



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y EXTRACCIÓN
NUTRIMENTAL DE ARÚGULA (*Eruca sativa* Mill.)
CULTIVADA EN INVERNADERO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
DESARROLLO RURAL**

**P R E S E N T A
PAOLA ACASUSO ABE**

**DIRECTOR DE TESIS
Dr. Porfirio Juárez López**



Cuernavaca, Morelos. Febrero de 2022

**ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y EXTRACCIÓN NUTRIMENTAL DE ARÚGULA
(*Eruca sativa* Mill.) CULTIVADA EN INVERNADERO**

Tesis realizada por **Paola Acasuso Abe** bajo la dirección del Comité Revisor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL

COMITÉ REVISOR

Director de tesis: _____

Dr. Porfirio Juárez López

Revisor: _____

Dr. Cid Aguilar Carpio

Revisor: _____

Dr. Irán Alia Tejacal

Revisor: _____

Dr. Dante Vladimir Galindo García

Revisor: _____

Dr. Dagoberto Guillén Sánchez

DEDICATORIA

A mis padres por haber sembrado en mí su ejemplo de perseverancia, dedicación, esfuerzo y constancia.

A Javier, por tu infinita generosidad y comprensión durante estos dos años.

A mis hijos Arantza Luz y Javier Eduardo, mi mayor motivación para alcanzar esta meta.

A mis hermanos Zelma y José por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por bendecirme con la vida, por ser mi guía, mi apoyo, mi fortaleza y por inspirarme e iluminarme en todo momento.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para mis estudios de Maestría.

Al Dr. Porfirio Juárez López por su gran capacidad de orientación y dirección para la realización del presente trabajo de investigación, por transmitirme sus valiosos conocimientos y por su gran apoyo a lo largo de estos dos años de maestría.

A mi Comité Tutoral, a quienes agradezco el llevar a buen término este trabajo.

Al Dr. Cid Aguilar Carpio por su amable y valiosa orientación durante esta investigación.

Al Dr. Irán Alia Tejacal por la revisión y valiosas observaciones al presente trabajo.

Al Dr. Dante V. Galindo García por sus consejos y orientación académica.

Al Dr. Dagoberto Guillén Sánchez q.e.p.d. por su apoyo profesional y palabras de ánimo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
CAPÍTULO I	1
REVISIÓN DE LITERATURA	1
Generalidades del cultivo de arúgula (<i>Eruca sativa</i> Mill.).....	1
Condiciones ambientales: temperatura y humedad relativa	3
Rendimiento.....	3
Solución nutritiva de Steiner	4
Análisis de crecimiento	5
Extracción nutrimental.....	7
Objetivos.....	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos.....	8
Hipótesis.....	8
Hipótesis general.....	8
Hipótesis específicas	8
Literatura citada.....	9
CAPÍTULO II	14
ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE ARÚGULA (<i>Eruca sativa</i> Mill.) CULTIVADA EN INVERNADERO	14
Resumen	14
Abstract.....	15
Introducción	16

Materiales y métodos	17
Localización y material vegetal	17
Tratamientos	17
Diseño experimental	18
Variables evaluadas (medidas directas)	19
Cálculo de índices de crecimiento (medidas indirectas)	19
Análisis estadístico	20
Resultados y discusión	20
Condiciones ambientales del cultivo	20
Análisis de crecimiento	20
Área foliar	20
Duración de área foliar (DAF)	22
Peso de materia fresca	24
Tasa de asimilación neta (TAN)	25
Tasa absoluta de crecimiento (TAC)	26
Peso de materia seca	28
Conclusiones	30
Literatura citada	31
CAPÍTULO III	33
EXTRACCIÓN NUTRIMENTAL DE ARÚGULA (<i>Eruca sativa</i> Mill.) CULTIVADA EN INVERNADERO	33
Resumen	33
Abstract	34
Introducción	35
Materiales y métodos	36
Variables evaluadas	38

Concentración de macronutrientos	38
Extracción de macronutrientos	38
Índice de extracción de macronutrientos	39
Análisis estadístico	39
Resultados y discusión	39
Parámetros de crecimiento	39
Concentración de macronutrientos	40
Extracción de macronutrientos	41
Extracción acumulada de macronutrientos	42
Índice de extracción de macronutrientos	43
Conclusiones	44
Literatura citada.....	45
CAPÍTULO IV.....	48
CONCLUSIONES GENERALES.....	48

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química de las soluciones nutritivas empleadas en el cultivo de arúgula (<i>Eruca sativa</i> Mill.) Steiner (1984).	18
Cuadro 2. Índices de crecimiento utilizados en el cultivo de arúgula (adaptado de Barrera <i>et al.</i>, 2010).	19
Cuadro 3. Parámetros de crecimiento en arúgula (<i>Eruca sativa</i> Mill.) en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner a los 28 ddt.	30
Cuadro 4. Composición química de las soluciones nutritivas empleadas en el cultivo de arúgula (<i>Eruca sativa</i> Mill.)	37
Cuadro 5. Parámetros de crecimiento en arúgula (<i>Eruca sativa</i> Mill.) en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner a los 28 ddt.	39
Cuadro 6. Concentración de macronutrientes en arúgula (<i>Eruca sativa</i> Mill.) cultivada con solución Steiner a 75 % de concentración.	41
Cuadro 7. Extracción de macronutrientes en arúgula (<i>Eruca sativa</i> Mill.) cultivada con solución nutritiva de Steiner a 75 % de concentración.	41
Cuadro 8. Índice de extracción de macronutrientes en arúgula (<i>Eruca sativa</i> Mill.) cultivada con solución Steiner a 75 % de concentración.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área foliar del cultivo de arúgula (<i>Eruca sativa</i> Mill.) en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner.	21
Figura 2. Duración de área foliar del cultivo de arúgula (<i>Eruca sativa</i> Mill.) en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner.	22
Figura 3. Área foliar específica del cultivo de arúgula (<i>Eruca sativa</i> Mill.) en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner.	19
Figura 4. Peso de materia fresca del cultivo de arúgula (<i>Eruca sativa</i> Mill.) en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner.	25
Figura 5. Tasa de asimilación neta del cultivo de arúgula (<i>Eruca sativa</i> Mill.) en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner.	26
Figura 6. Tasa absoluta de crecimiento del cultivo de arúgula (<i>Eruca sativa</i> Mill.) en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner.	27
Figura 7. Peso de materia seca del cultivo de arúgula (<i>Eruca sativa</i> Mill.) en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner.	29
Figura 8. Extracción acumulada de macronutrientes en arúgula (<i>Eruca sativa</i> Mill.) en función de la solución nutritiva de Steiner a 75 % de concentración.	42

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

México es el principal proveedor de hortalizas en fresco de Estados Unidos de América. La producción de hortalizas es de las actividades agropecuarias más redituables, ya que la superficie agrícola en México corresponde a 19,853,518.74 ha, de las cuales las hortalizas ocupan una superficie de 2.7% nacional y aportan 16% del valor total de la producción (2007-2010). Los valores mencionados reflejan la importancia que tienen las hortalizas en la economía nacional (Almaguer-Vargas *et al.*, 2012).

La popularidad y demanda de las ensaladas a base de hojas tiernas de hortalizas que se consumen en fresco, llamados productos de cuarta gama o listo para comer, han mostrado un crecimiento continuo en la última década (Branimir *et al.*, 2017). Debido a la tendencia mundial de consumir alimentos sanos y de fácil preparación (Carrasco, 2011; Gutiérrez, 2017), estas hortalizas se han convertido en elemento central de una dieta saludable principalmente por su alto contenido en fibra, pero también por su contenido en fitonutrientes (Taffner *et al.*, 2019).

Los productores de hortalizas deben responder a las actuales tendencias de consumo, para lo cual, se debe de buscar la posibilidad de desarrollar el mercado de manera competitiva, aumentar la productividad y rentabilidad, la aplicación de tecnología en el proceso de producción y en las tecnologías poscosecha (Almaguer-Vargas *et al.*, 2012).

Generalidades del cultivo de arúgula (*Eruca sativa* Mill.)

La arúgula (*Eruca sativa* Mill.) es una hortaliza de hoja que pertenece a la familia Brassicaceae. Se ha utilizado desde tiempo atrás como ingrediente en la cocina de varios países como Italia, Maruecos, Portugal y Turquía (Yang *et al.*, 2021), hacia la década de los 90's se inició el cultivo de arúgula a gran escala tanto al aire libre

como en invernaderos desde Estados Unidos de Norte América hasta Sudamérica (Torales *et al.*, 2010), se consume como ensalada, es apreciada por su característico aroma y sabor picante (Jasper *et al.*, 2020) y ha cobrado importancia económica en el mercado de hojas “baby” (Hall *et al.*, 2012).

Su denominación proviene del latín “uro” que significa “quemo” (Villatoro-Pulido *et al.*, 2011), se conoce también como rúcula, rucola, rúgula, rocket, oruga o taramira; es originaria del Mediterráneo, ha sido cultivada desde los tiempos de los antiguos egipcios quienes apreciaban sus aceites volátiles y ahora se encuentra diseminada por todo el mundo (Khalil *et al.*, 2015).

En México *Eruca sativa* es una especie exótica, introducida y diseminada en la época de la conquista, crece silvestre en varios estados de la República Mexicana sobre todo en suelos alcalinos (CONABIO, 2009). Espinosa-García (1996) menciona que forma parte del grupo de los “quelites” del Valle de México, vulgarmente se conoce como: jaramao, chipiquelite, mostacilla, nabo, oru o roqueta (España), aunque arúgula o rúcula es el nombre de su forma doméstica y comercial proveniente de Italia (CONABIO, 2009).

La arúgula es potencialmente saludable por su contenido en fitoquímicos como los glucosinolatos y compuestos fenólicos que actúan como poderosos antioxidantes y antitumorales; además, contiene fibra, proteínas, calcio, hierro, magnesio, vitaminas A,C y K, carotenoides y flavonoides (Barlas, 2011; Elsadek, 2021). Se ha reportado que los isotiosinatos que se forman durante la degradación de los glucosinolatos están implicados en la prevención del cáncer (Taffner *et al.*, 2019). Las semillas de esta especie se usan para extracción de aceite con valor industrial (Jamba oil, Taramira oil) que contiene ácido erúcico (Colorado *et al.*, 2010), popular en India y Pakistán (Kim *et al.*, 2010).

Varios estudios reportan que esta hortaliza de hoja es un cultivo de rápido crecimiento que se produce con éxito durante todo el año en hidroponía e invernadero y que su manejo agronómico aumenta la calidad comercial y la continuidad en su producción para cubrir la demanda anual (Yang, 2021; Cavaiuolo,

2014; Colorado, 2010), lo que a su vez proporciona características de crecimiento y desarrollo que incrementan su rendimiento (Yang, 2021; Grasso *et al.*, 2017).

La arúgula, como otros cultivos hortícolas, es hiperacumuladora de nitratos, puede alcanzar de 7000 a 8000 mg kg⁻¹ (Yang *et al.*, 2021), lo que pudiera ocasionar problemas en la salud humana como efectos negativos en el sistema cardiovascular e incidencia de cáncer (Cavaiuolo *et al.*, 2014). Según Yang *et al.* (2021), el cultivo hidropónico de arúgula, bajo criterios de salud humana, debe tener una conductividad eléctrica (CE) de entre 1.5 a 1.8 dSm⁻¹, ya que una CE más alta podría tener efectos negativos en la salud debido a la acumulación de nitratos y una CE más baja podría reducir su rendimiento, calidad visual y contenido de compuestos fitoquímicos, dando como resultado un color menos atractivo al consumidor.

Condiciones ambientales: temperatura y humedad relativa

Según lo reportado por Colorado *et al.* (2010) el cultivo de arúgula se desarrolla bien en clima medio entre los 27° C y 32° C bajo invernadero. Grasso *et al.* (2017) reportan temperaturas medias que van de 11.8 a 25.7 °C y humedad relativa de 70 – 90 % para el cultivo de arúgula en Buenos Aires, Argentina. De acuerdo con Costa (2011) el cultivo de arúgula obtuvo buen desarrollo a temperaturas de 19.6 a 38.5°C con una temperatura media de 31.8°C en Brasil.

Rendimiento

Pino (2012) menciona que el rendimiento del cultivo de arúgula es de 7,500 a 8,000 kg ha⁻¹, y puede variar según la época del año, el número de cortes, el tamaño de hojas a la cosecha, la variedad y la densidad de plantas. Cabe mencionar que el rendimiento obtenido es de un promedio de 1.42 kg de hojas de arúgula por m² por corte, y se pueden realizar dos o tres durante el ciclo.

Pimpini (2011) indica que el rendimiento promedio del corte (peso fresco) obtenido del cultivo de arúgula es de 2.35 kg m² lo que representa 23.5 t ha⁻¹. Por su parte, Grasso *et al.* (2017) reporta un rendimiento de 0.40 kg m² en cualquier sistema de producción en Santa Fé, Argentina. Así mismo, Sandoval *et al.* (2017) afirma que su

rendimiento es de 15 t ha⁻¹ bajo invernadero en la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Solución nutritiva de Steiner

La nutrición mineral es uno de los factores más importantes a tener en cuenta en un sistema de producción agrícola, ya que el desbalance nutrimental limita el desarrollo óptimo de la planta, lo que afecta directamente su rendimiento (Aguilar-Carpio *et al.*, 2018).

Existe una amplia variedad de soluciones nutritivas diferentes en su composición química y que son formuladas para hacer crecer plantas en cultivos sin suelo. Las concentraciones de nutrientes difieren de acuerdo con los requerimientos de la especie, es decir, las demandas internas de la planta (Smith *et al.*, 1983). De acuerdo con Steiner (1984), la presión osmótica de una solución nutritiva es el factor más importante en el rendimiento de la planta. Por lo tanto, no puede haber una solución nutritiva única con que se tendrían resultados satisfactorios para todas las especies.

