

Evaluación de la dinámica del agua y nutrientes en la producción de culantro coyote (*Eryngium foetidum*) bajo dos ambientes diferentes y dos soluciones nutritivas en un sistema hidropónico

Gustavo Alonso Rodríguez Ocampo

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE PROFESIONAL DE INGENIERO
AGRÓNOMO CON EL GRADO DE LICENCIADO EN AGRONOMÍA

ESCUELA DE AGRONOMÍA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
AÑO 2018

Evaluación de la dinámica del agua y nutrientes en la producción de culantro coyote (*Eryngium foetidum*) bajo dos ambientes diferentes y dos soluciones nutritivas en un sistema hidropónico

Gustavo Alonso Rodríguez Ocampo

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE PROFESIONAL DE INGENIERO
AGRÓNOMO CON EL GRADO DE LICENCIADO EN AGRONOMÍA

_____ Freddy Soto Bravo, Ph.D.	Director de Tesis
_____ Carlos Echandi Gurdián, M.Sc.	Miembro del Tribunal
_____ Rafael Salas Camacho, Ph.D.	Miembro del Tribunal
_____ Gabriel Garbanzo León, M.Sc.	Miembro del Tribunal
_____ Gilberto Cabalceta Aguilar, M.Sc.	Presidente
_____ Gustavo Alonso Rodríguez Ocampo, Bach.	Sustentante

San José, 2018

Dedicatoria

A DIOS todo poderoso y a la Virgen María por darme salud, protección y sabiduría para poder concluir con esta etapa de desarrollo académico y personal.

A mis padres Cristóbal Cirilo y María Felicia por creer en mí y por ser un gran ejemplo para mi vida personal y espiritual, por tener una fe muy grande en Dios y por enseñarme el camino correcto para ser una persona de bien.

A mi pareja Daniela, quien ha puesto mucho esfuerzo al apoyarme incondicionalmente en todas las metas que me he propuesto.

De manera general hago una especial dedicatoria a todas las personas que de una u otra manera contribuyeron con su tiempo para finalizar este trabajo.

Gustavo R. O

Agradecimiento

El esfuerzo realizado cada año de estudio valió la pena. Durante este trayecto he conocido personas importantes de quienes he aprendido mucho, es por eso que deseo agradecer:

En primer lugar a DIOS, por darme la oportunidad de terminar mi trabajo de tesis en la Universidad de Costa Rica y por llenarme de múltiples bendiciones.

A mi familia, que siempre me apoyó con sus oraciones.

A la Universidad de Costa Rica, por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios superiores.

Al Dr. Freddy Soto Bravo, director de tesis, el cual me brindó consejos y su apoyo durante todo el proceso.

A los profesores Carlos Echandi, Gabriel Garbanzo y Rafael Salas quienes con sus observaciones enriquecieron esta investigación.

A todos los funcionarios de la Universidad que, de una u otra manera, contribuyeron con su tiempo, especialmente a Julio Vega y Andrés Oviedo, funcionarios de la EEAFBM.

A FITTACORI, por su aporte económico durante todo el proceso de investigación, ya que sin su participación no hubiera sido posible la realización del trabajo.

Gustavo R. O

Índice

Dedicatoria.....	3
Agradecimiento	4
Lista de cuadros.....	7
Lista de figuras.....	8
Lista de anexos	14
Resumen.....	16
Introducción.....	18
Objetivos	22
Objetivo general.....	22
Objetivos específicos	22
Marco teórico.....	23
La Hidroponía o cultivo sin suelo.....	23
Situación mundial del recurso hídrico y el cambio climático.....	25
Agricultura protegida	27
Solución nutritiva como mecanismo de fertilización y sus parámetros.....	28
El cultivo de culantro coyote.....	30
Protección de cultivos	32
Evapotranspiración del cultivo (ETc)	33
Variables de rendimiento en los cultivos	33
Materiales y métodos	34
Sitio experimental.....	34
Sistema de cultivo	34
Experimentos y tratamientos.....	37
Diseño experimental	39
Características climáticas	41
Variables de respuesta	46
Análisis estadístico.....	52
Resultados	54
Evapotranspiración del cultivo (ETc).....	54
Etapa 1 (sarán)	54
Etapa 2 (plástico).....	55

Índice de área foliar (IAF)	57
Etapa 1	57
Evaluaciones en la etapa 2.....	60
Tasa de crecimiento absoluto (TCA) y tasa de crecimiento relativo (TCR).....	63
Etapa 1	63
Etapa 2	65
Rendimiento.....	67
Etapa 1	67
Etapa 2	67
Eficiencia de recuperación de nutrientes (ER).....	68
Eficiencia de recuperación en etapa 1	69
Nitrógeno	69
Fósforo.....	70
Potasio.....	70
Calcio.....	70
Magnesio	70
Eficiencia de recuperación en etapa 2	71
Nitrógeno	71
Fósforo.....	72
Potasio.....	73
Calcio.....	73
Magnesio	73
Discusión.....	73
Efecto de la protección y la nutrición sobre la ETc.....	73
Efecto de la protección y la nutrición sobre el IAF, las TC y el rendimiento.	76
Efecto de la protección y la nutrición sobre ER en el cultivo de culantro coyote. ...	81
Conclusiones y recomendaciones.....	84
Conclusiones	84
Recomendaciones	85
Literatura consultada.....	86
Anexos	97

Lista de cuadros

Cuadro	Título	Página
1	Análisis físico del sustrato polvo de piedra utilizado en el cultivo de culantro coyote hidropónico.	35
2	Concentración de nutrientes en las soluciones nutritivas utilizadas en los tratamientos con un nivel de nutrición bajo (NB) y un nivel de nutrición alto (NA).	38
3	Características de los tratamientos experimentales durante etapa 1 y 2.	39
4	Valores promedio de temperatura (°C) y humedad relativa (%) de máximas, mínimas y de promedios, bajo tratamientos sin protección (SP) y con protección (CP).	41
5	Fuentes de variación del modelo estadístico utilizado en el análisis de los datos para el cultivo de culantro coyote (<i>Eryngium foetidum</i>) hidropónico.	53
6	Valores de rendimiento (kg m ⁻²) obtenidos al finalizar la etapa 1 del cultivo de culantro coyote hidropónico, Alajuela, Costa Rica, 2016.	68
7	Valores de rendimiento (kg m ⁻²) obtenidos al finalizar la etapa 2 del cultivo de culantro coyote hidropónico, Alajuela, Costa Rica, 2016.	69

