T1) fertilizantes quelatados, T2) fertilización convencional (Cuadro 1 y Cuadro 2).

Cuadro 1. Fuente y dosis (kg ha^{-1}) de fertilizantes por etapas aplicados en el tratamieneto 1.

Fuente	Primera etapa	Segunda etapa	Tercera etapa
$CaNO_3$	6	12	12
Calcio quelatado	1	2	2.5
KNO_3	4	8	8
KCl	2.5	5	5
Potasio quelatado	0.79	1.6	2
$MgSO_4$	7	14	14
Magnesio quelatado	0.78	1.6	2
Fosfonitrato	5.7	5.7	5.7
MicroMix quelatado	0.35	0.35	0.3
Ácido fosfórico	-	-	0.5
Ácido sulfúrico	-	-	0.3

Cuadro 2. Fuente y dosis (kg ha^{-1}) de fertilizantes por etapas aplicados en tratamiento 2.

Fuente	Primera etapa	Segunda etapa	Tercera etapa
$CaNO_3$	7	14	24
KNO_3	4	8	16
KCl	2.5	5	10
$MgSO_4$	7	14	28
Fosfonitrato	5.7	5.7	5.7
MicroMix	0.3	0.35	0.35

La fertilización se realizó en tres etapas: a) establecimiento y desarrollo vegetativo; b) floración y cuajado de fruto; y c) floración y cosecha. Se utilizó el sistema de riego por goteo, colocando dos cintas por cama de cultivo. Las necesidades de agua se determinaron con base en sensores de humedad a 15 y 30 cm de profundidad, las lecturas fueron tomadas mediante el medidor digital Watermark. Al tener la presión a 35 kPa se aplicaba el riego para llegar a los 15 kPa. Esto implicó una frecuencia diaria de riego durante todo el ciclo del cultivo.

Diseño de muestreo

Para determinar el tamaño de muestra por tratamiento, se realizó un muestreo preliminar que permitió obtener la desviación estándar. Para ello, se midió la altura de 100 plantas al azar por cada nave una semana después del trasplante. Posteriormente, por medio de la fórmula siguiente (Cochran, 1998) se calculó el tamaño de muestra definitivo para cada tratamiento.

$$n \cong \frac{2\left(Z_\alpha + Z_\beta\right)^2 S^2}{d^2}$$

Z_α= 1.96; Z_β = 1.68; S= desviación estándar; d= margen de error (7.5 %).

Con el nivel de confianza y el margen de error establecido, se definió el tamaño de muestra de plantas a muestrear por tratamiento, las cuales fueron seleccionadas de manera aleatoria. Primero se definieron los surcos y posteriormente, en cada uno, se obtuvo aleatoriamente la distancia a la que se encontrarían las plantas en cada surco.

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4194

En seis periodos se midió la concentración de K, Ca y Mg en hojas, frutos y tallo. El K, se determinó mediante extracción con acetato de amonio por fotometría de llama y el Ca y Mg se midieron mediante determinación colorimétrica en un espectrofotómetro de absorción atómica (Varian SpectrAA 220) (AOAC, 2006).

Con los datos obtenidos se elaboraron curvas de absorción de estos. Además, se evaluó la concentración de estos nutrientes en hojas en tres etapas de madurez, viejas, intermedias y jóvenes. También se evaluó la calidad mediante las variables peso, longitud, firmeza y concentración de Brix en el fruto de pepino.

El contenido de sólidos solubles de los frutos de pepino se midió con un refractómetro digital ANA Hi96801, para ello se tomaron muestras cortando trozos del fruto y exprimiéndolos en el refractómetro cubriendo totalmente la superficie de medida con el jugo de pepino. Los datos se obtuvieron en 18 eventos de cosecha, durante el ciclo de producción del cultivo, el cual duró 136 días después del trasplante.