Uno de los principales factores a tomar en cuenta en un sistema de producción agrícola es asociar el análisis de crecimiento de un cultivo a la nutrición mineral, ya que un desbalance nutricional, limita el desarrollo óptimo de la planta afectando directamente su rendimiento (Aguilar-Carpio *et al.*, 2018).

De acuerdo con Steiner (1984), la presión osmótica de una solución nutritiva es el factor más importante en el rendimiento de la planta (Smith *et al.*, 1983). La composición química de una solución nutritiva está determinada por las proporciones relativas de aniones y cationes, la concentración iónica total y el pH, siendo este último, una propiedad inherente de la composición mineral de la solución nutritiva que no puede ser variado independientemente (Steiner, 1961; Steiner, 1984). En este sentido, Steiner (1961) desarrolló un método para calcular una fórmula para la composición de una solución nutritiva universal, que se distingue por sus relaciones mutuas entre aniones y cationes, expresadas en por ciento del

total de mM·L⁻¹: 60:5:35 para NO₃: H₂PO₄: SO₄ y 35:45:20 para K:Ca+:Mg (Juárez *et al.*, 2006).

Análisis de crecimiento

El crecimiento es un incremento irreversible en el tamaño de las plantas que está acompañado por cambios en la forma, lo que conlleva a un aumento constante en el tamaño, así mismo lo acompañan procesos de morfogénesis y diferenciación celular. El crecimiento es un proceso fisiológico complejo que depende de la fotosíntesis, la respiración, la división celular, la elongación, la diferenciación, entre otros, y que además está influenciada por factores como temperatura, intensidad de luz, densidad de población, y disponibilidad de agua y de nutrimentos (Taiz *et al.*, 2014).

El análisis de crecimiento usa medidas directas tales como materia seca de la planta, área foliar total y tiempo; y medidas derivadas que pueden ser obtenidas a partir de las medidas directas, como la tasa de asimilación neta (TAN), duración del área foliar (DAF), tasa absoluta de crecimiento (TAC) y área foliar específica (AFE) (Aguilar-Carpio *et al.*, 2021).

De acuerdo con Juárez -Rosete *et al.* (2018) tanto la materia fresca como la materia seca, son el producto de mayor interés económico del cultivo. La producción de materia seca está relacionada con el área foliar, cuando ésta es alta, se espera una alta concentración de materia seca (Santos-Castellanos *et al.*, 2010). Es una medida de la superficie foliar de la planta en términos de densidad o grosor relativo de la hoja, se define como la relación entre el área total de la hoja y la masa del área foliar de la planta (Carranza *et al.*, 2009).

La TAN es un indicador de eficiencia fotosintética promedio ya que mide la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar y por unidad de tiempo (Santos-Castellanos *et al.*, 2010). La capacidad de la planta de incrementar su masa seca en función del área asimilativa en periodos cortos o largos del ciclo de crecimiento, depende del área foliar, de la disposición y la edad de las hojas de la planta (Hunt,

1982). La TAN es una medida indirecta, es la tasa de incremento en el peso de la planta (ganancia neta de asimilados) por unidad de área foliar en una unidad de tiempo (Colorado *et al.*, 2010). Esta tasa demuestra a su vez la eficiencia de los cultivos en términos fotosintéticos, ya que la relación fuente-demanda sugiere en términos de peso por unidad de superficie por el tiempo, la cantidad de asimilados procedentes de la fotosíntesis que genera la planta (Barrientos-Llanos *et al.*, 2014).

La DAF es el índice que representa la producción de hojas durante el crecimiento del cultivo (Aguilar-Carpio *et al.*, 2015), el tiempo en que el follaje persiste., es decir, es el índice que presenta la producción de hojas en el periodo de crecimiento del cultivo (Santos-Castellanos *et al.*, 2010). Por su parte, Hoyos *et al.* (2009) menciona que el AFE es la relación entre el área foliar y el peso de la hoja, es un índice de peso y de densidad de la hoja, así mismo, es una de las principales variables que afectan en el crecimiento de las plantas, ya que favorece cambios en el área foliar y en la eficiencia fotosintética.

La TAC se refiere al incremento en peso seco de la planta por unidad de tiempo (Aguilar-Carpio *et al.*, 2021).

El patrón de crecimiento de un organismo se describe por medio de la curva sigmoidea. Se observan tres fases en la curva sigmoidea: i) Fase de retardación: ocurre cuando las plantas comienzan a perder masa seca durante el proceso de germinación. A medida que se desarrolla el embrión se van agotando las reservas de la semilla. ii) Fase logarítmica: en ella el crecimiento se da rápidamente y de forma lineal. iii) Fase de envejecimiento: el crecimiento comienza a decrecer disminuyendo por ende la masa seca (Barrera *et al.*, 2010).

Extracción nutrimental

La evaluación de la demanda de nutrientes de las plantas y su dinámica de absorción es importante para determinar los planes de fertilización que sincronicen el abastecimiento y la demanda del cultivo (Avitia-García *et al.*, 2014).

Los estudios de demanda nutrimental contabilizan los requisitos de cosecha, la extracción total o el consumo de nutrimentos que efectúa un cultivo en particular para completar su ciclo de producción. Las curvas de extracción de nutrimentos o análisis de la dinámica de absorción de nutrientes son parte de estos estudios, permiten el conocimiento de la demanda de nutrimentos de acuerdo con la etapa fenológica de un cultivo, con el fin de lograr un balance en las funciones fisiológicas para desarrollar su máximo potencial genético; son útiles para establecer programas de fertilización ya que permiten un ajuste más preciso que maximiza la eficiencia de la fertilización en el ciclo del cultivo (Bertsch *et al.*, 2013).

Lo anterior, con el objetivo de hacer una dosificación óptima del fertilizante y de esta manera, coadyuvar en el uso racional de recursos y reducir la lixiviación de residuos de fertilizante a horizontes más profundos del suelo, acuíferos, cuerpos de agua o incluso a la atmósfera (Aguilar-Tlatelpa *et al.*, 2019).

Conocer la composición nutricional de un cultivo facilita la formulación de soluciones que optimizan la fuente de nutrientes en sistemas de cultivo sin suelo. Se han formulado y ajustado muchas soluciones nutritivas, entre ellas la de Steiner, a la que se ha variado su concentración (Ramírez-Vargas, 2019).

En México, la información sobre el cultivo de arúgula en condiciones protegidas y sin suelo es limitada, así como su crecimiento y requerimiento nutrimental, por ello el objetivo de la presente investigación fue determinar la dinámica de crecimiento del cultivo de arúgula (*Eruca sativa* Mill.), en función de cinco concentraciones (25, 50, 75, 100 y 125 %) de la solución nutritiva de Steiner, así como determinar su extracción nutrimental.

Objetivos

Objetivo general

Determinar la dinámica de crecimiento y extracción nutrimental en arúgula, en función de cinco concentraciones (25, 50, 75, 100 y 125 %) de la solución nutritiva de Steiner.

Objetivos específicos

Determinar la concentración de la solución nutritiva de Steiner que favorezca el crecimiento del cultivo de arúgula en invernadero.

Determinar la dinámica de crecimiento en función de las concentraciones de la solución nutritiva de Steiner: 25, 50, 75, 100 y 125 %.

Cuantificar la extracción nutrimental en plantas de arúgula.

Hipótesis

Hipótesis general

La dinámica de crecimiento del cultivo de arúgula se ajustará a una ecuación cuadrática y el potasio será el nutrimento más requerido por esta hortaliza.

Hipótesis específicas

La concentración de la solución nutritiva al 75 % favorecerá el crecimiento del cultivo de arúgula en invernadero.

La dinámica de crecimiento del cultivo de arúgula se ajustará a una ecuación cuadrática, independientemente de la solución nutritiva utilizada.

El potasio (K) será el macronutrimento que se requiere en mayor cantidad en el crecimiento de arúgula en invernadero.

Literatura citada

- Aguilar-Carpio, C., González-Maza, S. V., Juárez-López, P., Alia-Tejacal, I., Palemón-Alberto, F., Arenas-Julio, Y. R., y Escalante-Estrada, A. S. 2021. Análisis de crecimiento de epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.) cultivado en invernadero. *Biotecnia*. 23(2):113–19.
- Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, S.J. A., y Aguilar-Mariscal, I. 2015. Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Tierra Latinoamericana*. 33(1):51-62.
- Aguilar-Carpio, C., Juárez-López, P., Campos-Aguilar, I. H., Alia-Tejacal, I., Sandoval-Villa, M., y López-Martínez, V. 2018. Análisis de crecimiento y rendimiento de uchuva (*Physalis peruviana* L.) cultivada en hidroponía e invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 24(3):191-202.
- Aguilar-Tlatelpa, M., Volke-Haller, V. H., Sánchez-García, P., Pérez-Grajales, M., y Fajardo-Franco, M.J. 2019. Concentración y extracción de macronutrientes en cuatro variedades de fresa. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 10(6):1287–99.
- Almaguer-Vargas, G., Ayala-Garay, A. V., Schwentesius-Rindermann, R., y Sangerman-Jarquín, D. M. 2012. Rentabilidad de hortalizas en el Distrito Federal, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 3(4):643-654.
- Avitia-García, E., Pineda-Pineda, J., Castillo-González, A. M., Trejo-Téllez, L. I., Corona-Torres, T., y Cervantes-Urbán, E. 2014. Extracción nutrimental en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 5(3):519-524.
- Barlas, N., Irget, M., y Tepecik, M. 2011. Mineral content of the rocket plant (*Eruca sativa*). *African journal of biotechnology*. 10(64):14080-1408.
- Barrera, J., y Melgarejo, L. 2010. Análisis de crecimiento en plantas. *Experimentos en fisiología y bioquímica vegetal*. (1978) 25-38.
- Bertsch-Hernández, G., y Quesada-Roldán, F. 2013. Obtención de la curva de extracción nutrimental del híbrido de tomate Fb-17. *Terra Latinoamericana*. 31(1):1–7.

- Carrasco, G., Gajardo, J. M., Álvaro, J. E., y Urrestarazu, M. 2011. Rocket production (*Eruca sativa* Mill.) in a floating system using peracetic acid as oxygen source compared with substrate culture. *Journal of plant nutrition*. 34(9):1397-1401
- Cavaiuolo, M., y Ferrante, A. 2014. Nitrates and glucosinolates as strong determinants of the nutritional quality in rocket leafy salads. *Nutrients*. 6(4):1519–38.
- Colorado, F., Rodríguez, D., y Cortés, J. 2010. Análisis de crecimiento de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) en la Sabana de Bogotá, bajo dos condiciones ambientales. *Revista U.D.C.A actualidad & divulgación científica*. 13(1):105-113.
- CONABIO. 2009. Malezas de México (*Eruca sativa* Mill.) Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F., México.
- Costa, C.M.F., Seabra Junior, S., Arruda, G.R., y Souza, S.B.S. 2011. Desempenho de cultivares de rúcula sob telas de sombreamento e campo aberto. *Semina: Ciências Agrárias*. 32:93-102.
- Elsadek, M.F., El-Din, M.E., y Ahmed, B.M. 2021. Evaluation of anticarcinogenic and antioxidant properties of *Eruca sativa* extracts versus ehrlich ascites carcinoma in mice, *Journal of King Saud University – Science*. 33(4).
- Espinosa-García, J. F., y Díaz-Pérez, R. 1996. El uso campesino de plantas arvenses como forraje en el Valle de México. *Etnoecología*. 3:83-94.
- Grasso, R., Ortiz-Mackinson, M., Rotondo, R., Mondino, M. C., Calani, P., Firpo, I., Balaban, D., y Vita-Larieu, E. 2017. Productividad de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) en diferentes sistemas productivos. *Agromensajes*. 47:30-35.
- Gutiérrez, D. R., Laura-Lemos, M., y Rodríguez., S. C. 2017. Efecto combinado de uv-c y envasado con atmósfera modificada pasiva en la conservación de rúcula (*Eruca sativa*) cortada IV gama. *Revista Iberoamericana tecnología postcosecha*.18:145–52.
- Hall, M., Jobling, J., y Gordon, R. 2012. Some perspectives on rocket as a vegetable crop: a review. *Vegetable crops research bulletin*. 76(1):21–41.
- Hoyos, V. Rodríguez, M., Cárdenas-Hernández, I. F., y Balaguera-López, H. E. 2009. Análisis del crecimiento de espinaca (*Spinacia oleracea* L.) bajo el efecto

- de diferentes fuentes y dosis de nitrógeno. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*. 3(2):175-187.
- Hunt, R. 1982. *Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis*. Edward Arnold Publishers, London.
- Jasper, J., Wagstaff, C., y Bel, L. 2020. Growth temperature influences postharvest glucosinolate concentrations and hydrolysis product formation in first and second cuts of rocket salad. *Postharvest Biology and Technology*.163(2):111-157.
- Juárez, M., Baca, G., Aceves, L., Sánchez, P., Tirado, J., Sahagún, J., y Colinas, M. 2006. Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Interciencia*. 31(4):246–53.
- Juárez-Rosete, C., Olivo-Rivas, A., Aguilar-Castillo, J. A., R. Bugarín-Montoya, R., y Arrieta-Ramos, B. G. 2014. Nutrition assessment of N-P-K in mint (*Mentha spicata* L.) cultivated in soilless system. *Annual research & review in biology*. 4(15):2462–70.
- Khalil, F. F., Mehrim, A. I., y Refaey, M. M. 2015. Impact of dietary rocket (*Eruca sativa*) leaves or seeds on growth performance, feed utilization, biochemical and physiological responses of oreochromis niloticus, fingerlings. *Asian journal of animal sciences*. 9(4):134–47.
- Kim, S-J., Kawaharada, C., e Ishii, G. 2010. Effect of ammonium : nitrate nutrient ratio on nitrate and glucosinolate contents of hydroponically-grown rocket salad (*Eruca sativa* Mill.) .*Soil science and plant nutrition*. 52(3): 387-393.
- Pino M., 2012. *Curso de Horticultura y Floricultura*. Argentina-Plata.1-2 pp.
- Pimpini, F. 2011. *Principitecnicoagronomici de la fertirrigazione e del fuorisuolo*. Veneto Agricoltura. Regione Veneto. 201.
- Ramírez-Vega, C. 2019. Extracción de nutrientes, crecimiento y producción del cultivo de Pepino bajo sistema de cultivo protegido hidropónico. *Tecnología en Marcha*. 32(1):107-117.
- Sandoval, M., Fernnández, M., Gilardino, M. Piwowarzuck, C., Ruiz, C., y Seba, N. 2017. Mildew y manchado foliar, enfermedades asociadas al cultivo de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) bajo sistema familiar de producción en Florencio Varela,