Lista de figuras

Figura	Título	Página
1	Protección del cultivo durante las etapas 1 (Figura 1a) y 2 (Figura 1b) del experimento.	38
2	Diseño experimental para un arreglo factorial 2 x 2 en parcelas divididas de culantro coyote en hidroponía.	40
3	Integral de radiación solar diaria (DLI) ($\text{mol m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) en las diferentes semanas del ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico durante etapa 1, Alajuela, Costa Rica, 2016. Las siglas SP y CP indican la condición sin y con protección, respectivamente.	42
4	Integral de radiación solar diaria (DLI) ($\text{mol m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) en las diferentes semanas del ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico durante etapa 2, Alajuela, Costa Rica, 2016. Las siglas SP y CP indican la condición sin y con protección, respectivamente.	43
5	Precipitación diaria (mm), promedio (mm) y acumulada (mm) en las diferentes semanas del ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico durante etapa 1, Alajuela, Costa Rica, 2016. Las siglas SP y CP indican la condición sin y con protección, respectivamente.	44
6	Precipitación diaria (mm), promedio (mm) y acumulada (mm) en las diferentes semanas del ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico durante etapa 2, Alajuela, Costa Rica, 2016. Las siglas SP y CP indican la condición sin y con protección, respectivamente.	45
7	Valores de conductividad eléctrica (μS) en la solución drenada obtenidos en las diferentes semanas de la etapa 1 en el cultivo hidropónico de culantro coyote, Alajuela, Costa Rica, 2016. Las siglas indican la condición de protección y nivel de nutrición respectivo: SA: sin protección y nutrición alta, SB: sin protección y nutrición baja, CA: con protección y nutrición alta y CB: con protección y nutrición baja.	47

- Valores de conductividad eléctrica (μS) en la solución drenada obtenidos en las diferentes semanas de la etapa 2 en el cultivo hidropónico de culantro coyote, Alajuela, Costa Rica, 2016. Las siglas indican la condición de protección y nivel de nutrición respectivo: SA: sin protección y nutrición alta, SB: sin protección y nutrición baja, CA: con protección y nutrición alta y CB: con protección y nutrición baja. 48
- Valores de pH obtenidos de la solución drenada en las diferentes semanas de la etapa 1 en el cultivo hidropónico de culantro coyote, Alajuela, Costa Rica, 2016. Las siglas indican la condición de protección y nivel de nutrición respectivo: SA: sin protección y nutrición alta, SB: sin protección y nutrición baja, CA: con protección y nutrición alta y CB: con protección y nutrición baja. 49
- Valores de pH obtenidos de la solución drenada en las diferentes semanas de la etapa 2 en el cultivo hidropónico de culantro coyote, Alajuela, Costa Rica, 2016. Las siglas indican la condición de protección y nivel de nutrición respectivo: SA: sin protección y nutrición alta, SB: sin protección y nutrición baja, CA: con protección y nutrición alta y CB: con protección y nutrición baja. 50
- Efecto del factor protección (11A) y del factor nutrición (11B) sobre la evapotranspiración (ETc) (mm) en el ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 1, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media ($n=10$). Letras diferentes en cada evaluación indican efecto estadísticamente significativo ($P<0,05$) del factor protección (11A) y nutrición (11B). 55
- Efecto del factor protección (12A) y del factor nutrición (12B) sobre la evapotranspiración (ETc) (mm) en los diferentes días de evaluación después de cosecha en el cultivo de culantro coyote hidropónico en 56

la etapa 2, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (n= 10). Letras diferentes en cada evaluación indican efecto estadísticamente significativo (P<0,05) del factor protección (12A) y nutrición (12B). El símbolo * indica efecto estadísticamente significativo (P<0,05) de la interacción protección por nutrición.

- 13** Efecto de la interacción protección por nutrición sobre la evapotranspiración (ETc) (mm) a los 10 días del ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 2, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (n= 5). 57
- 14** Efecto del factor protección (14A) y del factor nutrición (14B) sobre el índice de área foliar (IAF: m² m⁻²) en el ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 1, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (n = 10). Letras diferentes en cada semana indican efecto estadísticamente significativo (P<0,05) del factor protección (14A) y nutrición (14B)). El símbolo * indica efecto estadísticamente significativo (P<0,05) de la interacción protección por nutrición. 58
- 15** Efecto de la interacción protección por nutrición sobre el índice de área foliar (IAF: m² m⁻²) a los 40 días del ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 1, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (n= 5). 59
- 16** Efecto de la interacción protección por nutrición sobre el índice de área foliar (IAF: m² m⁻²) a los 50 días del ciclo de cultivo de culantro 60

- coyote hidropónico en la etapa 1, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (n= 5).
- 17 Efecto del factor protección (17A) y del factor nutrición (17B) sobre el índice de área foliar (IAF: $m^2 m^{-2}$) en los diferentes días de evaluación después de cosecha en el cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 2, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (n = 10). Letras diferentes en cada semana indican efecto estadísticamente significativo ($P < 0,05$) del factor protección (17A) y nutrición (17B).). El símbolo * indica efecto estadísticamente significativo ($P < 0,05$) de la interacción protección por nutrición. 61
- 18 Efecto de la interacción protección por nutrición sobre el índice de área foliar (IAF: $m^2 m^{-2}$) a los 50 días del ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 2, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (n= 5). 62
- 19 Efecto del factor protección (19A) y del factor nutrición (19B) sobre la tasa de crecimiento absoluto (TCA) ($g día^{-1}$) en el ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 1, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (n = 10). Letras iguales en cada semana indican efecto estadísticamente no significativo ($P < 0,05$) del factor protección (19A) y nutrición (19B). 63
- 20 Efecto del factor protección (20A) y del factor nutrición (20B) sobre la tasa de crecimiento relativo (TCR) ($g g^{-1} día^{-1}$) en el ciclo de cultivo de 64

culantro coyote hidropónico en la etapa 1, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media ($n = 10$). Letras iguales en cada semana indican efecto estadísticamente no significativo ($P < 0,05$) del factor protección (20A) y nutrición (20B).

- 21** Efecto del factor protección (21A) y del factor nutrición (21B) sobre la tasa de crecimiento absoluto (TCA) (g día^{-1}) en los diferentes días de evaluación después de cosecha en el cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 2, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Letras iguales en cada semana indican efecto estadísticamente no significativo ($P < 0,05$) del factor protección (21A) y nutrición (22B). 65
- 22** Efecto del factor protección (22A) y del factor nutrición (22B) sobre la tasa de crecimiento relativo (TCR) ($\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) en los diferentes días de evaluación después de cosecha en el cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 2, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Letras iguales en cada semana indican efecto estadísticamente no significativo ($P < 0,05$) del factor protección (22A) y nutrición (22B). 66
- 23** Efecto del factor protección (23A) y del factor nutrición (23B) sobre la eficiencia de recuperación acumulada (ER) de Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) (g g^{-1}) en el ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 1, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media ($n = 10$). Letras diferentes en cada semana indican efecto estadísticamente significativo ($P < 0,05$) del factor protección (23A) y nutrición (23B). 69

- 24 Efecto del factor protección (24A) y del factor nutrición (24B) sobre la eficiencia de recuperación acumulada (ER) de Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) (g g^{-1}) en el ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico durante la etapa 2, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media ($n = 10$). Alajuela, Costa Rica, 2016. Letras diferentes en cada semana indican efecto estadísticamente significativo ($P < 0,05$) del factor protección (24A) y nutrición (24B). 72
-