Análisis estadístico

El análisis de la concentración de nutrientes por órganos de la planta, se realizó un análisis de la varianza. Previamente, se comprobó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro (Shapiro y Wilk, 1965) y homocedasticidad con la prueba de Bartlett (Zar, 2010). El método empleado para la comparación de las medias fue Tukey (p= 0.05). Se utilizó el paquete estadístico Xlstat (Addinsoft, 2023).

Para estimar la calidad del fruto, estos fueron clasificados por categorías de calidad para su comercialización. Las categorías con base en peso son las siguientes: Extragrande= >400 g; grande= 300 a 400 g; mediano= 200 a 300 g; pequeño= 100 a 200 g. Las categorías de longitud fueron las siguientes: largo= >25.5 cm; superlecto= 24 a 25.5 cm; selecto= 22 a 24; chico= 20 a 22 cm. Con en base en el peso y longitud.

Para el análisis de la proporción de categorías se aplicó la prueba Z, con base en la siguiente fórmula:

$$Z = \frac{X_i - \mu}{\sigma}$$

Donde: Z= estadístico de Z; X= valor de la categoría; μ= media poblacional; #= desviación estándar.

Una vez obtenidos los valores de cada categoría se construyeron tablas de contingencia colocando en el eje vertical las categorías y en el eje horizontal los dos tratamientos. Con ello se aplicó la prueba chi cuadrada para ver la independencia de las categorías con respecto a los tratamientos y la prueba exacta de Fisher dónde estaban las diferencias.

También se calculó la tasa porcentual de variación (TPV) del valor obtenido en el tratamiento con fertilización convencional (TFC) con respecto al tratamiento con fertilizantes quelatados (TFQ) aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{TPV} = \frac{\text{Vq} - \text{Vc}}{\text{Vc}} \times 100$$

Donde: TPV= tasa porcentual de variación; Vq= valor obtenido en TPQ; Vc= valor obtenido TFC.

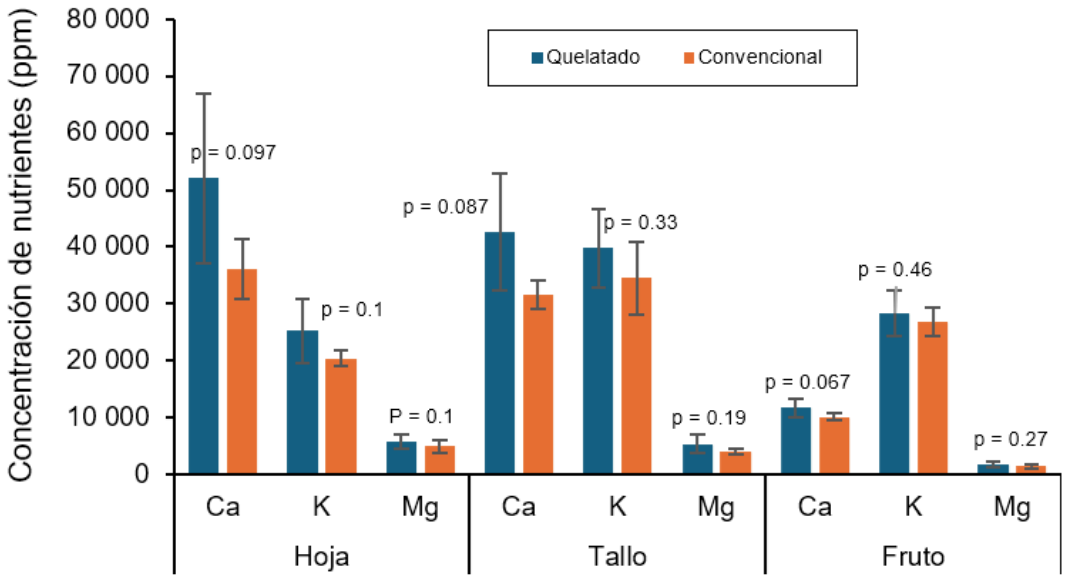
Resultados y discusión

Concentración de K, Ca y Mg por órgano en la planta de pepino

Se observó que con el TFQ se tuvo mayor concentración de Ca, K y Mg al finalizar el ciclo de producción de pepino en los órganos de la planta evaluados. Una mayor concentración de calcio se encontró en el TFQ finalizar el ciclo productivo, mientras que una menor concentración fue detectada en frutos (Figura 1).