- provincia de Buenos Aires. Revista de Divulgación Técnica Agropecuaria, Agroindustrial y Ambiental. Facultad de Ciencias Agrarias. UNLZ. 4(3):35-40.
- Santos-Castellanos, M., Segura, M., y Núñez, C. E. 2010. Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. 63(1):5253–66.
- Smith, G. S., Johnston, C. M., y Cornforth, I. S. 1983. Comparison of nutrient solutions for growth of plants in sand culture. *New Phytol.* 94:537-548.
- Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. In Proc. 6th International Congress on Soilless Culture (pp: 633-649). ISOSC. Wageningen, The Netherlands.
- Steiner, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil.* 15:134-154.
- Taffner, J., Cernava, T., Erlacher, A., y Berg, G. 2019. Novel insights into plant-associated archaea and their functioning in arugula (*Eruca sativa* Mill.). *Journal of Advanced Research.* 19:39–48.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., y Murphy, A. 2014. Plant physiology and development. Sixth Edition, Sunderland, MA: Sinauer Associates. 756-764
- Torrales, A. C., Cháves, A. R., y Rodríguez, S. C. 2010. Cambios en la calidad de rúcula mínimamente procesada. Efecto de distintos envases. *Revista Iberoamericana de tecnología de postcosecha.* 11(2):196-203.
- Branimir, U., Dumičić, G., Romić, M., y Goreta Ban, S. 2017. The effect of N and NaCl on growth, yield, and nitrate content of salad rocket (*Eruca sativa* Mill.). *Journal of plant nutrition* 40(18):2611–18.
- Villatoro-Pulido, M., Font, R., Saha, S., Obregón-Cano, S., Anter, J., Muñoz-Serrano, A., De Haro-Bailón, A., Alonso-Moraga, A., y M. Del Río- Celestino. 2012. In vivo biological activity of rocket extracts (*Eruca vesicaria* subsp. *sativa* (Miller) Thell) and sulforaphane. *Food and chemical toxicology.* 50(5):1384-1392.
- Yang, T., Samarakoon, U., Atland, J., y Ling, P. 2021. Photosynthesis, biomass production, nutritional quality, and flavor-related phytochemical properties of

hydroponic-grown arugula (*Eruca sativa* Mill.) 'Standard' under different electrical conductivities of nutrient solution. *Agronomy*. 11:1340.

CAPÍTULO II

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE ARÚGULA (*Eruca sativa* Mill.) CULTIVADA EN INVERNADERO

Resumen

La arúgula ha mostrado una demanda creciente en la última década debido a la tendencia mundial de consumir alimentos sanos y de fácil preparación; sin embargo, existe escasa información acerca de su crecimiento en sustrato y en condiciones de invernadero. El objetivo fue determinar la dinámica de crecimiento del cultivo de arúgula (*Eruca sativa* Mill.), en función de cinco concentraciones (25, 50, 75, 100 y 125 %) de la solución nutritiva de Steiner. El experimento se llevó a cabo en Cuernavaca, Morelos, de febrero a marzo de 2020. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con seis repeticiones. Se realizaron muestreos destructivos semanales durante 28 días después del trasplante, las variables evaluadas fueron: área foliar (cm^2), peso de materia fresca y seca (g), se estimaron la duración de área foliar (DAF), el área foliar específica (AFE), la tasa de asimilación neta (TAN) y la tasa absoluta de crecimiento (TAC). Los mayores valores para peso de materia fresca y seca se obtuvieron con las soluciones 75, 100 y 125 %, con las mismas soluciones el área foliar fue de 2008, 2215 y 2639 cm^2 respectivamente, a los 28 días después del trasplante. La máxima duración de área foliar (DAF) se presentó con la solución 125 % ($11730 \text{ cm}^2 \text{ día}^{-1}$) a los 28 ddt, la mayor área foliar específica (AFE) se obtuvo con la solución al 125 % ($178 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$) a los 7 ddt, la mayor tasa de asimilación neta (TAN) se observó con la solución al 125 % ($298.0 \text{ g cm}^2 \text{ día}^{-1}$), la tasa absoluta de crecimiento (TAC) presentó mayor acumulación de materia seca por día, con las concentraciones de la solución nutritiva de Steiner al 75, 100 y 125 % ($0.10, 0.08$ y 0.11 g d^{-1} , respectivamente). Se concluye que la solución nutritiva de Steiner a concentración de 75 % favorece el crecimiento de arúgula en sustrato y en invernadero.

Palabras clave: duración de área foliar, área foliar específica, tasa de asimilación neta, tasa absoluta de crecimiento.

Abstract

Rocket has shown a growing demand in the last decade due to the global trend of consuming healthy and minimally processed foods; however, there is little information about its growth in substrate and under greenhouse conditions. The objective was to determine the growth of the rocket (*Eruca sativa* Mill.) crop, based on five concentrations (25, 50, 75, 100 and 125 %) of Steiner's nutrient solution. The experiment was carried out in Cuernavaca, Morelos, from February to March 2020. A randomized complete block experimental design with six replications was used. Weekly destructive samplings were carried out for 28 days after transplantation, the variables evaluated were: leaf area (cm^2), weight of fresh and dry matter (g), the duration of the leaf area (DLA), the specific leaf area (SLA), the net assimilation rate (NAR) and the absolute growth rate (AGR). The highest values for weight of fresh and dry matter were obtained with the 75, 100 and 125 % solutions, with the same solutions the leaf area was 2008, 2215 and 2639 cm^2 respectively, at 28 days after transplantation (dat). The maximum duration of leaf area (DLA) was presented with the 125% solution ($11730 \text{ cm}^2 \text{ dia}^{-1}$) at 28 dat, the highest specific leaf area (SLA) was obtained with the 125 % solution ($178 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$) at 7 dat, the highest net assimilation rate (NAR) was observed with the 125% solution ($298.0 \text{ g cm}^2 \text{ day}^{-1}$), the absolute growth rate (AGR) presented greater accumulation of dry matter per day, with the concentrations of Steiner's nutrient solution at 75, 100 and 125 % (0.10 , 0.08 and 0.11 g d^{-1} , respectively). It is concluded that Steiner's nutrient solution at a concentration of 75 % favors arugula growth in substrate and in the greenhouse.

Key words: duration of leaf area, specific leaf area, net assimilation rate, absolute growth rate.

Introducción

El crecimiento vegetal es un incremento irreversible en las dimensiones de la planta, es un aumento constante en su tamaño acompañado por procesos morfológicos y de diferenciación celular (Di Benedetto *et al.*, 2016., Taiz *et al.*, 2014). Es un proceso fisiológico complejo que depende de la fotosíntesis, la respiración, la división celular, la elongación y la diferenciación entre otros. Está influenciada por factores genéticos y ambientales como temperatura, luz, densidad de población, disponibilidad de agua y de nutrientes (Aguilar-Carpio *et al.*, 2021).

Para poder evaluar la productividad de un cultivo, se utilizan técnicas matemáticas de análisis de crecimiento vegetal por medio de las cuales se obtienen datos sobre los procesos fisiológicos de la planta, cambios estructurales y bioquímicos específicos que ocurren de acuerdo a los patrones de división y diferenciación celular y que tienen relación con el ambiente natural o controlado (Barraza *et al.*, 2015).

El análisis de crecimiento permite interpretar el desarrollo y funcionamiento de la planta a través del tiempo y definir criterios para su manejo agronómico (Aguilar-Carpio *et al.*, 2018) a partir de medidas directas del crecimiento como peso seco (PS), área foliar (AF) y tiempo (T), mientras que las medidas derivadas como área foliar específica (AFE), duración de área foliar (DAF) tasa de asimilación neta (TAN), y tasa absoluta de crecimiento (TAC), son calculadas a partir de las medidas directas (Santos-Castellanos *et al.*, 2010). Estos índices permiten analizar el crecimiento de la planta a través de la acumulación de materia seca, la cual depende del tamaño del área foliar, de la tasa a la cual funcionan las hojas y el tiempo que el follaje persiste (Barrientos-Llanos *et al.*, 2015).

Varios estudios reportan que la arúgula es un cultivo de rápido crecimiento que se produce con éxito durante todo el año en hidroponía e invernadero y que su manejo agronómico aumenta la calidad comercial y la continuidad en su producción para cubrir la demanda anual (Yang, 2021; Cavaiuolo, 2014; Colorado, 2010), lo que a

su vez proporciona características de crecimiento y desarrollo que incrementan su rendimiento (Yang *et al.*, 2021; Grasso *et al.*, 2017).

La información sobre el manejo del cultivo de arúgula en condiciones protegidas y sin suelo es limitada, es por ello que el objetivo de la presente investigación fue determinar la dinámica de crecimiento y rendimiento del cultivo de arúgula (*Eruca sativa* Mill.), en función de cinco concentraciones (25, 50, 75, 100 y 125 %) de la solución nutritiva de Steiner.

Materiales y métodos

Localización y material vegetal

El experimento se llevó a cabo en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos que se localiza en Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México; del 12 de febrero al 19 de marzo del 2020, en un invernadero tipo túnel con cubierta plástica blanquecina con sombreado de 30 % y malla antiáfidos en los laterales, situado a 18° 58' 51" latitud norte, 99° 13' 55" longitud oeste y altura de 1,866 msnm.

Se utilizó plántula de arúgula, cultivar 'Wild Rocket. Se trasplantó una plántula por maceta (bolsa negra de polietileno) de 10 L de capacidad, que contenía sustrato de tezontle rojo (roca volcánica con granulometría de 1 a 8 mm) y se ubicaron a una distancia de 35 cm entre sí. Durante el desarrollo del cultivo, se registró la temperatura media (T_{media} °C), temperatura máxima (T_{max}), temperatura mínima ($T_{mín}$) y la humedad relativa media (HR_{media} %) diaria dentro del invernadero con un registrador de datos ambientales Hobo® modelo MX2301A.

Tratamientos

Los tratamientos (Cuadro 1), fueron cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner (25, 50, 75, 100 y 125 %), que corresponden a 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 dS m^{-1} de conductividad eléctrica (Steiner, 1984). Para la preparación de las soluciones

nutritivas se emplearon fertilizantes comerciales solubles propios para fertirriego, nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de magnesio, sulfato de potasio y fosfato monopotásico. Los micro nutrientes se suministraron mediante la mezcla comercial Microsol Rexene® Mix SQM, a dosis de 4 g por cada 100 L de solución nutritiva. El pH de las soluciones nutritivas se ajustó con ácido sulfúrico a 5.5. Los riegos se aplicaron con agua durante los dos primeros días después del trasplante (ddt), subsecuentemente los riegos se aplicaron dos veces al día de acuerdo con los tratamientos. El volumen de riego fue de 0.5 L de solución nutritiva por planta por día desde el trasplante hasta los 10 ddt, después incrementó a 1.0 L hasta los 18 ddt y a 1.5 L por día hasta los 28 ddt.

Cuadro 1. Composición química de las soluciones nutritivas empleadas en el cultivo de arúgula (*Eruca sativa* Mill.) (Steiner, 1984).

Solución nutritiva de Steiner (%)	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻
	-----mEq L ⁻¹ -----					
25	2.25	1.75	1.0	3.0	0.25	1.75
50	4.50	3.50	2.0	6.0	0.50	3.50
75	6.75	5.25	3.0	9.0	0.75	5.25
100	9.00	7.00	4.0	12.0	1.00	7.00
125	11.25	8.75	5.0	15.0	1.25	8.75

Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó fue en bloques completos al azar, de cinco tratamientos y seis repeticiones. La unidad experimental fue de 5 plantas (30 plantas por tratamiento).

VARIABLES EVALUADAS (MEDIDAS DIRECTAS)

El crecimiento del cultivo se evaluó mediante muestreos destructivos semanales de seis plantas por tratamiento, cada 7 días hasta los 28 ddt. En cada muestreo se determinó el área foliar (AF) con un medidor de AF (LI-COR® 3100). También se evaluó el peso de materia fresca por planta (PF, g), y el peso de materia seca por planta (PS, g), ambas se cuantificaron con una báscula digital (OHAUS®), con aproximación de 0.001 g. Las muestras de materia fresca (tallos y hojas), se deshidrataron en una estufa a 67 °C con aire forzado hasta peso constante.

CÁLCULO DE ÍNDICES DE CRECIMIENTO (MEDIDAS INDIRECTAS)

Con los datos registrados del área foliar y materia seca, se estimaron los índices: tasa de asimilación neta (TAN), tasa absoluta de crecimiento (TAC), duración de área foliar (DAF) y área foliar específica (AFE), con base en las ecuaciones del Cuadro 2.

Cuadro 2. Índices de crecimiento utilizados en el cultivo de arúgula (adaptado de Barrera *et al.*, 2010).