Lista de anexos

Anexo	Título	Página
1	Resultado de los análisis químicos de aguas en el ciclo de cultivo de culantro coyote (<i>Eryngium foetidum</i>) hidropónico durante la etapa 1, Alajuela, Costa Rica en el año 2016.	98
2	Resultado de los análisis químicos de aguas en el ciclo de cultivo de culantro coyote (<i>Eryngium foetidum</i>) hidropónico durante la etapa 2, Alajuela, Costa Rica en el año 2016.	100
3	Resultado de los análisis químicos foliar y de raíz del almácigo del cultivo de culantro coyote (<i>Eryngium foetidum</i>) hidropónico, Alajuela, Costa Rica en el año 2016.	102
4	Resultado del análisis químico foliar en el ciclo del cultivo de culantro coyote (<i>Eryngium foetidum</i>) hidropónico durante la semana 1 y 2 en la etapa 1, Alajuela, Costa Rica en el año 2016.	103
5	Resultado del análisis químico foliar en el ciclo del cultivo de culantro coyote (<i>Eryngium foetidum</i>) hidropónico durante la evaluación 3 y 4 en la etapa 1, Alajuela, Costa Rica en el año 2016.	104
6	Resultado del análisis químico foliar en el ciclo del cultivo de culantro coyote (<i>Eryngium foetidum</i>) hidropónico durante la evaluación de rendimiento en la etapa 1, Alajuela, Costa Rica en el año 2016.	105
7	Resultado del análisis químico foliar en el ciclo del cultivo de culantro coyote (<i>Eryngium foetidum</i>) hidropónico durante la evaluación 1, 2, 3 y 4 en la etapa 2, Alajuela, Costa Rica en el año 2016.	106
8	Resultado del análisis químico foliar en el ciclo del cultivo de culantro coyote (<i>Eryngium foetidum</i>) hidropónico durante la evaluación de rendimiento en la etapa 2, Alajuela, Costa Rica en el año 2016.	107
9	Etapas fenológicas del cultivo de culantro coyote según días después del trasplante (DDT) y grados día (G.D) con y sin sarán (etapa 1), considerando número de hojas, longitud de hoja (cm), peso fresco	108

aéreo (g) y área foliar (cm²).

10	Etapas fenológicas del cultivo de culantro coyote según días después de cosecha (DDC) y grados día (G.D) con y sin techo plástico (etapa 2), considerando número de hojas, longitud de hoja (cm), peso fresco aéreo (g) y área foliar (cm ²).	108
-----------	---	-----

Resumen

Debido a una buena apertura del culantro coyote en el mercado internacional, en Costa Rica se han venido explotando áreas más grandes para cumplir con la demanda. Sin embargo, hoy en día, la producción masiva de este cultivo ha causado impactos negativos en el ambiente, especialmente en el suelo y el agua. Además, se han presentado problemas de inocuidad con el producto final, ante el mercado de los Estados Unidos, así como problemas fitosanitarios asociados a bajos rendimientos, poniendo en riesgo la estabilidad de la oferta. El cultivo hidropónico de culantro coyote es una alternativa para mejorar el sistema de producción convencional, ya que podría aumentar la producción y reducir el uso excesivo de agroquímicos en el cultivo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de dos soluciones nutritivas y el uso de protección sobre la dinámica del agua y de los nutrientes, el crecimiento y la producción de culantro coyote en hidroponía. El trabajo se realizó en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM) ubicada en La Garita de Alajuela. Se utilizó un sistema de cultivo en bancales, con polvo de piedra como sustrato. Se utilizaron cuatro tratamientos, en donde se evaluó el efecto de la interacción al combinar protección (uso de sarán o techo plástico) y nutrición (con un nivel de nutrición alto o bajo); los tratamientos evaluados fueron los siguientes: 1. Con protección + solución nutritiva con alta concentración de nutrientes (CA). 2. Con protección + solución nutritiva con baja concentración de nutrientes (CB). 3. Sin protección + solución nutritiva con alta concentración de nutrientes (SA), 4. Sin protección + solución nutritiva con baja concentración de nutrientes (SB). El trabajo se realizó en dos etapas: 1. En verano con protección de sarán desde el trasplante hasta la primera cosecha. 2. En invierno protegido con techo plástico, desde la primera cosecha hasta la segunda cosecha. Cada etapa correspondió a un ciclo de crecimiento hasta producción de dos meses. Las variables evaluadas fueron: evapotranspiración de cultivo (ETc), índice de área foliar (IAF), tasas de crecimiento absoluto (TCA) y relativo (TCR), rendimiento y eficiencia de recuperación de nutrientes (ER). La ETc en la etapa 1 obtuvo una mayor respuesta al cambio de condición, comparado con la nutrición, con incrementos al final del ciclo de 63% en promedio. En la etapa 2 se presentó

interacción significativa entre protección y nutrición a los 10 del ciclo del cultivo. El IAF presentó interacción protección por nutrición a los 40 y 50 DDT en la etapa 1, mientras que en la etapa 2 presentó una interacción protección por nutrición a los 50 DDT. No hubo respuesta en la TCA en ambas etapas, a ningún factor y la TCR presentó únicamente una respuesta a la nutrición a los 30 DDT en la etapa 1, presentando una variación de 67% entre niveles de nutrición, mientras que en la etapa 2 no hubo respuesta. El rendimiento fue afectado por el efecto independiente de los factores protección y nutrición durante la etapa 1; en la etapa 2 solo hubo efecto producto del factor nutrición. Al finalizar ambos ciclos, la ER de los nutrientes N, P, K, Ca y Mg fue afectada por efectos independientes de ambos factores. En este trabajo, se concluyó que el uso de sarán redujo en el establecimiento del cultivo, las pérdidas de agua por evaporación y el uso de techos plásticos no generó un efecto evidente, posiblemente producto de las condiciones ambientales asociadas a la época lluviosa, lo que afectó los requerimientos de agua y por ende la ETc. También el uso de protección y un nivel de nutrición alto, a lo largo de las semanas de evaluación favoreció la obtención de un mayor rendimiento en términos de IAF, posiblemente producto de una mayor disponibilidad de nutrientes y menor exposición a condiciones ambientales extremas, como alta radiación en la etapa 1 y mayor precipitación en la etapa 2. Las ER fueron mayores principalmente cuando el nivel de nutrición fue bajo y el cultivo estuvo bajo protección, lo que indica que estas condiciones permitirían hacer un mejor uso de los fertilizantes en comparación con las condiciones opuestas en ambas etapas.

Introducción

La agricultura en la actualidad se enfrenta a cambios importantes debido al aumento de la temperatura y a la disminución de la precipitación. Según Reid *et al* (2015), la agricultura actual debe enfrentarse a una población humana en constante crecimiento, variaciones drásticas a nivel del clima y un buen manejo del recurso hídrico.

Se espera que la población mundial se incremente en más de 40% en los próximos 40-45 años, pasando de los actuales 6600 millones de personas a 9600 millones en el año 2050 (ONU, 2014). Según Brenes y Araya (2013,). En Costa Rica el crecimiento demográfico para el año 2050 superará los 6 millones de habitantes, situación que generará en el país una mayor demanda de alimentos y por ende una mayor presión sobre los recursos naturales, destacando de mayor forma el recurso hídrico (Constant *et al.*, 2014).

Un factor por considerar en el escenario pronosticado de cambio climático es el acceso y disponibilidad actual y futura del agua. The World Meteorological Organization (2007) plantea el fenómeno del cambio climático como una amenaza por considerar en la disponibilidad de agua potable y para el riego de los cultivos, dado que se pronostican cambios en el régimen de precipitaciones y en las temperaturas, sequías más intensas y prolongadas, tormentas tropicales e inundaciones más fuertes; fenómenos que incidirán de manera decisiva en la disponibilidad presente y futura del agua, tanto para consumo como para uso agrícola (Rojas *et al.*, 2003, Wells, 2006).