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas
DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4194

Figura 1. Concentración de nutrientes por órgano ± intervalo de confianza (90%); p= significancia estadística.



Con respecto al Ca, Navarro-León *et al*. (2022), indican que los niveles de este elemento en hojas (intermedias y jóvenes) en el estudio que ellos realizaron también fueron mayores en los tratamientos con quelatos que en los no quelatados. De igual manera, los resultados obtenidos coinciden con Souri (2016), quien encontró que la aplicación de aminoácidos y fertilizantes aminoquelatados influyen positivamente en el crecimiento y la concentración de minerales en las hojas, mejorando los niveles de Ca, K y Mg.

En el tallo, la mayor concentración de nutrientes ocurrió en las plantas del TFQ (Figura 1). En esta parte de la planta por ser verdes, tamién contienen clorofila, ocurren los procesos de fotosíntesis y de transpiración, por lo cual el Ca es trasladado directamente por el xilema a este órgano de la planta (Díaz *et al*., 2007).

Con respecto al magnesio este es un elemento que forma parte de la clorofila razón por la cual se requiere de magnesio (Ishfaq, 2022) y al ser facilitado su traslado por los quelatos, se tiene mayor concentración. Esto coincide con Abbas *et al*. (2020), quienes encontraron mayor concentración de Mg cuando este elemento lo aplicaron quelatado, obteniendo mayor vigor, longitud y diámetro en los tallos. Esto también coincide con Souri (2016), quien señala que con la aplicación de fertilizantes quelatados mejoró la concentración de calcio en los tallos.

Con respecto a concentración de nutrientes en frutos de pepino, el Ca es el elemento con diferencia entre los tratamientos, aunque con un valor p= 0.067 (Figura 1), siendo en los frutos del TFQ donde se obtuvo la mayor concentración. Al respecto, Navarro-León *et al*. (2022), encontraron mayor concentración de Ca en frutos de pimiento, viéndose reflejado en el peso, longitud, calibre, firmeza del fruto y rendimiento.

La mayor concentración de calcio, potasio y magnesio en los distintos órganos de la planta de pepino tratada con fertilizantes quelatados, se debe a que estos minerales tuvieron mayor movilidad y se asimilaron con mayor facilidad, porque los quelatos son muy estables y son capaces de proteger al ion metálico del entorno (Areche *et al*., 2023), evitando reacciones químicas adversas con otros elementos (Manik *et al*., 2023), generando sinergias con la materia orgánica, haciendo más eficiente el uso de fertilizantes (Fu *et al*., 2026).

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4194

Absorción de nutrientes por edad de la hoja

Al realizarse el análisis de la concentración de calcio en las hojas clasificadas por edad, al finalizar el ciclo de producción de pepino, se observó un comportamiento similar en ambos tratamientos, encontrando mayor concentración de este elemento en el TFQ encontrándose mayor concentración en hojas viejas que en las hojas intermedias y nuevas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Promedio de concentración de nutrientes en ppm ± intervalo de confianza, por tratamiento según la etapa de madurez de la hoja.