Índice de crecimiento	Símbolo	Ecuación	Unidades
Tasa de asimilación neta	TAN	$TAN = \left(\frac{PS2 - PS1}{T2 - T1} \right) / \left(\frac{\ln AF2 - \ln AF1}{AF2 - AF1} \right)$	g cm ⁻² d ⁻¹
Tasa absoluta de crecimiento	TAC	$TAC = \frac{PS2 - PS1}{T2 - T1}$	g d ⁻¹
Duración de área foliar	DAF	$DAF = \frac{(AF1 + AF2)(T2 - T1)}{2}$	cm d ⁻¹
Área foliar específica	AFE	$AFE = \frac{\frac{AF2}{PS2} + \frac{AF1}{PS1}}{2}$	cm ² g ⁻¹

PS= peso de materia seca, AF= área foliar, T= tiempo, Ln= logaritmo natural.

Análisis estadístico

A los datos de índice de crecimiento se les realizó un análisis de varianza y comparación de medias por el método de Tukey ($\alpha \leq 0.05$), mediante el programa estadístico SAS® (SAS, 2009). A las variables en estudio (área foliar, peso fresco y peso seco) se les realizó un análisis de regresión y se obtuvo la ecuación correspondiente, con el programa Excel®, Microsoft Office para Windows.

Resultados y discusión

Condiciones ambientales del cultivo

La temperatura promedio en la que se desarrolló el cultivo fue de 22° C, se observó una temperatura máxima de 37° C y una temperatura mínima de 17° C. La humedad relativa (HR) promedio registrada durante el experimento fue de 48.9 %, la HR máxima fue de 53.4 % y la HR mínima de 39.8 %.

Según lo reportado por Colorado *et al.* (2010) el cultivo de arúgula se desarrolla bien en una temperatura que fluctúa entre los 27° C y 32° C en invernadero. Por su parte, Grasso *et al.* (2017) reportaron temperatura de 11.8 a 25.7°C y HR de 70 a 90 % para el cultivo de arúgula en Buenos Aires, Argentina.

Análisis de crecimiento

Área foliar

El área foliar de arúgula aumentó a medida que se incrementaron las concentraciones de la solución nutritiva y se observó una tendencia ascendente a partir de los 14 ddt. (Figura 1).

Las concentraciones 75, 100 y 125 % generaron los mayores valores de área foliar a los 28 ddt (2008, 2215 y 2639 cm², respectivamente). Así, la concentración al 125 % produjo la mayor área foliar por día (87.4 cm²), respecto a la concentración del 75 y 100 % (64.5 y 67.0 cm², respectivamente). Esta respuesta, se ajustó a un modelo polinómico de segundo grado. Por otra parte, las concentraciones 25 y 50 % presentaron los menores valores (493 y 1119 cm², respectivamente) a los 28 ddt.

Yang *et al.* (2021) reportaron en arúgula resultados similares, los valores de área foliar aumentan al aumentar la CE, la de 1.8 y 2.1 dSm⁻¹, son mayores que los de CE 1.2 dSm⁻¹. A su vez coincide con lo reportado por Colorado *et al.* (2010) en arúgula, que en la tercera semana se aprecia un mejor desempeño en las tasas de crecimiento debido a una mejor eficiencia fotosintética, en donde a mayor tejido foliar, la planta es más eficiente en cuanto a captación de luz. De acuerdo con Aguilar-Carpio *et al.* (2021), esta respuesta está asociada al estado nutricional de la planta el cual promovió un aumento en el aparato fotosintético y en consecuencia favoreció el tamaño de las hojas.

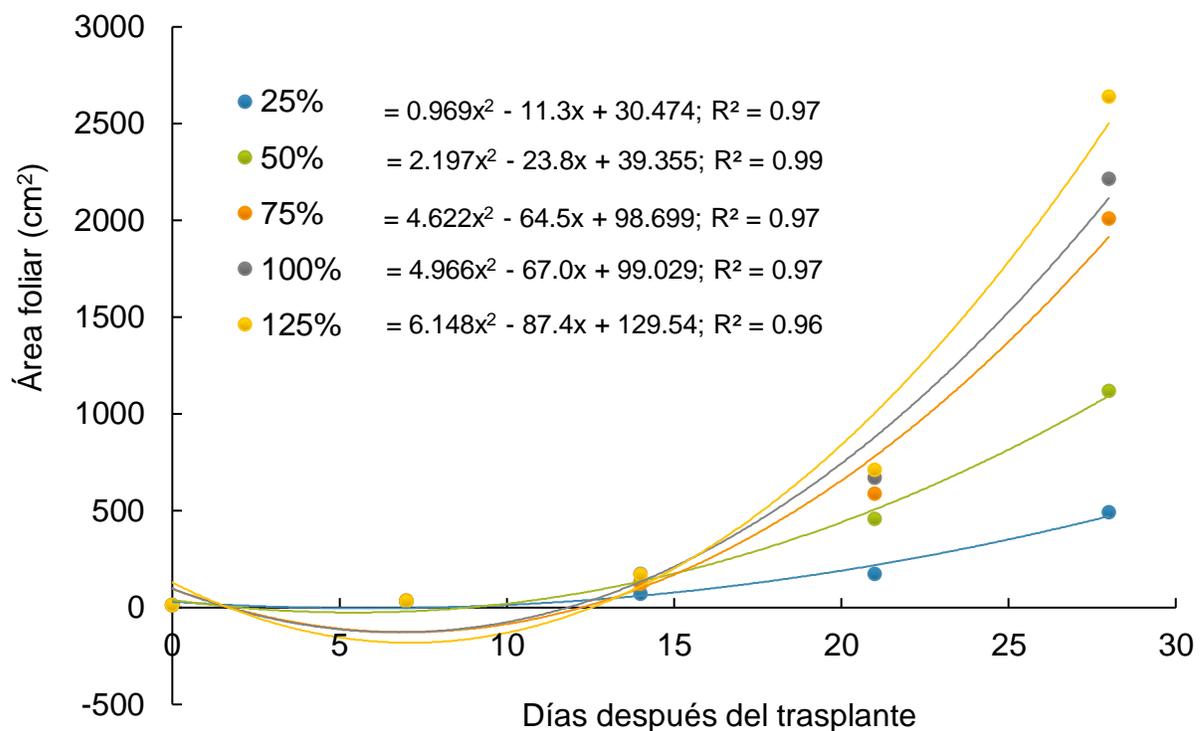


Figura 1. Área foliar del cultivo de arúgula (*Eruca sativa* Mill.) en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner.

Duración de área foliar (DAF)

La máxima DAF (Figura 2) se presentó en la concentración 125 % con 11730 cm² día⁻¹ a los 28 ddt, en la cual, también se observó el mayor crecimiento por día (920 cm² día⁻¹), lo que indica que para dicho tratamiento, la magnitud del área foliar y su persistencia a través del tiempo fue mayor, y se manifestó en un mayor crecimiento general de las plantas, mayor acumulación de materia seca, seguida por las concentraciones 75 y 100 % a los 28 ddt. Cabe señalar, que el menor crecimiento del área foliar se registró con la concentración al 25 %, ya que el crecimiento fue de 130.6 cm² día⁻¹, lo que señala que la disponibilidad de los nutrimentos favoreció el incremento en la duración del área foliar. Al respecto, Aguilar-Carpio *et al.* (2015) en maíz, reportó que la mayor DAF se encontró con niveles de fertilización de N de 80 y 160 kg ha⁻¹, donde se promovió una mayor aparición de número de hojas de los 36 a los 54 días después de la siembra (dds), lo que incrementa la eficiencia de la planta para producir materia seca.

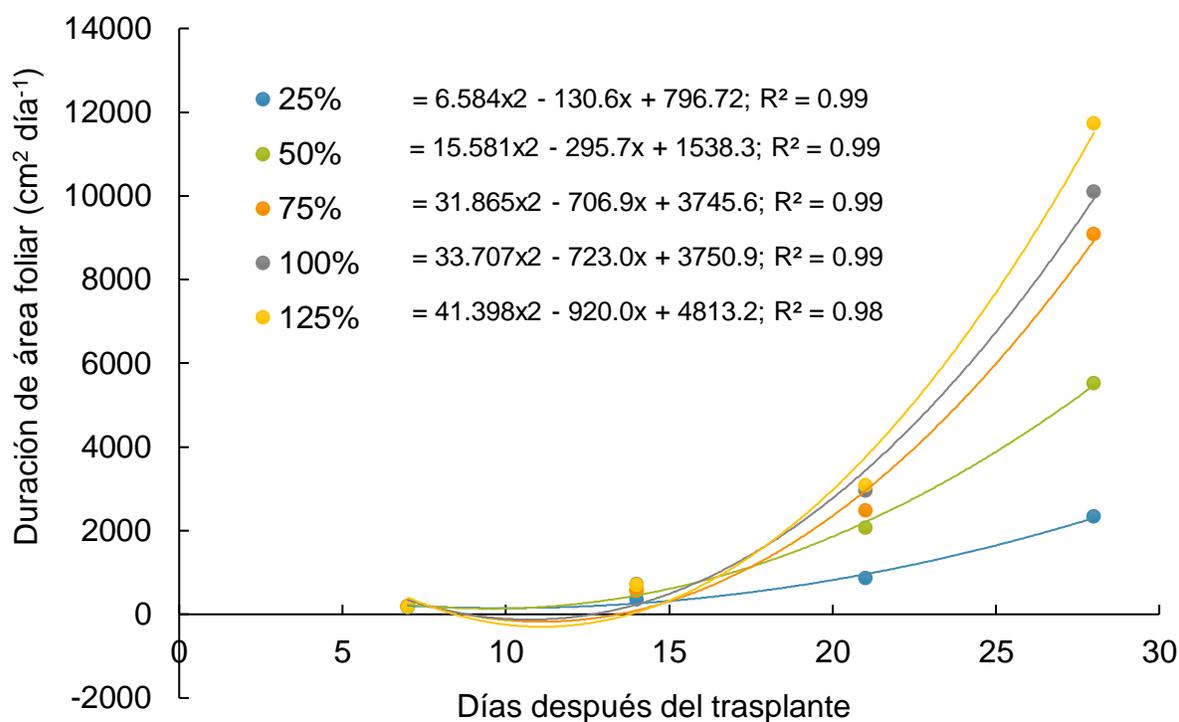


Figura 2. Duración de área foliar del cultivo de arúgula (*Eruca sativa* Mill.) en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner.

Área foliar específica (AFE)

A los 7 días después de trasplante todos los tratamientos presentaron la mayor AFE (figura 3), la cual fue disminuyendo a través del tiempo desde la fase inicial del cultivo, donde en general se presentaron valores máximos al momento del trasplante y una disminución progresiva hasta los 28 ddt. La solución nutritiva 125% presentó la mayor AFE ($178 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$) a los 7 ddt.

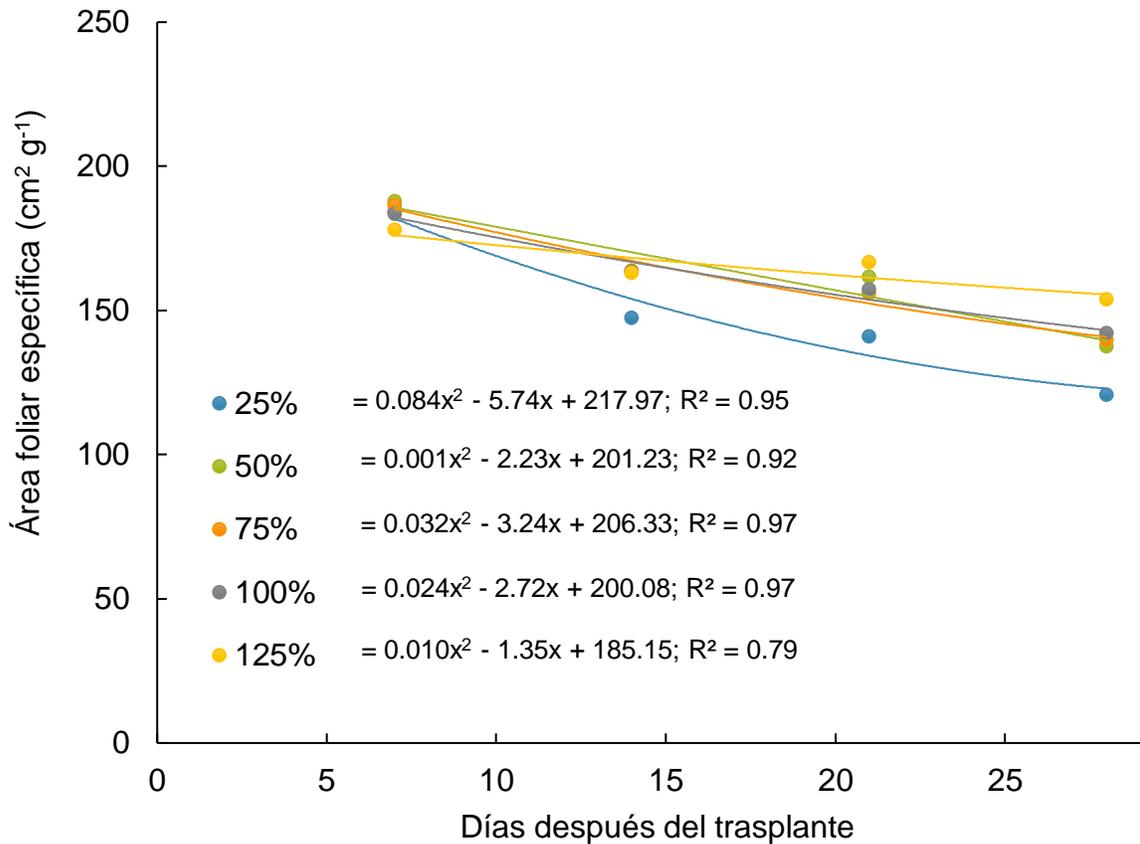


Figura 3. Área foliar específica del cultivo de arúgula (*Eruca sativa* Mill.) en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner.