La agricultura es extremadamente vulnerable al cambio climático. Los cambios en los regímenes de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo. En general se espera que los impactos del cambio climático sean negativos para la agricultura, amenazando la seguridad alimentaria mundial (IFPRI, 2009).

Como alternativa a estas problemáticas se encuentra la técnica llamada hidroponía, la cual es una herramienta que permite el cultivo de plantas sin suelo. Un cultivo hidropónico es un sistema aislado del suelo, utilizado para cultivar plantas cuyo crecimiento es posible gracias al suministro adecuado de los requerimientos hídricos y nutricionales, a través del agua y solución nutritiva. Con la técnica de cultivo sin suelo es posible obtener hortalizas de excelente calidad y sanidad, permitiendo un uso más eficiente del agua y los nutrientes. Basados en la experiencia, los rendimientos por unidad de área cultivada son altos debido a una mayor densidad, mayor productividad por planta y eficiencia en el uso de los recursos agua, luz y nutrientes (Beltrano y Gimenez, 2015).

Asociado a la hidroponía se tiene comúnmente la agricultura protegida, esta ofrece beneficios tales como altos rendimientos y mayor calidad, mayores niveles de sanidad e inocuidad de los productos obtenidos, seguridad en la producción con cierta independencia del clima, acceso a mejores mercados y potencial de alta rentabilidad económica. Por dichas razones el cultivo protegido ha experimentado un sustancial crecimiento a nivel mundial. Estas técnicas, cada día le ganan más terreno a la producción en suelo, debido a que logran mayor eficiencia y control del riego y la nutrición mineral, ausencia inicial de plagas, enfermedades y malezas, facilidad de esterilización de los sustratos, posibilidad de usar aguas duras o con mayor salinidad, mayor rendimiento y calidad, y más sanidad e inocuidad, entre otras (Cánovas y Magán, 2003, Alarcón, 2006, Raviv y Lieth, 2008, citados por Sánchez *et al.*, 2014).

El culantro coyote es un cultivo que se ha consumido tradicionalmente en Costa Rica desde hace muchos años. La primera exportación se realizó en 1990 a Miami, Florida y en el siguiente año en la zona Atlántica de nuestro país se estableció la primera planta de empaque (Alvarado *et al.*, 1999, citado por Cerdas y Montero, 2016). En los últimos años, la actividad ha crecido y en zonas como Linda Vista, 52 millas, Santa Marta y Bajos del Tigre en Siquirres y Tres Equis, Chitaría y Pílon de Azúcar en Turrialba se ha convertido en una opción para exportar a mercados en Miami y New York en Estados Unidos, además de Canadá en Norteamérica, favoreciendo a más de 150 pequeños y medianos productores, así

como a sus familias (Cerdas y Montero 2016). En Linda Vista, 52 millas, Santa Marta y Bajos del Tigre hay más de 50 hectáreas en producción (Durán *et al.*, 2009).

Costa Rica es el principal país exportador de culantro coyote en la región, con un aproximado de 300,000 cajas por año. Cada caja consta de 40 rollos, con un peso promedio de 200 gramos por rollo. El monto total de las exportaciones anuales equivale a \$5,1 millones con lo que se beneficia cerca de 200 familias de agricultores de la provincia de Limón y Cartago (Lavagni y Rodríguez, 2009). En el año 2007 en Costa Rica se registraron 1600 TM de hojas frescas de culantro, mientras que en República Dominicana se produjeron 500 TM, y en Puerto Rico cerca de 260 TM (Morales *et al.*, 2013).

Según Eunice (2006), debido a la buena apertura del culantro coyote en el mercado internacional, en Costa Rica se han venido explotando áreas más grandes para cumplir con la demanda. Sin embargo, hoy en día, la producción masiva de este cultivo ha causado impactos negativos en el ambiente, especialmente en el suelo y el agua. Además, se han presentado problemas de inocuidad con el producto, así como problemas fitosanitarios ante el mercado de los Estados Unidos, poniendo en riesgo la estabilidad de la oferta nacional.

Actualmente en el país la siembra en suelo se realiza de forma directa mediante el voleo de la semilla, con un uso intensivo de herbicidas y nematicidas. Estas prácticas alargan el tiempo para el inicio de la cosecha, y repercuten negativamente en la uniformidad y productividad del cultivo, ya que se obtienen rendimientos de 4 rollos m⁻², siendo factible alcanzar hasta 20 rollos. Lo anterior sucede debido a problemas técnicos de producción, como, por ejemplo: selección de semilla, siembra al voleo, alto uso de plaguicidas por enfermedades de hongos telúricos y babosas, así como al uso excesivo de Paraquat y Oxamyl para el control de malezas y nematodos (hasta 10 aplicaciones al año, una por cada corta o cosecha). Según un informe presentado por el Servicio Fitosanitario del Estado (2014) sobre residuos de plaguicidas en vegetales, se encontró que el culantro coyote es el vegetal fresco que presenta mayor presencia de residuos, superando el límite máximo permitido en el territorio nacional.

Por otra parte, si se logra disminuir dichos impactos en la producción de culantro coyote, además de ayudar a los productores, se agregaría mayor valor al producto final, creando una mayor sostenibilidad en los sistemas de producción. Por esta razón, es necesario realizar investigaciones que tiendan a mejorar los sistemas actuales de producción y a incrementar la rentabilidad de los mismos; como por ejemplo el evaluar la dinámica del agua y de los nutrientes de los sistemas de producción de culantro coyote en hidroponía.

En nuestro país la falta de información técnica sobre el uso del agua, nutrientes y crecimiento de los diferentes cultivos en sistemas hidropónicos bajo las diferentes condiciones ambientales que imperan, causa la necesidad de realizar investigación que permita generar información y tecnología para la producción de culantro coyote hidropónico. Por lo cual se plantea como objetivo de este trabajo evaluar el efecto de dos soluciones nutritivas y el uso de protección sobre la dinámica del agua y de los nutrientes, el crecimiento y la producción de culantro coyote en hidroponía. Con este objetivo se pretende mejorar el sistema productivo actual de culantro coyote, bajar la carga química, mitigando su impacto en el ambiente; además, se busca aumentar la eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de dos soluciones nutritivas y el uso de protección sobre la dinámica del agua y de nutrientes, el crecimiento y la producción de culantro coyote en hidroponía.

Objetivos específicos

- ❖ Determinar si el efecto de la concentración de nutrientes sobre la dinámica del agua (ETc) varía o no según el sistema de protección impuesto en el cultivo de culantro coyote.
- ❖ Determinar si la tasa de crecimiento y el rendimiento del cultivo hidropónico de culantro coyote varía o no al incrementar la concentración de nutrientes al pasar de un régimen de radiación solar con sombra a otro sin sombra.
- ❖ Determinar si la tasa de crecimiento y el rendimiento del cultivo hidropónico de culantro coyote varía o no al incrementar la concentración de nutrientes al pasar de una condición microclimática protegida con techos plásticos a otra no protegida.
- ❖ Evaluar si la eficiencia del uso de macronutrientes en el cultivo hidropónico de culantro coyote varía o no al incrementar su concentración según el sistema de protección impuesto.