Concepto	Categoría	Ca	K	Mg
Madurez	H-N	17804 ±7333a	21393 ±2452b	2897 ±1802a
	H-I	36866 ±7333b	12879 ±2452a	4488 ±1802a
	H-V	78811 ±7333c	10886 ±2452a	11678 ±1802b
Tratamiento	TFC	39395 ±5987a	12952 ±2002a	5347 ±1471a
	TFQ	495923 ±5987b	17153 ±2002b	7361 ±1471a
Interacción madurez-tratamiento	N-TFC	14398 ±10371a	18904 ±3467bc	2734 ±2548a
	N-TFQ	21208 ±10371ab	23882 ±3467c	3060 ±2548a
	I-TFC	33191 ±10371ab	9943 ±3467a	4277 ±2548ab
	I-TFQ	40542 ±10371b	15815 ±3467ab	4699 ±2548ab
	V-TFC	70594 ±10371c	10009 ±3467a	9031 ±2548bc
	V-TFQ	87028 ±10371c	11762 ±3467ab	14325 ±2548c

H-N= hoja nueva; H-I= hoja intermedia; H-V= hoja vieja; TFC= convencional; TFQ= quelatados; N-TFC= hoja nueva con convencional; N-TFQ= hoja nueva con quelatos; I-TFC= hoja intermedia con convencional; V-TFC= hoja vieja con convencional; V-TFQ= hoja vieja con quelatos. Medias con diferente letra en las columnas indican diferencia significativa (Tukey, $p \leq 0.05$).

La mayor concentración de Ca en las hojas viejas se debe a que una de las características del calcio es su inmovilidad en el floema, lo que implica una traslocación muy limitada de este elemento desde las hojas viejas hacia las jóvenes, brotes y frutos (Marschner, 2012). Por el contrario, las altas concentraciones de Ca en las hojas en el TFQ, se debió a que estas fuentes incrementan la concentración de nutrientes en órganos de las plantas (Souri, 2016).

El potasio se concentró en mayor cantidad en las hojas nuevas en ambos tratamientos. Esto se debe a que el K es un elemento en constante movimiento dentro de la planta y es traslocado desde las hojas viejas a las jóvenes ya estas últimas son metabólicamente más activas (Singh, 2021). También, Cochrane y Cochrane (2009) indican que cuando hay deficiencia de potasio en las hojas jóvenes, ocurre la traslocación de este elemento desde las hojas viejas.

Haciendo la comparación entre tratamientos, la concentración de K fue mayor en el TFQ (Cuadro 3), debido a que los quelatos neutralizan la carga iónica del este elemento, facilitándose su traslado hacia los diferentes órganos de la planta (Sardans y Peñuelas, 2021). Esta afirmación se refuerza con el análisis de la interacción tratamiento y madurez de las hojas, ya que se encontró mayor concentración de este elemento en las hojas más nuevas del TFQ, mientras que, en las plantas del TFC, se tuvo menor concentración de este elemento en las hojas viejas e intermedias.

En los tres niveles de maduración de las hojas, se concentró más potasio en los TFQ; por ejemplo, en las hojas viejas del TFQ, la concentración fue de 11 762 mg L^{-1} y en el TFC, la concentración fue de 10 009. Aquí pudo ocurrir que en este último caso se dio mayor translocación hacia las hojas jóvenes, ya que también se tuvo la menor concentración de este elemento.

La concentración de magnesio fue mayor en las hojas más viejas del TFQ, mientras que en las hojas más nuevas de ambos tratamientos hubo menor concentración de este elemento (Cuadro 3).

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4194

En parte este resultado puede explicarse por la razón de que este elemento forma parte estructura de la clorofila, estando unido al cloroplasto, por ello la traslocación de las hojas viejas es más difícil que el potasio, aunado a ello, las hojas viejas han tenido más tiempo para acumular dicho elemento en sus células.

También puede ocurrir que en la interacción Mg y K exista un desbalance por exceso de este último y se dificulte su transporte hacia las hojas jóvenes (Xie *et al*., 2021).

Calidad del fruto

Cantidad y peso de frutos

En la mayoría de las fechas de corte, los frutos tuvieron mayor peso en el tratamiento con fertilizantes quelatados. Con respecto a las categorías, en extragrande y grande, en el tratamiento con fertilizantes quelatados, se tuvo una mayor cantidad de frutos con una tasa porcentual de variación (TPV.) de 17.1 y 4.6% respectivamente (Cuadro 4). Por el contrario, el TFC, se tuvo una mayor producción de frutos medianos y medianos y pequeños.