Peso de materia fresca

Se observó que a partir del día 14 ddt, hubo un incremento acelerado de biomasa, donde casi se duplicó el peso a los 28 ddt para las soluciones nutritivas al 75, 100 y 125 % (Figura 4). Los mayores valores de materia fresca de arúgula se presentaron con las concentraciones 75, 100 y 125 % de la solución nutritiva de Steiner con 172, 182 y 187 g, respectivamente; mientras que los menores valores fueron con las concentraciones 25 y 50 % con menor producción de biomasa (42 y 103 g respectivamente) a los 28 ddt, lo que permite definir que las soluciones nutritivas 75, 100 y 125 % son óptimas para el cultivo de arúgula.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Juárez-Rosete *et al.* (2014), en el cultivo de menta (*Mentha spicata* L.), donde a los 40 ddt obtuvieron la mayor ganancia de peso en biomasa aérea con la solución nutritiva a 125 % de concentración; asimismo, coincide con los resultados de Cruz-Crespo *et al.* (2017) en el cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*), quienes reportaron que la mayor producción de materia fresca y seca se obtuvo con las concentraciones de la solución nutritiva de Steiner al 75 y 100 % de concentración a los 30 ddt. En este sentido, se observó que los valores de materia fresca presentaron un incremento en función del aumento en la concentración de la solución nutritiva de Steiner en arúgula.

A medida que aumenta la concentración de la solución nutritiva, aumenta el peso fresco del cultivo, respuesta que es determinada por un aumento en el dosel vegetal estimulado por la solución de Steiner que produce un efecto en la expansión foliar (Aguilar-Carpio *et al.*, 2021). Otro factor que influye directamente en la acumulación de materia fresca es la producción de arúgula en condiciones de invernadero, puesto que se acumula más materia seca debido a que los procesos metabólicos se aceleran por las altas temperaturas presentadas en comparación a campo abierto (Colorado *et al.*, 2010).

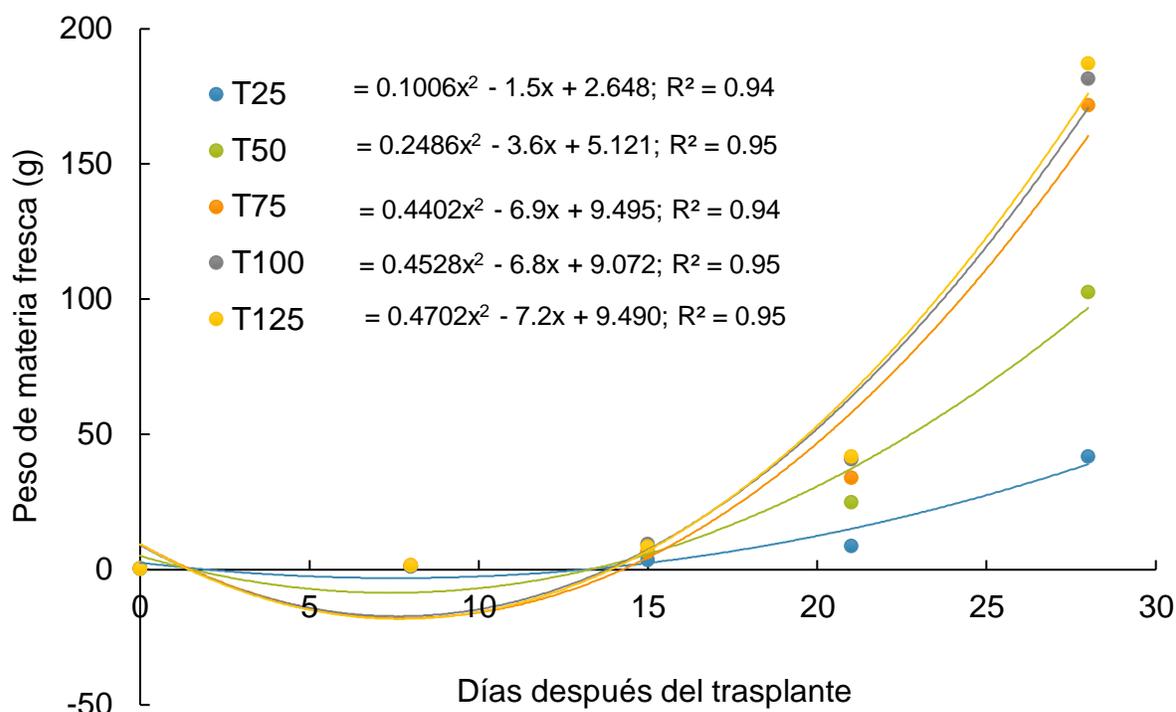


Figura 4. Peso de materia fresca del cultivo de arúgula (*Eruca sativa* Mill.) en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner.

Tasa de asimilación neta (TAN)

La mayor TAN se observó con la solución nutritiva al 125 % ($298.0 \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) (Figura 5), mientras que las concentraciones 75 y 100 % fueron similares con 208 y $226 \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$, respectivamente. Los menores valores se obtuvieron con las concentraciones 25 y 50 % (19.5 y $79.2 \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$).

A partir de los 21 ddt se observa una eficiencia fotosintética alta con una elevada acumulación de materia seca de hojas y tallos.

De acuerdo con lo reportado por Colorado *et al.* (2010) en arúgula, la TAN está influenciada por el área foliar, ya que estos autores reportaron que a mayor área foliar, mayor TAN y que factores como el número de hojas, el área foliar, la nutrición, así como la morfología de la planta (disposición de las hojas) favorece la incidencia de la radiación debido a que las reacciones bioquímicas se aceleran al aumentar la temperatura y el número de hojas por planta.

En contraste, Barrientos-Llanos *et al.* (2015), observaron en ocho hortalizas (acelga, betarraga, cebolla, espinaca, lechuga, pepino, tomate y zanahoria) una TAN elevada en los primeros días del ciclo de los cultivos y un decremento a través del tiempo.

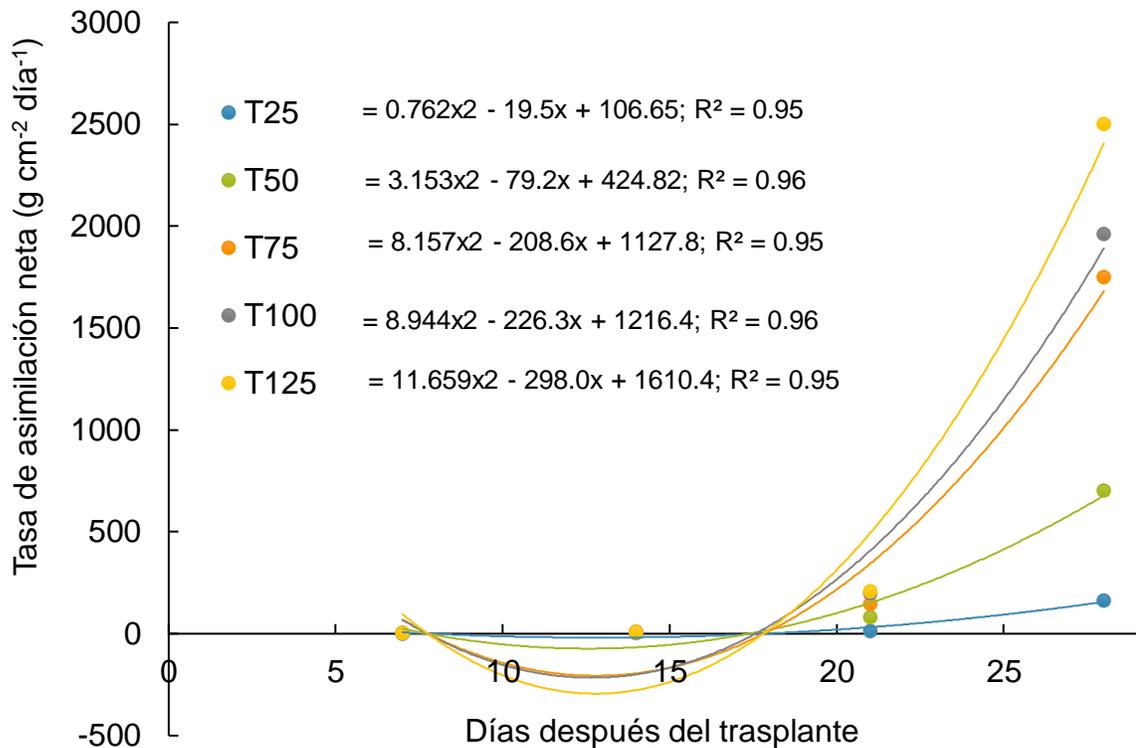


Figura 5. Tasa de asimilación neta del cultivo de arúgula (*Eruca sativa* Mill.) en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner.

Tasa absoluta de crecimiento (TAC)

La TAC (Figura 6) presentó mayor acumulación de materia seca por día, con las concentraciones de la solución nutritiva de Steiner al 75, 100 y 125 % (0.10, 0.08 y 0.11 g d⁻¹, respectivamente). El incremento se presentó del día 21 ddt hasta los 28 ddt. Para todos los tratamientos el crecimiento fue lento en un inicio, esto se reflejó en una lenta acumulación de materia seca que aumentó a medida que transcurrió

el tiempo. Cabe señalar, que la más alta acumulación de materia seca por día se registró con la solución al 125 % (0.11 g día⁻¹), la cual fue casi similar a la concentración al 75 % (0.10 g día⁻¹).

Aguilar-Carpio *et al.* (2021) observaron que en el cultivo de epazote, la más alta acumulación de materia seca por día se presentó a los 74 dds con la solución nutritiva de Steiner al 100 % (0.340 g día⁻¹), en comparación con la concentración al 75 % (0.232 g día⁻¹) y al 50 % (0.140 g día⁻¹). En la concentración al 100 % se incrementó el peso de la materia seca en 0.025 g día⁻¹, lo que indicó una mayor acumulación de materia seca, debido a un mejor aprovechamiento de los recursos nutrimentales, y esto a su vez, se relacionó con un incremento en el dosel vegetal.

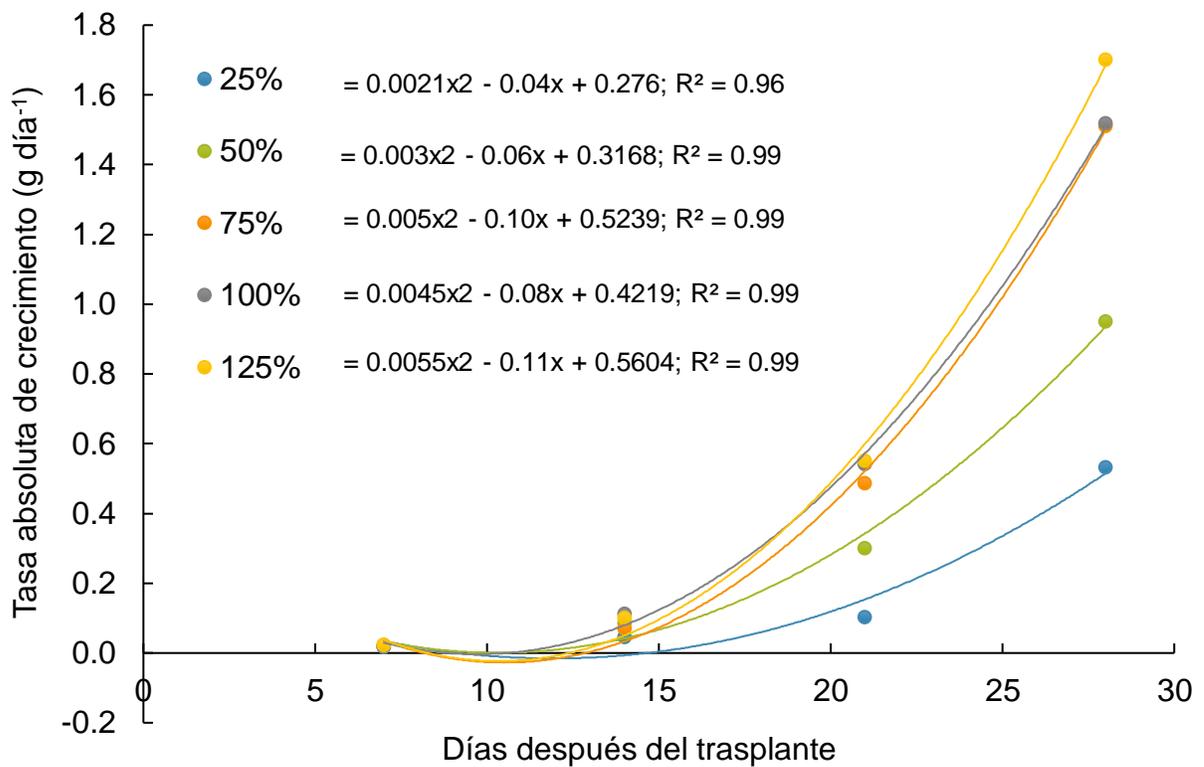


Figura 6. Tasa absoluta de crecimiento del cultivo de arúgula (*Eruca sativa* Mill.) en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner.

Peso de materia seca

Los mayores valores de peso de materia seca (Figura 7) se presentaron en las concentraciones 75, 100 y 125 % a los 28 ddt (14.70, 15.40 y 16.68 g por planta respectivamente). Esto indica que la mayor disponibilidad de nutrientes promovieron la acumulación de materia seca generada por un incremento en la actividad metabólica (Colorado *et al.*, 2010). Por el contrario, la concentración que presenta el menor valor fue el 25 % con 4.95 g por planta.