Marco teórico

La Hidroponía o cultivo sin suelo

Según Beltrano y Gimenez (2015) la palabra hidroponía se deriva del griego hidro (agua) y ponos (labor o trabajo) lo cual significa literalmente trabajo en agua. Sin embargo, en la actualidad se utiliza para referirse al cultivo sin suelo. En Costa Rica, esta técnica ha tomado gran impulso y se han puesto en práctica proyectos comerciales en producción de hortalizas en el ámbito de pequeñas y medianas empresas familiares (Soto, 2007).

La hidroponía es un conjunto de técnicas que permite el cultivo de plantas en un medio libre de suelo. La hidroponía permite en estructuras simples o complejas producir plantas principalmente de tipo herbáceo aprovechando sitios o áreas como azoteas, suelos infértiles, terrenos escabrosos, invernaderos climatizados o no. A partir de este concepto se desarrollaron técnicas que se apoyan en sustratos (medios que sostienen a la planta), o en sistemas con aportes de soluciones de nutrientes estáticos o circulantes, sin perder de vistas las necesidades de la planta como la temperatura, humedad, agua y nutrientes (Beltrano y Gimenez, 2015).

Uno de los principales factores que determinan el éxito de un cultivo sin suelo es la calidad del sustrato. Esta se puede evaluar determinando sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas. La granulometría y el tipo de material determinan las características físicas de un sustrato, dentro de las cuales es importante determinar índice de grosor, densidad aparente, densidad real y retención de humedad a diferentes presiones de succión, factores que permiten calcular la porosidad total y la relación aire y agua del sustrato. Al igual que un suelo, los sustratos se componen de una porción de aire, agua, y una fase sólida (fracción orgánica y/o mineral), con la diferencia de que la parte sólida del sustrato es muy inferior y la fracción ocupada por aire más agua es mucho mayor que en el suelo. Esto hace que las metodologías de análisis agronómico, así como el manejo del riego y la nutrición de cultivos en suelo y en sustrato sean diferentes (Soto, 2007).

En cultivos sin suelo, es muy importante asegurarse antes de sembrar que el sustrato tenga las características físicas óptimas, ya que una vez establecido el cultivo es imposible mejorarlas. Caso contrario sucede con las propiedades químicas, las cuales es posible enmendar en el ciclo de cultivo. Por ejemplo, un exceso de sales se puede corregir mediante lavado; altos o bajos niveles de uno o varios nutrientes puede solucionarse ajustando las concentraciones en la solución nutritiva utilizada en el riego (Soto, 2007).

Uno de los principales aspectos que justifica la producción en hidroponía es la salud del consumidor, ya que permite obtener alimentos más limpios y menos contaminados, bajo el concepto de agricultura limpia, sostenible o de bajos insumos. La hidroponía es una técnica de aplicación masiva que representa una opción más de producción agrícola, permitiendo aprovechar espacios en suelos contaminados y agotados no aptos para la agricultura tradicional u orgánica (Soto, 2015). Según un censo realizado durante el año 2008, el área de producción hidropónica promedio en Costa Rica es de 2681 m² por productor, destacando principalmente hortalizas de hoja, con un área total de 25,3 ha (Marín, 2010).

Otro de los aspectos más importantes a considerar en el manejo del riego y la nutrición en hidroponía es la problemática que causan los excesos de los fertilizantes, ya que estos afectan el ambiente, el rendimiento del cultivo, la calidad de los alimentos vegetales, y consecuentemente la salud del consumidor. En los sistemas hidropónicos, usualmente se aplican altas concentraciones de fertilizantes con excesivos aportes en la solución nutritiva, debido a la falta de métodos de control en el fertirriego. Las altas concentraciones de fertilizantes, como por ejemplo nitratos, en productos vegetales y en el agua potable han sido relacionados con la enfermedad denominada metahemoglobinemia en lactantes (Smith, 2009) y con cáncer gástrico (Oniyeson *et al.*, 2006).

Situación mundial del recurso hídrico y el cambio climático

La extracción anual de agua a nivel mundial para el riego de los cultivos se estima en 2,710 km³ (FAO, 2011), o aproximadamente el 70% de las extracciones totales de agua (3,862 km³) por año (FAO, 2011). Las estimaciones de futuras zonas de riego dependen altamente de la eficiencia en el uso del agua y su relación con las necesidades hídricas reales. Esto, a su vez, depende de la interacción entre los efectos negativos causados por aumento de la temperatura (aumento de la demanda evaporativa y la respiración durante la noche, lo que resulta en la disminución de potencial de producción primaria neta) y mejoras de CO₂ (aumento de la eficiencia fotosintética, la reducción del uso del agua y la reducción de las tasas de respiración) (FAO, 2011).

Aunado a lo anterior se habla de que el crecimiento demográfico mundial de habitantes causa un incremento en la demanda mundial de alimentos, y consecuentemente en el consumo de agua y fertilizantes en los cultivos (Galloway *et al.*, 2004). A esto se le une el cambio climático, el cual ya está causando consecuencias graves en la agricultura. Algunos estudios realizados han demostrado que la escasez de agua para el riego podría llegar a duplicar los efectos perjudiciales del cambio climático en el área agrícola, debido a la reducción de los rendimientos en los cultivos (Elliot *et al.*, 2013).

El recurso hídrico es de particular importancia cuando se analiza el cambio climático debido a que las consecuencias principales esperadas de este fenómeno están relacionadas con aumentos y disminuciones en la precipitación, así como cambios en su patrón estacional. Además, este recurso representa un vínculo entre el sistema natural y el sistema social, por ejemplo, la producción agrícola está asociada muchas veces a regímenes hídricos específicos, cuyas variaciones afectan la calidad y cantidad de los productos; por eso toman gran importancia en la discusión sobre vulnerabilidad (Echeverría, 2011). Además, el recurso hídrico está muy relacionado a la eficiencia del uso de los nutrientes y otros componentes de los sistemas productivos (Rashed y Darwesh, 2015).

En términos generales, Costa Rica presenta dos regímenes climáticos, Pacífico y Caribe, ambos con épocas secas y lluviosas. Los eventos meteorológicos más frecuentes y que producen eventos extremos son: depresiones tropicales, ondas tropicales, sistemas de baja presión, vaguadas y frentes fríos (MINAE, 2014).

La variabilidad climática de Costa Rica se relaciona con el fenómeno ENOS (Burghila *et al.*, 2015). La señal del Niño Oscilación Sur es más clara que la de la Niña. Durante el Niño existe mayor probabilidad de que toda la vertiente Pacífica y región Central experimenten condiciones de secas a secas extremas, mientras en el Caribe existe una mayor probabilidad de escenarios lluviosos extremos. Durante La Niña, los escenarios lluviosos extremos tienen más probabilidad de ocurrir en la vertiente Pacífica, la región Central y Zona Norte, mientras que el Caribe tiene mayores probabilidades de escenarios deficitarios (MINAE, 2014).