Cuadro 4. Distribución de los frutos de pepino de acuerdo con clasificación de calidad para el mercado de acuerdo con su peso.

Categoría	Peso (g)	Quelatados		Convencional		p	TPV
		(%)	Cantidad	(%)	Cantidad		
Extragrande	>400	6.62	44	5.9	38	0.65	17.1
Grande	300 a 400	88.46	588	88.29	562	0.93	4.6
Mediano	200 a 300	4.91	33	5.8	37	0.54	-11.6
Pequeño	100 a 200	0	0	0	0	-	0
Total		100	665	100	637	-	4.4

p= significancia estadística mediante la prueba exacta de Fisher; TPV= tasa porcentual de variación.

Longitud del fruto

En el TFQ se desarrollaron más frutos de las categorías largos y superselectos. Con una TPV de 155.5 y 36.1% con respecto a los obtenidos en el TFC (Cuadro 5). Por el contrario, en este último tratamiento se desarrollaron los frutos con menor tamaño, ya que en la categoría selecto y chico, se tuvo una TPV de -18.1 y 47.6% con respecto al tratamiento con quelatados.

Cuadro 5. Distribución de los frutos de pepino con su clasificación de calidad para el mercado de acuerdo con su longitud.

Categoría	Longitud (cm)	Quelatados		Convencional		p	TPV
		(%)	Cantidad	(%)	Cantidad		
Largo	>25.5	6.79	45	2.78	18	0.001	155.5
Superselecto	24 a 25.5	45.68	304	35.05	223	<0.0001	36.1
Selecto	22 a 24	45.28	301	57.69	367	<0.0001	-18.1
Chico	20 a 22	2.25	15	4.49	29	0.031	-47.6
Total		100	665	100	637	-	4.4

p= significancia estadística mediante la prueba exacta de Fisher; TPV= tasa porcentual de variación.

Como consecuencia de mayor peso del fruto, se obtuvo más rendimiento en el tratamiento con fertilizantes quelatados. Al respecto, Liu *et al*. (2021) obtuvieron mejores rendimientos en sus cultivos con la aplicación de fertilizantes quelatados, además incrementó la calidad y concentración de nutrientes en frutos. Una razón de ello es que los aminoquelatos favorecen la absorción de nutrientes, incrementando el crecimiento y rendimiento de las plantas (Souri, 2016). Por ejemplo,

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4194

el potasio contribuyó en el desarrollo de la planta, participando en el ajuste osmótico, apertura y cierre de los estomas y activación enzimática (Ahmad *et al*., 2018).

La mayor cantidad de frutos, el mayor peso y longitud de los frutos en el tratamiento con quelatos se refleja en mayor rendimiento del cultivo, ya que las plantas del TFQ, tuvieron un rendimiento promedio de 5.9 kg, mientras que en el TFC, el rendimiento fue de 5.4 kg (Cuadro 6).

Cuadro 6. Comparación del rendimiento de fruto por tratamiento.

Tratamiento	kg planta^{-1}	Desviación estándar
TFC	5.4	0.525
TFQ	5.9	0.498

Esto coincide con los resultados de Navarro-León *et al*. (2022), quienes reportaron mayor rendimiento y mejor calidad de frutos de pimiento en los tratamientos en los que utilizó quelatos. De la misma manera, nuestros resultados coinciden con Kim *et al*. (2013) y con Liu *et al*. (2021) quienes obtuvieron frutos de pepino de mayor peso en el tratamiento con quelatos, aumentando la productividad del cultivo y mejorando la calidad.