Estos resultados coinciden con los de Juárez-Rosete *et al.* (2014) quienes obtuvieron la mayor ganancia de materia seca con la concentración de la solución nutritiva al 75, 100 y 125 % en menta (*Mentha spicata* L.). Por otra parte, Cruz-Crespo *et al.* (2017) reportaron que a los 30 ddt y con las concentraciones 75 y 100 % se alcanzaron los valores más altos de materia seca en cilantro (*Coriandrum sativum* L.), al igual que lo reportado por Juárez-Rosete *et al.* (2019) en orégano (*Origanum vulgare* L.).

En adición a lo anterior, Colorado *et al.* (2010) reportaron que la arúgula producida bajo invernadero tuvo mejores condiciones para su crecimiento, mayor acumulación de materia seca y mejor desempeño en los resultados obtenidos de las principales tasas de crecimiento: tasa absoluta de crecimiento (TAC), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN), índice de área foliar (IAF), duración de área foliar (DAF), en comparación con otros sistemas de manejo como manta flotante, media sombra y cielo abierto, además de mayor rendimiento de planta entera (0.40 kg m⁻²).

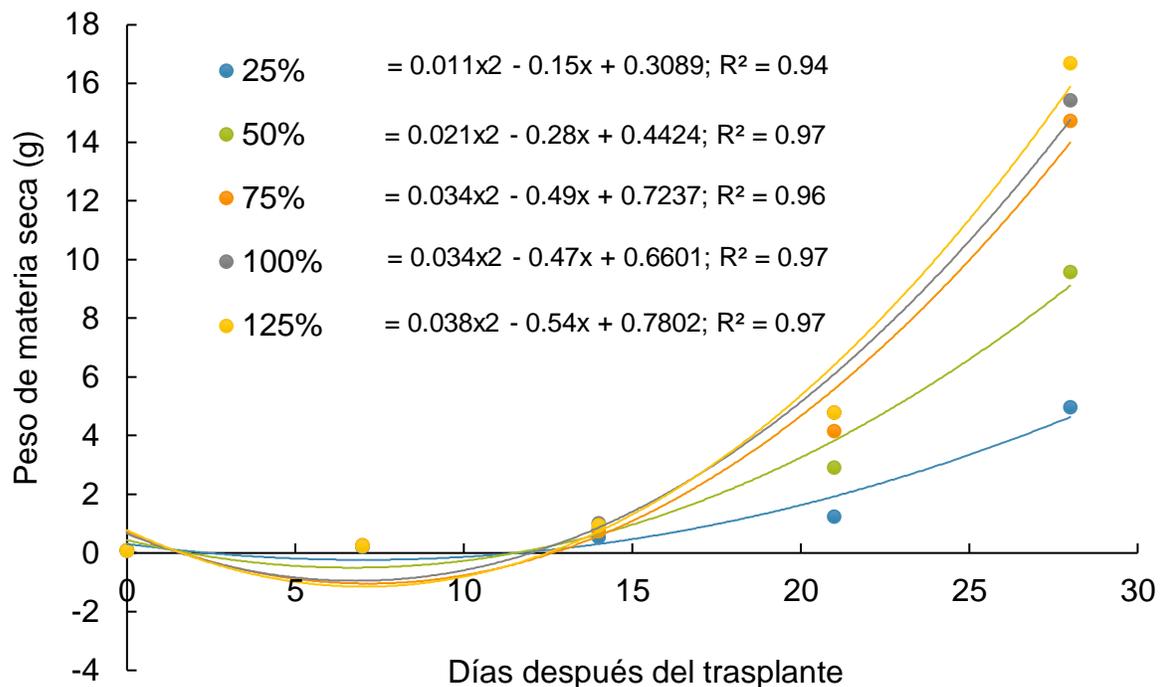


Figura 7. Peso de materia seca del cultivo de arúgula (*Eruca sativa* Mill.) en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner.

Las variables área foliar, peso de materia fresca y peso de materia seca, presentaron diferencias ($P \leq 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 3). Con excepción del área foliar, el mejor tratamiento para materia fresca y seca fue la concentración de 75 %.

La solución al 75 % de concentración, representa un ahorro de fertilizantes con respecto a la solución nutritiva al 125 % de concentración. Al respecto, Juárez-Rosete *et al.* (2019) encontraron que al aplicar el 100 % de la solución nutritiva de Steiner, el peso fresco de orégano (*Origanum vulgare* L.) disminuyó en comparación del 75 %, lo cual se debe a una excesiva nutrición que induce a limitaciones de absorción de nutrientes, dificultando así la absorción de iones por la raíz. En este sentido, las concentraciones de la solución nutritiva pueden afectar de manera diferencial el crecimiento de las plantas, en función de la especie (Aguilar-Carpio *et al.*, 2021).

Cuadro 3. Parámetros de crecimiento en arúgula (*Eruca sativa* Mill.) en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner a los 28 ddt.

Concentración (%)	Materia fresca (g por planta)	Materia seca (g por planta)	Área foliar (cm ²)
25	41.9 c	5.0 c	493.3 d
50	102.7 b	9.6 b	1119.4 c
75	171.8 a	14.7 a	2007.7 b
100	181.7 a	15.4 a	2214.7 ab
125	187.3 a	16.7 a	2638.7 a
CV (%)	12.1	11.2	14.6
DMS	36.2	3.0	540.6

Letras distintas en el sentido de las columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Conclusiones

Las tasas de asimilación neta, tasa absoluta de crecimiento, duración de área foliar y área foliar específica se ajustaron a un modelo polinomial de segundo grado.

La solución nutritiva de Steiner a concentraciones de 75, 100 y 125 % mejoraron la mayor producción de materia fresca y seca; sin embargo, la concentración de 75 % resulta más favorable debido a que representa menor uso de fertilizantes para la producción de arúgula en sustrato y en condiciones de invernadero.

Literatura citada

- Aguilar-Carpio, C., González-Maza, S. V., Juárez-López, P., Alia-Tejacal, I., Palemón-Alberto, F., Arenas-Julio, Y. R., y Escalante-Estrada, A. S. 2021. Análisis de crecimiento de epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.) cultivado en invernadero. *Biotecnia*. 23(2):113–19.
- Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, S.J. A., y Aguilar-Mariscal, I. 2015. Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Tierra Latinoamericana*. 33(1):51-62.
- Aguilar-Carpio, C., Juárez-López, P., Campos-Aguilar, I. H., Alia-Tejacal, I., Sandoval-Villa, M., y López-Martínez, V. 2018. Análisis de crecimiento y rendimiento de uchuva (*Physalis peruviana* L.) cultivada en hidroponía e invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 24(3):191-202.
- Barraza A., Benavides B., y Tamayo, Y. 2015. Análisis de crecimiento del cultivo de balsamina (*Momordica charantia* L.) en semillero. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 32(1):24.
- Barrera, J., y Melgarejo, L. 2010. Análisis de crecimiento en plantas. *Experimentos en fisiología y bioquímica vegetal*. (1978) 25-38.
- Barrientos-Llanos, H., Del Castillo-Gutiérrez, C. R., y García-Cárdenas, M. 2015. Análisis de crecimiento funcional, acumulación de biomasa y traslocación de materia seca de ocho hortalizas cultivadas en invernadero. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, La Paz*. 2(1):7-118.
- Cavaiuolo, M., y Ferrante, A. 2014. Nitrates and glucosinolates as strong determinants of the nutritional quality in rocket leafy salads. *Nutrients*. 6(4):1519–38.
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, Á., Loera-Rosales, L. J., Aguilar-Benítez, G., Pineda-Pineda, J., y Bugarín-Montoya, R. 2017. Extracción de N-P-K en *Coriandrum sativum* Pakistan en hidroponía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(2):355–67.
- Colorado, F., Rodríguez, D., y Cortés, J. 2010. Análisis de crecimiento de rúgula

- (*Eruca sativa* Mill.) en la Sabana de Bogotá, bajo dos condiciones ambientales. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. 13(1):105-113.
- Di Benedetto, A., y Tognetti, J. 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. RIA. 42(3):258–82.
- Grasso, R., Ortiz-Mackinson, M., Rotondo, R., Mondino, M. C., Calani, P., Firpo, I., Balaban, D., y Vita-Larieu, E. 2017. Productividad de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) en diferentes sistemas productivos. Agromensajes. 47:30-35.
- Juárez-Rosete, C., Olivo-Rivas, A., Aguilar-Castillo, J. A., R. Bugarín-Montoya, R., y Arrieta-Ramos, B. G. 2014. Nutrition assessment of N-P-K in mint (*Mentha spicata* L.) cultivated in soilless system. Annual Rresearch & Review in Biology. 4(15):2462–70.
- Juárez-Rosete, C., Aguilar-Castillo, J., Aburto -González, C., y Alejo-Santiago, G. 2019. Producción de biomasa, requerimiento nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio, y concentración de la solución nutritiva en orégano. Revista Chapingo, serie horticultura. 25(1):17-28
- Santos-Castellanos, M., Segura, M., y Núñez, C. E. 2010. Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. 63(1):5253–66.
- Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. In Proc. 6th International Congress on Soilless Culture (pp: 633-649). ISOSC. Wageningen, The Netherlands.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., and Murphy, A. 2014. Plant physiology and development. Sixth Edition, Sunderland, MA: Sinauer Associates. 756-764 p.
- Yang, T., Samarakoon, U., Atland, J., y Ling, P. 2021. Photosynthesis, biomass production, nutritional quality, and flavor-related phytochemical properties of hydroponic-grown arugula (*Eruca sativa* Mill.) 'standard' under different electrical conductivities of nutrient solution. Agronomy. 11(7):1107-1340.

CAPÍTULO III

EXTRACCIÓN NUTRIMENTAL DE ARÚGULA (*Eruca sativa* Mill.) CULTIVADA EN INVERNADERO

Resumen

La arúgula (*Eruca sativa* Mill.) es una hortaliza de hoja con gran aceptación mundial y alto potencial económico; debido a la escasa información sobre la nutrición del cultivo, el objetivo del estudio fue cuantificar la extracción nutrimental en plantas de arúgula con la finalidad de maximizar la eficiencia de la fertilización en el ciclo del cultivo. Se utilizó el cultivar Wild Rocket, el trasplante se hizo en bolsas de polietileno color negro con capacidad de 12 L y se utilizó tezontle rojo como sustrato con granulometría a 0.1 – 0.8 mm. Los tratamientos fueron cinco concentraciones: 25, 50, 75, 100 y 125 % de la solución nutritiva de Steiner. El experimento se llevó a cabo en Cuernavaca, Morelos, de febrero a marzo de 2020. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con seis repeticiones. Se realizaron muestreos destructivos semanales durante 28 días después del trasplante, las variables evaluadas fueron: área foliar, peso de materia fresca, concentración de macronutrientes, extracción de macronutrientes e índice de extracción de macronutrientes. La solución de Steiner a concentración de 125 % favoreció el peso de materia fresca por planta (187.3 g); sin embargo, se recomienda emplear la concentración al 75 % en la producción de arúgula en sustrato e invernadero debido al menor uso de fertilizantes. En general, el requerimiento de macronutrientes presentó un orden decreciente de la siguiente manera: K, N, Mg, Ca y P, mientras que el índice de extracción de macronutrientes a los 28 días después del trasplante fue, en kg t^{-1} : 1.3186, 0.4259, 3.5257, 0.6291 y 0.6383 de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente.

Palabras clave: *Eruca sativa* Mill., solución nutritiva, hortaliza de hoja, rendimiento de cultivos, cultivo sin suelo.

Abstract

Rocket (*Eruca sativa* Mill.) Is a leafy vegetable with great global acceptance and high economic potential; due to the scarce information on the nutrition of the crop, the objective of the study was to quantify the nutritional extraction in rocket plants to maximize the efficiency of fertilization in the crop cycle.

The Wild Rocket cultivar was used, the transplant was made in black polyethylene bags with a capacity of 12 L and red tezontle was used as a substrate with granulometry at 0.1 - 0.8 mm. The treatments were five concentrations: 25, 50, 75, 100 and 125% of Steiner's nutrient solution. The experiment was carried out in Cuernavaca, Morelos, from February to March 2020. A randomized complete block experimental design with six replications was used. Weekly destructive samplings were carried out for 28 days after transplantation, the variables evaluated were: leaf area, weight of fresh matter, concentration of macronutrients, extraction of macronutrients and macronutrient extraction index. Steiner's solution at a concentration of 125% favored the weight of fresh matter per plant (187.3 g); however, it is recommended to use the 75% concentration in the production of rocket in substrate and greenhouse due to the lower use of fertilizers. In general, the macronutrient requirement presented a decreasing order as follows: K, N, Mg, Ca and P, while the macronutrient extraction index at 28 days after transplantation was, in kg t⁻¹: 1.3186, 0.4259, 3.5257, 0.6291 and 0.6383 of N, P, K, Ca and Mg, respectively.

Key words: *Eruca sativa* Mill., nutritive solution, leafy vegetable, crop yield, soilless cultivation.

Introducción

Las hortalizas de hoja se han convertido en elemento central de una dieta saludable por su alto contenido de fibra y micronutrientes (Taffner *et al.*, 2019). La arúgula (*Eruca sativa* Mill.) ha tenido una demanda creciente en la última década debido a la tendencia de adquirir alimentos sanos, frescos y listos para consumir (Gutiérrez *et al.*, 2017); de esta hortaliza se consumen sus hojas jóvenes, las cuales son apreciadas por su aroma y sabor picante que contienen varios glucosinolatos implicados en la prevención del cáncer (Barlas, 2011; Baeza, 2015; Jasper, 2020).