Esto hace pensar que a mediano plazo los acuíferos disponibles no serán suficientes para abastecer la creciente demanda de agua. Además, el incremento en la demanda de alimentos aumentará su consumo y por ende el de los fertilizantes. Según Oenema *et al* (2009), lo anterior posiblemente ocasione un riesgo de contaminación de los recursos hídricos, y consecuentemente de los productos agrícolas. La contaminación de los recursos hídricos provenientes de la agricultura es un tema que recientemente ha cobrado gran relevancia mundial, lo cual ocurre bajo aportes excesivos de fertilizantes (Thompson *et al.*, 2007).

La escasez y contaminación de los recursos hídricos, justifica la necesidad de mejorar la eficiencia del uso del agua y fertilizantes, lo cual representa un gran desafío para la agricultura actual. Es importante validar tecnología en métodos de control de riego y de la nutrición en cultivos hidropónicos, que permitan optimizar los requerimientos hídricos y nutricionales, considerando los aportes de nutrientes minerales del medio de cultivo y del agua, las condiciones climáticas de la zona y la época de siembra. A pesar de que la técnica hidropónica junto a la tecnología existente, permitirían realizar un manejo sostenible del agua y los fertilizantes, esto no se aprovecha. Actualmente, el agricultor no riega, “pone agua”, aplicando recetas estándar de soluciones nutritivas con base a su experiencia, sin aprovechar las

ventajas comparativas de la hidroponía. Consecuentemente, se liberan altos volúmenes de drenaje, que probablemente contienen altas concentraciones de nitratos, fosfatos y metales pesados, que contaminan el ambiente (Gonzales, 2011).

Por otra parte, el incremento progresivo en los precios de los fertilizantes, junto a la inestabilidad en los precios de los productos hortícolas, plantean la necesidad de reducir los costos de producción, buscando un incremento en los rendimientos y una rentabilidad sostenible del cultivo. En verano, durante periodos de escasez o falta de lluvia, un elevado porcentaje de los nutrientes minerales aplicados en la solución nutritiva se pierden por lixiviación debido a excesos de riego, afectando el estado nutricional de los cultivos y la calidad de los productos vegetales, incrementando la contaminación ambiental. Por esto surge la necesidad de evaluar la dinámica del agua y de los nutrientes en un cultivo hidropónico que está tomando importancia en el sector agroexportador del país, además se podría promover el uso de ambientes protegidos, similares a techos con sarán, que produzcan sombra al cultivo para incrementar la eficiencia del uso del agua y los nutrientes minerales aplicados (Casanova *et al.*, 2009).

Agricultura protegida

Según Murrillo y Ducca (2009) los ambientes protegidos producen un efecto en la calidad y productividad de las plantas, ya que evitan el marchitamiento, sombrean y regulan la radiación solar (cantidad y calidad de luz, mejora el aprovechamiento de insumos (fertilizantes y otros, mejorando así el rendimiento en función del tiempo). El uso de estos ambientes protegidos permite el crecimiento de especies y variedades comerciales con requerimientos climáticos muy diversos, produciendo en ellos variabilidad fenotípica, así como cambios bioquímicos y morfogénicos que modifican favorablemente el crecimiento de las plantas, por lo que se hace necesario mantener una investigación permanente sobre el efecto del sombreado en el desarrollo de estas especies.

Casanova *et al* (2009) mencionan que el uso de ambientes protegidos representa una opción para modificar de manera positiva las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrollan los cultivos, ya que pueden alterar

variables como la temperatura, humedad relativa, radiación solar y precipitación; además, es posible optimizar el uso del agua y de los nutrientes, debido al control de dichas variables.

En Costa Rica, desde hace más de 40 años se empezó a producir hortalizas bajos sistemas protegidos (invernaderos, túneles, cobertores individuales), los cuales corresponden a estructuras o instalaciones de diferentes materiales estructurales como madera, metales, cable metálico, en diversos diseños con coberturas como vidrio, plástico y mallas de polipropileno para proteger los cultivos de agentes externos climatológicos, plagas y enfermedades, para mejorar así la calidad, productividad y mayor rentabilidad con cultivos de exportación (Murillo y Ducca, 2009).

Dentro de las políticas de desarrollo de la agricultura protegida a nivel local y mundial, es importante considerar la diversificación y aumento en el volumen de producción y la calidad de los productos de exportación. Un aumento en la exportación producirá un incremento en los ingresos por concepto de divisas y una mayor demanda de mano de obra en el sector agrícola (Murillo y Ducca, 2009).

Solución nutritiva como mecanismo de fertilización y sus parámetros

Según Guzmán (2004), no existe una solución nutritiva específica para cada cultivo hidropónico, sino que la formulación de estas soluciones depende de la etapa de desarrollo del cultivo, la sección de la planta a cosechar, la calidad del agua y las condiciones medioambientales. Debido a la carencia de información en la formulación de soluciones nutritivas que respondan a las necesidades del cultivo según su fenología, las condiciones medioambientales y el efecto de la utilización o no de sombra, es que se hace necesario comenzar a desarrollar eficiencias de recuperación de nutrientes en función de los factores mencionados anteriormente, esto con la finalidad de poder formular soluciones nutritivas que se ajusten a las necesidades reales de los diferentes cultivos que se obtienen mediante sistemas hidropónicos de producción.

Retana (2015) menciona que existen indicadores que se deben tomar en cuenta al momento de formular soluciones nutritivas; estos indicadores son: pH, Conductividad Eléctrica (CE) y la relación entre cationes y aniones. El pH es una medida de la acidez (pH bajo = ácido) o alcalinidad (pH alto = básico o alcalino) del medio. El pH del medio de cultivo controla las reacciones químicas que determinan si los nutrientes van a estar o no disponibles (solubles o insolubles) para su absorción. Por tal motivo, los problemas nutritivos más comunes ocurren en los cultivos cuando el pH se encuentra fuera del rango óptimo, se considera el rango óptimo de pH en solución nutritiva a los valores entre de 5,5 y 6,5 (Kafkafi y Tarchitzky, 2011).

La CE se refiere a la concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato. La CE es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo. Esto significa que, a mayor CE, mayor es la concentración de sales. Según Shannon y Grieve (1999) para el caso de los cultivos de hoja los rangos aceptables se fijan en 1,5 a 2,5 dS m⁻¹.

Samarakoon *et al* (2006) encontraron en un estudio realizado en lechuga que la CE en soluciones nutritivas de entre 2,0 y 3,0 dS m⁻¹, generan desbalances en el rendimiento del cultivo y la absorción de nutrientes.

En un estudio realizado en hidroponía, Silberbush *et al* (2005) desarrollaron un modelo para el flujo de nutrientes, agua y su absorción en plantas cultivadas bajo este sistema. El modelo tomó en cuenta la compensación por las pérdidas de agua de la transpiración del cultivo y la acumulación de salinidad, además de sus interacciones con el crecimiento de la planta y la absorción de los nutrientes. En el estudio se obtuvo que el potasio es más sensible a la acumulación de sodio y que esta acumulación cambia el equilibrio de la concentración de iones en el medio, afectando el pH y la concentración de bicarbonatos.