Firmeza y concentración de solidos solubles en fruto de pepino

Los frutos desarrollados en plantas tratadas con quelatos tuvieron una firmeza promedio de 3.93 kg cm^{-1}, siendo superiores (p= 0.001) a los frutos desarrollados con el TFC que tuvieron una firmeza promedio de 3.78 kg cm^{-1} (Cuadro 7). El incremento de firmeza en los frutos de pepino tratados con quelatos pudo ser causado por la alta concentración de calcio que este tratamiento presentó en los frutos, coincidiendo con los resultados obtenidos por Navarro-León *et al*. (2022), quienes encontraron una mayor concentración de este elemento en frutos de pimiento, teniendo como resultado un incremento en la firmeza y calibre de frutos.

Cuadro 7. Firmeza y concentración de solidos solubles en frutos de pepino por tratamiento ± desviación estándar.

Tratamiento	Firmeza (kg cm^{-2})	Concentración de sólidos solubles (Brix)
TFC	3.78 ±0.074	1.22 ±0.134
TFQ	3.93 ±0.066	1.34 ±0.063
Valor p	0.004	0.001

La concentración de sólidos solubles también fue mayor (p= 0.003) en los frutos con fertilización quelatada con 1.34 Brix, mientras que los frutos con plantas desarrolladas en el TFC, los cuales tuvieron una concentración de 1.22 Brix. El aumento de la concentración de sólidos solubles en los frutos de pepino tratados con quelatos puede estar relacionado con la alta concentración de potasio que tuvieron estos frutos, en comparación con los que fueron sometidos a una fertilización convencional, coincidiendo con los resultados presentados por Alejo-Santiago *et al*. (2021), quienes encontraron una correlación positiva entre la concentración de potasio en la solución nutritiva aplicada y el contenido de sólidos solubles totales (Brix) en frutos de pepino.

Conclusiones

La aplicación de fertilizantes de Ca, K y Mg, quelatados provocan mayor concentración de estos elementos en tallo, hojas y fruto, principalmente Ca y K en hoja, debido a que se facilita su movilidad en la planta. Esto provoca que esta tenga mejor desarrollo de la planta de pepino que la obtenida con fertilización convencional, utilizada bajo condiciones de malla sombra, lo cual se refleja en mayor peso, longitud, mejor firmeza y más concentración de Brix en fruto, así como en mayor rendimiento del cultivo.

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4194

Agradecimientos

El primer autor agradece al Programa de Maestría Interinstitucional en Agricultura Protegida del Posgrado de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, realizar sus estudios en dicho programa. Asimismo, a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), antes Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada durante la realización de sus estudios de maestría.

Bibliografía

1 Abbass, J. A.; Al-Zurfi, M. T. H.; Hnoosh, L. J. H.; Ahmed-Abdul, A. L. I. and Abbas, A. A. 2020. Roles of spraying amino acids and chelated magnesium on growth, flowering and production of corms of *Fressia hybrida*. Scientific Papers. Series B. Horticulture. 64(2):281-285. https://horticulturejournal.usamv.ro/pdf/2020/issue-2/art39.pdf.

2 Addinsoft. 2023. XLSTAT statistical and data analysis solution. Versión 2023.3.1. Software. New York, USA. Luminero. https://www.xlstat.com.

3 Ahmad, Z.; Anjum, S.; Waraich, E. A.; Ayub, M. A.; Ahmad, T.; Tariq, R. M. S.; Ahmad, R. and Iqbal, M. A. 2018. Growth, physiology, and biochemical activities of plant responses with foliar potassium application under drought stress-a review. Journal of Plant Nutrition. 41(13):1734-1743. https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1459688.

4 AOAC International. 2006. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists international. 18va. Ed. The Association of Official Analytical Chemists. Arlington, EUA. 1038 p.