En la década de los 90's se inició el cultivo de arúgula tanto al aire libre como en invernadero de Estados Unidos de Norteamérica hasta Sudamérica (Torales *et al.*, 2010). De acuerdo a Yang *et al.* (2021), esta especie se produce con éxito en hidroponía e invernadero y se puede cosechar a partir de rebrotes para asegurar la demanda anual. En México se produce principalmente bajo el sistema de huerto comercial hidropónico, en donde se cultivan al mismo tiempo y con la misma solución nutritiva que diversas hortalizas de hoja como lechuga, espinaca, cilantro, rábano, cebolla cambray, betabel, acelga, entre otras (Sánchez-Del Castillo *et al.*, 2017). A pesar de numerosas investigaciones sobre los beneficios de la arúgula, poco se ha explorado en cuanto a sus requerimientos nutricionales y para su producción, se ha empleado en la mayoría de los casos, la experiencia de productores quienes basan su cultivo en las fórmulas nutritivas para lechuga (Yang *et al.*, 2021).

Uno de los factores más importantes en el rendimiento y calidad de un cultivo, después de la disponibilidad de agua, es la nutrición (Galindo-García *et al.*, 2015). El manejo del cultivo es esencial desde el punto de vista fisiológico y económico, tiene la finalidad de aportar los nutrimentos esenciales en las cantidades y momentos adecuados para lograr el máximo potencial del cultivo. La determinación de la concentración de nutrimentos en las plantas también es útil por su aporte a la alimentación humana (Montoya-García *et al.* 2018); sin embargo, el uso excesivo

de fertilizantes provoca pérdidas, deterioro del ambiente, y disminución en la productividad y calidad de las plantas (Galindo-García *et al.*, 2015).

La extracción nutrimental ayuda a determinar el momento o etapa fenológica de un cultivo en el que un elemento es extraído en mayor o menor cantidad por una planta durante su ciclo de vida y al final del cultivo se obtiene la acumulación total del mismo, lo que permite dosificar fertilizantes durante este periodo (Valdez-Aguilar *et al.*, 2018), ésto reduce potencialmente el uso de agroquímicos y mejora la eficiencia de utilización de nutrimentos y agua con menor impacto ambiental. (Castillo-González *et al.*, 2017).

Los valores de requerimiento nutrimental permiten el establecimiento de dosis de fertilización más precisa para los cultivos, ya que indican la cantidad de nutrimentos que la planta requiere para la obtención de la mayor cantidad de producto económico, en forma de grano, fruta, flor o simplemente material vegetativo, sin permitir que el cultivo entre a la zona de consumo de lujo, con la consiguiente ventaja de ahorro en fertilizantes y la no contaminación de mantos acuíferos, por una aplicación excesiva de nutrimentos químicos (Alejo-Santiago *et al.*, 2021).

La información sobre la extracción nutrimental del cultivo de arúgula en condiciones protegidas y sin suelo es limitada; por lo que el objetivo de la presente investigación fue determinar la extracción nutrimental en plantas de arúgula cultivada en invernadero.

Materiales y métodos

El experimento se desarrolló en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos localizada en Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México; a 18° 58' 51" latitud norte, 99° 13' 55" longitud oeste y altura de 1,866 msnm. Se utilizó plántula del cultivar Wild Rocket, el trasplante se realizó en macetas de polietileno de color negro de 10 L con tezontle como sustrato. Los dos primeros días después del trasplante (ddt) los riegos fueron con agua, posteriormente se realizaron dos

veces al día de acuerdo a los tratamientos, desde el trasplante hasta antes del inicio de la floración. A partir del segundo ddt los tratamientos aplicados fueron concentraciones de la solución nutritiva de Steiner al 25, 50, 75, 100 y 125 %, que corresponden a 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 dS m⁻¹ de conductividad eléctrica (Steiner, 1984). El diseño experimental fue completamente al azar con cinco tratamientos y seis repeticiones (un total de 120 plantas). La unidad experimental fue una maceta (bolsa) con una planta.

Cuadro 4. Composición química de las soluciones nutritivas empleadas en el cultivo de arúgula (*Eruca sativa* Mill.)

Tratamiento (% solución Steiner)	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻
	----- mEq L ⁻¹ . -----					
25	2.25	1.75	1.0	3.0	0.25	1.75
50	4.50	3.50	2.0	6.0	0.50	3.50
75	6.75	5.25	3.0	9.0	0.75	5.25
100	9.00	7.00	4.0	12.0	1.00	7.00
125	11.25	8.75	5.0	15.0	1.25	8.75

En la preparación de las soluciones nutritivas se emplearon fertilizantes comerciales solubles para su uso en fertirriego: nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de magnesio, sulfato de potasio y fosfato monopotásico. El pH de las soluciones nutritivas se ajustó a 5.5 con ácido sulfúrico. Para los micronutrientes se utilizó una mezcla comercial Microsol Rexene[®] Mix SQM, a dosis de 4 g por cada 100 L de solución nutritiva. Se aplicaron riegos dos veces al día de acuerdo a los tratamientos desde el ddt hasta el inicio de la floración.

Variables evaluadas

El crecimiento del cultivo se evaluó mediante muestreos destructivos semanales de seis plantas por tratamiento, cada 7 días después del trasplante (ddt), hasta los 28 ddt. En cada muestreo se determinó el área foliar (AF) con un medidor de AF (LI-COR® 3100). También se evaluó el peso de materia fresca (g por planta), constituida por biomasa fresca aérea y materia seca constituida por planta fresca deshidratada (MS, g por planta); ambas se cuantificaron con una báscula digital (OHAUS®), con aproximación de 0.001 g. Las muestras de materia fresca (tallos y hojas, g), se deshidrataron en una estufa a 67 °C con aire forzado hasta peso constante.

Concentración de macronutrientos

Se determinó la concentración de N, por el método semi-microkjeldahl; P por colorimetría, K por flamometría, Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica (Alcantar-González y Sandoval-Villa, 1999).

Extracción de macronutrientos

Con los datos de biomasa seca total y la concentración de macro nutrientes se determinó la extracción de macronutrientos. Para calcular el requerimiento (R) se empleó la siguiente fórmula:

$$R = \frac{\text{Peso seco de la planta (g)} * \% \text{ de macronutriente}}{100}$$

La extracción se calculó para el mejor tratamiento. En la fórmula se sustituyeron los valores que se obtuvieron en las fechas de muestreo realizados para el mejor tratamiento. Se expresó en gramos por planta.

Índice de extracción de macronutrientes

Se calculó mediante la extracción de nutrientes (dado en gramos por planta) necesario para producir una tonelada de arúgula fresca. Se expresó en kg t^{-1} .

Análisis estadístico

A los datos se les realizó un análisis de varianza y comparación de medias por el método de Tukey ($\alpha \leq 0.05$), mediante el programa estadístico SAS® (SAS, 2009).

Resultados y discusión

Parámetros de crecimiento

Las variables área foliar, peso de materia fresca y peso de materia seca, presentaron diferencias ($P \leq 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 5). Con excepción del área foliar, el mejor tratamiento para materia fresca y seca en arúgula, fue la concentración de 75 % a los 28 ddt.

Cuadro 5. Parámetros de crecimiento en arúgula (*Eruca sativa* Mill.) en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner a los 28 ddt.

Concentración (%)	Materia fresca (g por planta)	Materia seca (g por planta)	Área foliar (cm^2)
25	41.9 c	5.0 c	493.3 d
50	102.7 b	9.6 b	1119.4 c
75	171.8 a	14.7 a	2007.7 b
100	181.7 a	15.4 a	2214.7 ab
125	187.3 a	16.7 a	2638.7 a
CV (%)	12.1	11.2	14.6
DMS	36.2	3.0	540.6

Letras distintas en el sentido de las columnas indican diferencias de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

La solución al 75 % de concentración, representa menor uso de fertilizantes en comparación a la solución nutritiva al 125 % de concentración. Al respecto, Juárez-Rosete *et al.* (2019) encontraron que al aplicar el 100 % de la solución nutritiva de Steiner, el peso fresco de orégano (*Origanum vulgare* L.) disminuyó en comparación del 75 %, lo cual se debe a una excesiva nutrición que induce a limitaciones de absorción de nutrientes, lo que dificulta la absorción de iones por la raíz. En este sentido, las concentraciones de la solución nutritiva pueden afectar de manera diferencial el crecimiento de las plantas, en función de la especie (Aguilar-Carpio *et al.*, 2021).

Concentración de macronutrientos

Las estimaciones para extracción de nutrimentos se hicieron para las plantas cultivadas al 75 % de concentración de la solución nutritiva de Steiner debido a que resultó ser el mejor tratamiento tanto para peso de materia fresca como para peso de materia seca.

En cuanto a la concentración de macronutrientos, en general, aumentaron a través del ciclo de cultivo de arúgula. El K fue el elemento que sobresalió en cuanto al incremento de su concentración seguido del N, desde el trasplante hasta el día 28 ddt. Esta misma tendencia fue reportada por Cruz-Crespo *et al.* (2017) en cilantro cultivado en solución nutritiva de Steiner a concentración de 75 % y a los 30 ddt.

Cuadro 6. Concentración de macronutrientos en arúgula (*Eruca sativa* Mill.) cultivada con solución Steiner a 75 % de concentración.

ddt	N	P	K	Ca	Mg
	-----%-----				
1	1.0457	0.3958	1.9664	0.3364	0.5373
7	1.1593	0.4178	2.0380	0.3950	0.5760
14	1.2020	0.4478	2.6640	0.4175	0.5837
21	1.4343	0.4763	3.9491	0.5643	0.6366
28	1.5407	0.4976	4.1193	0.7351	0.7457

ddt = Días después del trasplante

La importancia de estos resultados reside en que se presentan las concentraciones de macronutrientos durante el ciclo de cultivo, las cuales pueden ser usadas como valores de referencia en el monitoreo o diagnóstico nutrimental del cultivo de arúgula.

Extracción de macronutrientos

Cuadro 7. Extracción de macronutrientos en arúgula (*Eruca sativa* Mill.) cultivada con solución nutritiva de Steiner a 75 % de concentración.

ddt	N	P	K	Ca	Mg
	-----g por planta-----				
1	0.0006	0.0002	0.0012	0.0002	0.0003
7	0.0028	0.0010	0.0049	0.0009	0.0014
14	0.0087	0.0032	0.0192	0.0030	0.0042
21	0.0592	0.0196	0.1629	0.0233	0.0263
28	0.2265	0.0731	0.6055	0.1081	0.1096

ddt = Días después del trasplante.

Extracción acumulada de macronutrientos

El macronutriente más requerido en el cultivo de arúgula fue el potasio (K), seguido del nitrógeno (N). El orden de extracción acumulada en arúgula a través del tiempo fue $K > N > Mg > Ca > P$ (Figura 8), coincide con lo reportado por Cruz-Crespo *et al.* (2017) en cilantro, desde los 30 hasta los 90 ddt.

Esta tendencia a su vez, es similar a la reportada por Juárez-Rosete *et al.* (2019) quienes en el cultivo de orégano observaron la mayor acumulación de K, seguido de N, desde los 30 hasta los 120 ddt. Los valores de extracción de macronutrientos en orden descendente tuvieron esta secuencia: $K > N > Mg > Ca > P$.

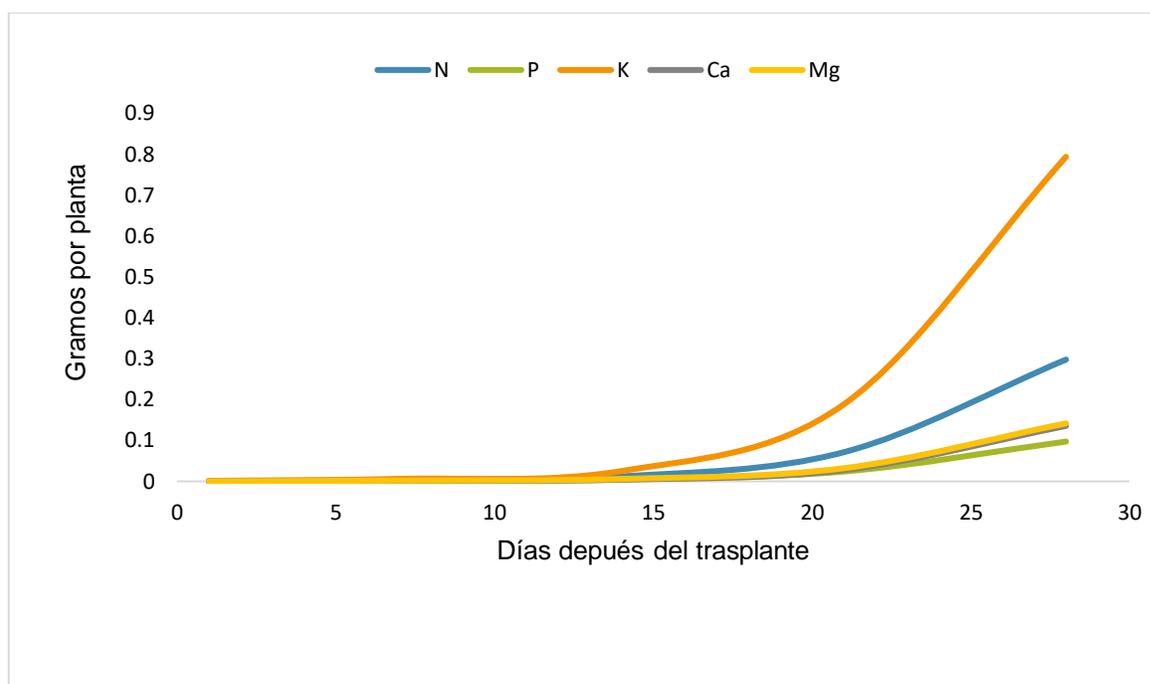


Figura 8. Extracción acumulada de macronutrientos en arúgula (*Eruca sativa* Mill.) en función de la solución nutritiva de Steiner a 75 % de concentración.