El uso de soluciones nutritivas estándar sin relacionar la ETc y la absorción de nutrientes (tasa de absorción o concentración de absorción) según clima y etapa de cultivo justifica la necesidad de ajustar los requerimientos hídricos y de

nutrientes. Actualmente, no existen este tipo de estudios para el trópico, donde altas concentraciones de nutrientes son usuales en el manejo convencional de la nutrición hidropónica, que normalmente han sido adaptadas de otras latitudes de clima frío o templado, donde la ETc es baja (Muñoz *et al.*, 2008). Sin embargo, al utilizarlas en un clima tropical donde la ETc es más alta y manteniendo la concentración de nutrientes, incrementa significativamente los aportes de fertilizantes, y consecuentemente el riesgo de contaminación ambiental (Soto, 2013).

El cultivo de culantro coyote

El culantro coyote (Familia: Apiaceae. Especie: *Eryngium foetidum*) tiene su origen en zonas tropicales de América, se cree que, entre Panamá, México y el archipiélago del Caribe y en las Indias Occidentales (Seaforth, 1988, Castellón *et al.*, 1999, Santos, 2001). Sus usos han sido principalmente como condimento y como planta medicinal, sin embargo, era desconocido fuera del hemisferio occidental, hasta la llegada de los europeos a partir de finales del siglo XV (Picó y Nuez, 2000). Los europeos llevaron semillas de culantro a otras partes del mundo; y ya para el siglo XVII se sembraba en Asia y Europa, pasando luego a las zonas tropicales de todos los continentes, siendo muy estimada en la cocina y la medicina naturista (Morales *et al.*, 2013).

Este cultivo se produce en huertos familiares y escolares en muchos países del mundo. Es cultivado de manera comercial y organizada en países como Puerto Rico, República Dominicana, Cuba y otras islas de las Antillas, así como en América Central, México y Brasil. En Asia, entre los principales países productores están Tailandia, Vietnam, Bangladesh y la India. La mayoría de los productores de culantro en el mundo siembran áreas pequeñas y casi toda la producción se consume en estos países, mientras que otras pocas cantidades son exportadas a países cercanos (Morales *et al.*, 2013).

El culantro coyote se está convirtiendo conforme pasan los años en un cultivo de comercio internacional y de gran importancia, esto principalmente por satisfacer las demandas de las poblaciones étnicas en los países desarrollados de Occidente, además de las grandes comunidades de inmigrantes en Londres, Nueva York y

Toronto que representan un gran mercado para este producto (Ramcharan, 1999). En el caso de Costa Rica, según menciona Guerra (1999), las exportaciones de este cultivo han ido incrementando debido al auge de su uso culinario en Estados Unidos, Asia y Europa.

En el caso de la evapotranspiración del cultivo de culantro coyote, según Rojas *et al* (2003), este es un criterio que se utiliza para definir las necesidades de riego para los cultivos hidropónicos. En el país se carece de esta información, sin embargo, su obtención permitiría optimizar la utilización del recurso hídrico durante la fertirrigación en sistemas hidropónicos, evitando problemas por excesos en fertilizantes y el uso del agua. Además, no se cuentan con estudios de crecimiento para el cultivo de culantro coyote en hidroponía; si se conociera este aspecto la eficiencia en el uso de fertilizantes sería mayor, ya que se aplicaría lo que realmente necesita el cultivo al momento de mayor absorción del nutriente durante su ciclo de producción.

El rendimiento de hojas de culantro coyote es muy variable, dependiendo, entre otros factores, las condiciones del clima y del manejo del cultivo, incluyendo el nivel de sombra o de luz en que se cultiva. En un experimento en Brasil, la producción de culantro coyote a 25% de sombra produjo aproximadamente 15% más que la producción de culantro coyote a pleno sol. En Filipinas, la productividad de culantro coyote convencional se estima en 80 TM por hectárea de follaje fresco. En las zonas montañosas y frescas de Puerto Rico, con sombra, alta densidad, fertilización intensiva y cinco cosechas de hojas anuales, se han reportado rendimientos de 46 TM por hectárea por año (Morales *et al.*, 2013, citado por Callejas *et al.*, 2016).

Alvarado *et al* (1999) afirman que cuando las plantas de culantro se siembran bajo sombra tienden a producir hojas más largas, más anchas y de mejor calidad. Cuando la siembra se realiza a pleno sol, el tamaño de las hojas disminuye y también su calidad.

Protección de cultivos

Durante época de verano probablemente se produzcan excesos de radiación solar (RS), lo cual justifica la necesidad de proteger el cultivo utilizando sarán para producir sombra. La mayoría de especies de plantas se saturan entre 500 y 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, mientras que la RS fotosintéticamente activa (PAR) máxima alcanza valores $\pm 2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Las especies de alta saturación lumínica, también llamadas plantas de sol, cuyo dosel vegetal no llega a saturarse incluso a la máxima radiación que se puede alcanzar al medio día, un día despejado ($1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), suelen alcanzar altas tasas fotosintéticas, puntos de compensación luminosos elevados y presentan valores altos de respiración de "fase oscura". Los sistemas de sombreado aplicados sobre estos cultivos tienen como objetivos mejorar la temperatura y el déficit de presión de vapor y la calidad del producto final, reduciendo la luz incidente sobre el dosel vegetal (Sánchez *et al.*, 2010).

Según Cockshull *et al* (1992), Schwarz *et al* (2002); Sandri *et al* (2003) y García (2007) el sombreado, en general, da lugar a hojas de mayor tamaño y de menor peso específico, por lo tanto, aumenta el índice de área foliar (IAF). El aumento de la superficie foliar conduce a aumentar el IAF y el porcentaje de radiación interceptada por el cultivo (Lorenzo *et al.*, 2003, Caparrós *et al.*, 2005 y García, 2007) y por tanto la asimilación de carbono y en definitiva la productividad.

En un estudio realizado por Eunice (2006) en culantro coyote, se probaron tres ambientes (90%, 50% de sombra y pleno sol) y dos tipos de fertilizantes (10-30-10 y bokashi). En dicho estudio se encontró que el mejor ambiente para el crecimiento de la planta es de 50% de sombra, sin importar el tipo de fertilizante empleado. El mayor rendimiento de biomasa seca se obtuvo con el tratamiento de 50% de sombra y con el uso de bokashi.

Chan y Ke Liu (2012), encontraron en una investigación realizada en hidroponía con diferentes intensidades de luz y siete soluciones nutritivas que la presencia de hojas expandidas fue mayor por la mayoría de las soluciones hidropónicas bajo sombreado en comparación con la solución nutritiva completa, mientras que ningún efecto fue demostrado en condiciones sin sombra. El estudio

concluyó que la intensidad de luz es un factor importante y clave que determina la eficiencia de las soluciones hidropónicas.

Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

Según Allen *et al* (2006) existe una relación entre la evaporación y la transpiración, donde la evaporación decrece conforme se desarrolla el cultivo y la transpiración experimenta el proceso inverso. En un estudio realizado por Casanova *et al.*, (2009) en el cultivo de lechuga se determinó la evapotranspiración del cultivo. Los autores encontraron que, para las primeras dos semanas de un ciclo de nueve semanas, los valores de ET_c estuvieron en el rango de los 0,3 mm día⁻¹ y en las semanas restantes dicho valor fue de 0,6 mm día⁻¹. Además, plantearon la existencia de una buena correlación entre los valores de radiación y los valores de ET_c.