5 Alejo-Santiago, G.; Becerra-Venegas, S. G.; Bugarín-Montoya, R.; Aburto-González, C. A.; Quiñones-Aguilar, E. E.; Rincón-Enríquez, G. y Juárez-Rosete, C. R. 2021. Requerimiento nutrimental y nutrición potásica en pepino persa con poda a un solo tallo. Terra Latinoamericana.39:e906. https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.906.

6 Areche, F. O.; Aguilar, S. V.; More-López, J. M.; Castañeda-Chirre, E. T.; Sumarriva-Bustinza, L. A.; Pacovilca-Alejo, O. V.; Camposano-órdova, Y. F.; Montesinos, C. C. Z.; Quincho-Astete, J. A.; Quispe-Vidalon, D.; Brito-Mallqui, C. H.; Camayo-Lapa, B. F.; Malpartida-Yapias, R. J.; Corilla-Flores, D. D. and Salas-Contreras, W. H. 2023. Recent historical developments in chelated fertilizers as plant nutritional sources, their usage efficiency, and application methods. Brazilian Journal of Biology.83:e271055. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36995829/.

7 Babcock-Jackson, L.; Konovalova, T.; Krogman J. P.; Bird, R. and Lotti-Díaz L. 2023. Sustainable fertilizers: publication landscape on wastes as nutrient sources, wastewater treatment processes for nutrient recovery, biorefineries, and green ammonia synthesis. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 71(22):8265-8296. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c00454.

8 Barraza, F. V. 2018. Absorción de N, P, K, Ca y Mg en cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema hidropónico. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 11(2):343-350. http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.7346.

9 Chávez-Díaz, I. F.; Zelaya-Molina, L. X.; Cruz-Cárdenas, C. I.; Rojas Anaya, E.; Ruíz-Ramírez, S. y de los Santos-Villalobos, S. 2020. Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 11(6):1423-1436. https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2492.

10 Cochran, W. G. 1998. Técnicas de muestreo. Ed. Cecsa. México. 513 p.

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4194

11 Cochrane, T. T. and Cochrane, T. A. 2009. The vital role of potassium in the osmotic mechanism of stomata aperture modulation and its link with potassium deficiency. Plant Signaling and Behavior. 4(3):240-243. https://doi.org/10.4161/psb.4.3.7955.

12 Díaz, A.; Cayón, G. y Mira, J. J. 2007. Metabolismo del calcio y su relación con la 'mancha de madurez' del fruto de banano. Una revisión. Agronomía Colombiana. 25(2):280-287. https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/14131.

13 FAOSTAT. 2021. Statistical database food and agriculture organization of the United Nations. https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL.

14 Fu, K.; Sun, Y.; Li, Y. Yang, D. and Li, H. 2026. Revealing the key role of chelates in enhancing fertilizer performance: a review. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 26:221-248. https://doi.org/10.1007/s42729-025-02850-w.

15 Google maps. 2023. Carretera Villa Benito Juárez-Navolato, Sinaloa. https://www.google.com.mx/maps/@24.6536339,-107.5002564,15.11z?entry=ttu.

16 Ishfaq, M.; Wang, Y.; Yan, M.; Wang, Z.; Wu, L., Li, Ch. and Li, X. 2022. Physiological essence of magnesium in plants and its widespread deficiency in the farming system of China. Frontiers in Plant Science. 13:80224. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.802274.

17 Kim, M. S.; Kim, Y. H.; Kang, S. S.; Kong, M. S.; Hyun, B. K. and Lee, C. H. 2013. Effects of a chelate (DTPA) on cucumber growth and soil chemical properties in nutrient-accumulated soil of polytunnel greenhouse. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer. 46(6):665-672. https://doi.org/10.7745/kjssf.2013.46.6.665.

18 Liu, C.; Li, Y.; Huo, W.; Li, T.; Wei, Q.; Huang, M.; Geng, C. and Yan, D. 2021. Effect of sorbitol calcium chelate on yield and calcium nutrient absorption of peanuts. American Journal of Biochemistry and Biotechnology. 17(2):160-173. https://doi.org/10.3844/ajbbsp.2021.160.173.