Índice de extracción de macronutrientes

El índice de extracción nutricional requerido para producir una tonelada de producto, es necesario para diseñar programas de fertilización, ya que junto con el valor de rendimiento esperado es posible calcular la demanda nutricional del cultivo (Cruz-Crespo *et al.*, 2017).

El índice de extracción de macronutrientes a los 28 ddt trasplante fue (en kg t^{-1}): 1.3186, 0.4259, 3.5257, 0.6291, y 0.6383 de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente.

El K fue el elemento de mayor demanda para arúgula, este elemento cumple funciones prioritarias de metabolismo, de activación enzimática, transporte a través de membranas celulares, regulación osmótica, y precocidad de la cosecha. No se encontró información en la literatura sobre extracción de K en arúgula, sin embargo, se ha reportado que este elemento es el de mayor demanda en cultivos como papa, tomate, pepino y lechuga (Ciampitti *et al.*, 2007) en donde el órgano aprovechable es flor, fruto o estructuras de acumulación (Bertsch, 1998).

Cuadro 8. Índice de extracción de macronutrientes en arúgula (*Eruca sativa* Mill.) cultivada con solución Steiner a 75 % de concentración.

ddt	N	P	K	Ca	Mg
	----- kg t^{-1} -----				
--					
1	1.1065	0.4188	2.0808	0.3560	0.5686
7	1.5463	0.5573	2.7183	0.5269	0.7683
14	1.3314	0.4960	2.9509	0.4624	0.6466
21	1.7376	0.5771	4.78411	0.6837	0.7712
28	1.3186	0.4259	3.5257	0.6291	0.6383

ddt: Días después del trasplante.

Conclusiones

La solución de Steiner a concentraciones de 75, 100 y 125 % favoreció el peso de materia fresca por planta (171.8, 181.7 y 187.3 g, respectivamente); sin embargo, la solución a 75 % de concentración es más recomendable, debido a que representa menos uso de fertilizantes para la producción de arúgula en sustrato y en condiciones de invernadero. Los valores de extracción de macronutrientes presentaron esta secuencia en orden decreciente: $K > N > Mg > Ca > P$. El índice de extracción de macronutrientes a los 28 días después del trasplante fue (en $kg\ t^{-1}$): 1.3186 de N, 0.4259 de P, 3.5257 de K, 0.6291 de Ca, y 0.6383 de Mg.

Literatura citada

- Aguilar-Carpio, C., González-Maza S. V., Juárez-López P., Alia-Tejacal I., Palemón-Alberto F., Arenas-Julio Y. R., y Escalante-Estrada A. S. 2021. Análisis de crecimiento de epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.) cultivado en invernadero. *Biotecnia*. 23(2):113–19.
- 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(5):1–10.
- Alcántar-González, G., y Sandoval-Villa, M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México.
- Baeza, A., Silveira, A. C. y Escalona, V. 2015. Empleo de radiación UV-C como método de desinfección para elaboración de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) mínimamente procesada. *Agrociencia Uruguay*. 36(2):26-35
- Barlas, N., Irget, M., y Tepecik, M. 2011. Mineral content of the rocket plant (*Eruca sativa*). *African Journal of Biotechnology*. 64(10):14080-1408.
- Bertsch-Hernández, G., y Quesada-Roldán, F. 2013. Obtención de la curva de extracción nutrimental del híbrido de tomate Fb-17. *Terra Latinoamericana*. 31(1):1–7.
- Castillo-González, A. M., Avitia-García, E., Valdez-Aguilar, L. A. y Velázquez-Maldonado, J. 2017. Extracción nutrimental en *lisianthus* (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) Cv. Mariachi Pink. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(2):345-354.
- Ciampitti, I. y García, F. 2007. Requerimientos nutricioneales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. *Informaciones Agronómicas, International Plant Nutrition Institut (IPNI)*.11(33):1-4.
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Loera-Rosales, L. J., Aguilar-Benítez, G., Joel Pineda-Pineda, J. y Bugarín-Montoya, R. 2017. Extracción de N-P-K en *Coriandrum sativum* Pakistan en hidroponia. *Revista Mexicana de Ciencias*

- Agrícolas. 8:355–67.
- Galindo-García, D. V., Alía-Tejacal, I., Valadéz-Aguilar, L. A., Colinas-León, M. T., Villegas-Torres, O. G., López-Martínez, V., Sainz-Aispuro, M. J. y Guillén-Sánchez, D. 2015. Extracción de macronutrientes y crecimiento en variedades de nochebuena de sol nativas de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38(3):305-312.
- Gutiérrez, D. R., Lemos, M. L., y Rodríguez, S. del C. 2017. Efecto combinado de UV-C y envasado con atmósfera modificada pasiva en la conservación de rúcula (*Eruca sativa*) cortada IV gama. *Rev. Iber. tecnología poscosecha*. 18(2):145-152.
- Jasper, J., Wagstaff, C. y Bel, L. 2020. Growth temperature influences postharvest glucosinolate concentrations and hydrolysis product formation in first and second cuts of rocket salad. *Postharvest Biology and Technology*.163(2):111-157.
- Juárez-Rosete, C., Aguilar-Castillo, J., Aburto -González, C. y Alejo-Santiago, G. 2019. Producción de biomasa, requerimiento nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio, y concentración de la solución nutritiva en orégano. *Revista Chapingo, serie horticultura*. 25(1):17-28
- Montoya-García, C. O., Volke-Haller, V. H., Trinidad-Santos, A., y Villanueva-Verduzco, C. 2018. Concentración nutrimental de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en respuesta a la fertilización con NPK. *Agrociencia*. 52(2):241–54.
- Sánchez-Del Castillo, F., Durán-Paredes, M. G., Moreno-Pérez, E. C. and Magdaleno-Villar, J.J. 2017. Variedades y densidades de población de frijol ejotero cultivado bajo invernadero e hidroponía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(5):1187.
- Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. In *Proc. 6th International Congress on Soilless Culture* (pp: 633-649). ISOSC. Wageningen, The Netherlands.
- Taffner, J., Cernava, T., Erlacher, A., y Berg, G. 2019. Novel insights into plant-associated archaea and their functioning in arugula (*Eruca sativa* Mill.). *Journal*

of Advanced Research. 19:39–48.

Torrales, A. C., Cháves, A. R. y Rodríguez, S. C. 2010. Cambios en la calidad de rúcula mínimamente procesada. Efecto de distintos envases. Revista Iberoamericana de Tecnología de Postcosecha. 11(2):196-203.

Valdez-Aguilar, L. A., Hernández-Pérez, A., Alvarado-Camarillo, D. y Cruz-Altunar, Á. 2018. Diseño de un programa de fertilización para crisantemo en base a extracción de macronutrientes. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 8(12):2263.

Yang, T., Samarakoon, U., Atland, J., y Ling, P. 2021. Photosynthesis, biomass production, nutritional quality, and flavor-related phytochemical properties of hydroponic-grown arugula (*Eruca sativa* Mill.) 'standard' under different electrical conductivities of nutrient solution. Agronomy. 11(7):1107-1340.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES GENERALES

Las tasas de asimilación neta, tasa absoluta de crecimiento, duración de área foliar y área foliar específica se ajustaron a un modelo polinomial de segundo grado.

La solución nutritiva de Steiner a concentraciones de 75, 100 y 125 % mejoraron la mayor producción de materia fresca y seca; sin embargo, se concluye que la concentración de 75 % es más favorable debido a que representa menor uso de fertilizantes para la producción de arúgula en sustrato y en condiciones de invernadero.

La solución de Steiner a concentraciones de 75, 100 y 125 % favoreció el peso de materia fresca por planta (171.8, 181.7 y 187.3 g, respectivamente); sin embargo, la solución a 75 % de concentración, es más recomendable debido a que representa menos uso de fertilizantes para la producción de arúgula en sustrato y en condiciones de invernadero. Los valores de extracción de macronutrientos presentaron esta secuencia en orden decreciente: $K > N > Mg > Ca > P$. El índice de extracción de macronutrientos a los 28 días después del trasplante fue (en $kg\ t^{-1}$): 1.3186 de N, 0.4259 de P, 3.5257 de K, 0.6291 de Ca, y 0.6383 de Mg.



Cuernavaca, Morelos, 03 de febrero de 2022.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis.

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **“ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y EXTRACCIÓN NUTRIMENTAL DE ARÚGULA (*Eruca sativa* Mill.) CULTIVADA EN INVERNADERO”** que presenta la: **ING. PAOLA ACASUSO ABE**, mismo que fue desarrollado bajo mi dirección y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 3304. fagropecuarias@uaem.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

PORFIRIO JUAREZ LOPEZ | Fecha:2022-02-04 13:52:02 | Firmante

b/sCHPJX66w/AEjjZ9bEnQOKpm7F6K7KoxaBEW6qfqlEutT49hricSAAUpC87cR851IKb6Zr76Kjvk+N73YzuDZcj2SVqjAMW65wJ/pyVtSi4i/rgV+libu3RzXGYALGAjEwWGScZuE
kj+s7uVKciq/h3dUjff6sQFd+lxmOUkFusQ0LjTITXLANF51Ly6BC7OxjZzAgPT0XiH7PuGWtw344F4XgR+2dPnmDP9nmYrRI36K9HJkamYj8JTLF80fCjnSZUF+rQHt1cY+luv60ID4
1lmlrvCdkvug/BnaZmNhrwlua74B1S0TDuUwdtJQQs39kEFJFQkg1d3gM4KnQfNg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[HBvFw0gJk](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/XYLIO6PI3OeCcWJLXB8afYJhWW7Pb8wa>





Cuernavaca, Morelos, 03 de febrero de 2022.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis.

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **“ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y EXTRACCIÓN NUTRIMENTAL DE ARÚGULA (*Eruca sativa* Mill.) CULTIVADA EN INVERNADERO”** que presenta la: **ING. PAOLA ACASUSO ABE**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. CID AGUILAR CARPIO
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 3304. fagropecuarias@uaem.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

CID AGUILAR CARPIO | Fecha:2022-02-04 15:17:53 | Firmante

oBHNEO1U8GoZ+uDz9suOMWcCqvmxmVTYEE47oS8CAxu5h4pGKrsIVq9nFF3rLVIqJOsQK2PvgIRI5PUWIVNAAEJXapR/HYM1cyRP/w8DCaKewQ0qrp9q9dQD1RlurYzXOeCaly65ibtY3tu6/0wwelwFbUlep4ZCeMpQHhwzavgSnAjtq/NCIxAxtfLfwWrQcIO/D8Ni42geAtapr/L0xQILEvb6AW8AhH9WjU1+WAGHSCzCxpPZCo1wUCqFOtURpZEgxSi4bTWLGh8eCH4zM8yfw7L5jykAfdj7xnffkTMHn0dnXaPvCRUfJvALryj13Ca/VLMD7LM4ke4zg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[QPlehpLis](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/quXS0vDmLyDL0J51RHSfrG1zFNCC2jQ5>





Cuernavaca, Morelos, 03 de febrero de 2022.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis.

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **“ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y EXTRACCIÓN NUTRIMENTAL DE ARÚGULA (*Eruca sativa* Mill.) CULTIVADA EN INVERNADERO”** que presenta la: **ING. PAOLA ACASUSO ABE**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. IRAN ALIA TEJACAL
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 3304. fagropecuarias@uaem.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

IRAN ALIA TEJACAL | Fecha:2022-02-05 07:53:33 | Firmante

HiXRDhkFjKmBo564Yqk7xwzWYgLv5FO1LptjTZAphKood/oA4FrqCK4LPhTw7M1Yoge+qK4QdbimzR/GeOxT7up7Q3of3/R3kffYIs/TLowfup4FP3jkXVZC3vFrICRKRtOhb1Tse7plQwDtALjmgNXkhCqnl6GF6mqF8G6vQaBJ9G9WYsv0PexUtrj4YZis4I0TSJABfc/Lolt/dSo/VnkpV7ypiUOXA/yj+eLOluxc4rtmrND7O+Mzu9LfV7HUXm2oXoM6QA39AZV0TXpGaBVEDeQU1bNfc5YkzqoKTeXSDSFZ11peDYP5hvnhiDJ1EwK3jSdyQ/GKoVySwdlo9g==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[VdZ3fnyRQ](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/SoXzKMaBdxXO1jR00qrclQLKHVdudrxG>





Cuernavaca, Morelos, 03 de febrero de 2022.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis.

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESÉNDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **“ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y EXTRACCIÓN NUTRIMENTAL DE ARÚGULA (*Eruca sativa* Mill.) CULTIVADA EN INVERNADERO”** que presenta la: **ING. PAOLA ACASUSO ABE**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. DANTE VLADIMIR GALINDO GARCÍA
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 3304. fagropecuarias@uaem.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

DANTE VLADIMIR GALINDO GARCIA | Fecha:2022-02-07 13:30:16 | Firmante

ISZKW+19EdlQfanTN4vhlBNSTPHmT1CHMQpK9yp/BEeKLxxcEfZwE0XWUSsY84UtZdjndRuZYpFMbo2VIHjaQWZ38FnzSGe7GwDm7DtwcG/dze+dgPv7AL4+VdNx/INyDFJ
u+HIN+6odiYoidFHW9UfNIJ2f3BlSqMl8ypATniHX6SgrM4rO2s8xz8H607y+ovw9heC0UCpR6TpxFC7wlth09CZRpbVqUljkJFAka/DEyTh8HbLNCr7hxHF5oJwVag8LxFF2bMfznQ
uQZ7VFUrKh71QpBqxy3qPii3prjvNO2OetFtVfV0Tbw9AgKcRBY+wZdQfSt73lITY/h9Aw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[cgMLtCNQ8](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/WaEp80v20M7Vx8lJhM53P22ujZvoztBa>