19 Mengel, K. y Kirkby, E. A. 2000. Principios de nutrición vegetal. Melgar, R. J. Traducción 4$^{ta.}$ Ed. Instituto Internacional de la Potasa. Basilea, Suiza. 607 p.

20 Manik, A.; Honnappa, U. B. S.; Padmashree, S. S. and Jadhav, A. 2023. Function of chelators in nutrient supply to plants. Biological Forum - An International Journal. 15(10):309-313. https://www.researchtrend.net/bfij/pdf/Function-of-chelators-in-nutrient-supply-to-plants-Umesh-Babu-BS-59.pdf.

21 Moreno-Maroto, J. M. and Alonso-Azcárate, J. 2022. Evaluation of the USDA soil texture triangle through Atterberg limits and an alternative classification system, Applied Clay Science. 229:106689: 1-10. https://doi.org/10.1016/j.clay.2022.106689.

22 Navarro-León, E.; López-Moreno, F. J.; Fernández, M. A.; Maldonado, J. J.; Yánez, J.; Blasco, B. and Ruiz, J. M. 2022. A new calcium vectoring technology: concentration and distribution of ca and agronomic efficiency in pepper plants. Agronomy. 12(2):410. https://doi.org/10.3390/agronomy12020410.

23 Rueda-Luna, R.; Reyes-Matamoros, J.; Romero-Hernández, M.; Hernández-Loma, R. and Cruz-Montalvo, A. 2025. Influence of the K/Ca^{2++}Mg^{2+} ratio in the yield of zucchini (*Cucurbita pepo* L.). Revista de la Facultad de Agronomía. 42(1):e244215. https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v42.n1.XV.

24 Shapiro, S. S. and Wilk, M. B. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika. 52(3/4): 591-611. https://doi.org/10.2307/2333709.

25 Sardans, J. and Peñuelas, J. 2021. Potassium control of plant functions: ecological and agricultural implications. Plants. 10(2):1-31. https://doi.org/10.3390/plants10020419.

26 Singh, V. K.; Dwivedi, B. S.; Rathore, S. S.; Mishra, R. P.; Satyanarayana, T. and Majumdar, K. 2021. Timing potassium applications to synchronize with plant demand. In: Murrell, T. S.; Mikkelsen, R. L.; Sulewski, G.; Norton, R. and Thompson, M. L. (Eds). Improving

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4194

Potassium Recommendations for Agricultural Crops. Springer, Cham. 363-384 pp. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59197-7-13.

27 Souri, M. K. 2016. Aminochelate fertilizers: the new approach to the old problem; a review. Open Agriculture. 1(1):118-123 https://doi.org/10.1515/opag-2016-0016.

28 Xie, K.; Cakmak, I.; Wang, S.; Zhang, F. and Guo, S. 2021. Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants. The Crop Journal. 9(2):249-256. https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.10.005.

29 Yang, M.; Zhou, D.; Hang, H.; Chen, S.; Liu, H.; Su, J.; Lv, H.; Jia, H. and Zhao, G. 2024. Effects of balancing exchangeable cations Ca, Mg and K on the growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) based on increased soil cation exchange capacity. Agronomy. 14(3):629. https://doi.org/10.3390/agronomy14030629.

30 Zar, J. H. 2010. Biostatistical analysis. 5th. Ed. Prentice-Hall. New Jersey. 931 p.



Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v17i7.4194

Nutrición de pepino con fertilizantes líquidos quelatados

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 August 2026
Date accepted: 01 October 2026
Publication date: 07 November 2026
Publication date: 2026
Volume: 17
Issue: 7
Electronic Location Identifier: e4194
DOI: 10.29312/remexca.v17i7.4194

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

firmeza de fruto

grados brix

quelatos

traslocación de nutrientes

Counts

Figures: 1

Tables: 7

Equations: 3

References: 30