Variables de rendimiento en los cultivos

El área foliar es la medida usual del tejido fotosintéticamente activo de una planta, que se relaciona con la cantidad de energía que es absorbida y convertida en materiales orgánicos. Al inicio del ciclo de crecimiento, el área foliar es reducida y la energía obtenida es destinada a la formación de brotes y hojas nuevas. Al incrementarse el área foliar se incrementa la producción de asimilados, los cuales son invertidos en el crecimiento vegetativo, incrementando la tasa de crecimiento, así como en la generación de estructuras reproductivas (Lambers *et al.*, 2008, citado por Quintero, 2015).

Bastías *et al* (2014) menciona que la tasa de crecimiento absoluto (TCA) es un parámetro que permite caracterizar el crecimiento de los órganos de la planta en el tiempo. La estimación se hace mediante la valorización del incremento de la masa de un órgano por unidad de tiempo, lo cual se entiende como la capacidad de recepción de fotoasimilados que tiene un órgano y por tanto es un buen indicador de la cantidad de asimilados y agua que este requiere.

Según Archila *et al* (1998) la tasa de crecimiento relativo (TCR) es un parámetro que determina la eficiencia con la cual se da el crecimiento de una planta. Carranza *et al* (2009) mencionan que para su cuantificación se debe tomar en

cuenta el incremento en masa seca por unidad de tamaño, en un intervalo de tiempo dado. Este índice permite cuantificar la capacidad de la planta para incrementar su masa en el tiempo (Carranza *et al.*, 2009).

Cometti *et al* (2008) en un ensayo en el cultivo de lechuga producida en un sistema del tipo NFT, probaron 4 niveles de nutrición, partiendo de la solución nutritiva original como el tratamiento 1 y diluyendo la misma hasta un valor de 12,5% de su concentración original como el tratamiento 4. En este ensayo se avaluó el efecto de la nutrición sobre la TCA y TCR, para lo cual obtuvieron únicamente diferencias significativas entre ambas variables, en el tratamiento 4.

Materiales y métodos

Sitio experimental

El estudio se realizó en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno (EEFBM), ubicada en el Distrito San José de Alajuela, Costa Rica (10° 01` N y 84° 16` O, 840 msnm), con valores promedios de temperatura, humedad relativa y precipitación pluvial anual de 22 °C, 78% y 1940 mm, respectivamente.

Sistema de cultivo

Durante el periodo de finales de verano e inicios de invierno del año 2016, se estableció un cultivo de culantro coyote hidropónico (dos ciclos consecutivos) del 18 de abril al 12 de junio (ciclo 1) y del 13 de junio al 7 de agosto (ciclo 2).

El cultivo se realizó en un sistema hidropónico, en bancales de madera de 10 centímetros de profundidad y 12 m de largo, elevados a 0,8 m de la superficie del suelo sobre una estructura de metal. El contenedor se impermeabilizó con plástico negro de 7 micras, con el objetivo de proteger la madera y evitar que la solución nutritiva aplicada se pierda rápidamente. Para evacuar el exceso de agua por lluvias, se colocó un drenaje en un extremo del contenedor, aproximadamente a un centímetro del fondo de la cama.

Como sustrato se utilizó polvo de piedra extraído de yacimientos naturales (tajo), al cual se le determinó las características físicas e hidráulicas utilizando métodos de laboratorio normalizados (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis físico del sustrato polvo de piedra utilizado en el cultivo de culantro coyote hidropónico.

Parámetro	Rangos óptimos¹		Polvo de piedra
	Máximo	Mínimo	
Índice de grosor (%)			65,35
Densidad aparente (g·ml ⁻¹)	0,15	<0,15	1,14
Densidad real (g·ml ⁻¹)	1,0	<1,0	2,4
Porosidad total (cm·cm ⁻³)	-	>85	52,5
Fracción sólida (cm·cm ⁻³)	0,15	<0,15	47,5
Componentes totales (cm·cm ⁻³)	100,0	100,0	100,0
Humedad volumétrica (cm cm⁻³)			
1 kPa ² (capacidad de contenedor)	55,0	70,0	19,0
5 kPa	30,0	40,0	14,4
10 kPa (Punto de marchitez)	25,0	30,0	9,6
Capacidad de aireación (g cm⁻³)			
1 kPa (capacidad de contenedor)	30,0	15,0	33,0
5 kPa	55,0	45,0	38,10
10 kPa (Punto de marchitez)	60,0	55,0	42,9
Tipos de agua (g cm⁻³)			
Agua fácilmente disponible	20,0	30,0	5,10
Agua de reserva	5,0	10,0	4,80
Agua total disponible	25,0	40,0	9,90
Agua difícilmente disponible	30,0	30,0	9,60

¹Adaptado de Ansorena (1994), ²kPa= kilopascales.

Como material vegetal se utilizó una variedad obtenida de semilla originaria de la zona de producción para exportación ubicada en Tres Equis de Turrialba. Para seleccionar las semillas se realizaron pruebas preliminares de germinación de lotes proveniente de diferentes fincas, en el Centro de Investigaciones de Granos y Semillas (CIGRAS-UCR). Los valores mínimos y máximos de germinación de la semilla seleccionada fueron de 40 y 78%, respectivamente.

La siembra del cultivo de culantro coyote se realizó por trasplante utilizando plántulas de 60 días edad con aproximadamente 7 hojas verdaderas. La densidad de siembra utilizada fue de 7 x 7 cm (49 plantas m²). Una semana antes del trasplante se realizó una desinfección del sustrato con tiocianatometiltio-benzotiazol (TCMTB), mientras que el día previo al trasplante, a las plántulas en la bandeja de almácigo se les realizó una inmersión con *Trichoderma* y un enraizador a base de extracto de algas.

El sistema de riego estuvo conformado por dos tanques con una capacidad de 2500 litros cada uno, dos programadores de riego (Baccara Mod. G75-C) y tubería primaria de polietileno (PE) de 1 pulgada. Para la distribución del riego se utilizó cinta de goteo con goteros incorporados (0,8 l·h⁻¹ a 1 Bar) separados cada 20 cm. Las cintas de goteo se espaciaron cada 7 cm considerando las características del sustrato, el caudal de los goteros, el traslape de los bulbos húmedos y una adecuada uniformidad de la humedad en el sustrato. Adicionalmente, se evaluó la uniformidad del sistema de riego (Christiansen, 1942, citado por Illiassou, 2015) obteniendo valores entre 96 y 98% en diferentes evaluaciones durante el ciclo de cultivo.

La presión de operación de los goteros fue de 9 PSI, obtenida por gravedad, aprovechando la diferencia de altura (8 m) entre el tanque de riego y el área de cultivo.

El volumen de riego aplicado fue calculado según los porcentajes de agotamiento del agua disponible en el sustrato y un porcentaje de drenaje establecido según la fenología del cultivo, aproximadamente entre 10-30% durante el ciclo.

El manejo fitosanitario del cultivo se realizó de acuerdo con un programa preventivo de productos biológicos y orgánicos como *Beauveria bassiana*, *Metarhizium* y con un repelente a base de extracto de Neem. El manejo de plagas y enfermedades se complementó con los monitoreos semanales, según la fenología.

Experimentos y tratamientos

El experimento consistió en determinar si la aplicación de soluciones nutritivas y el uso de protección ante los excesos de radiación solar en verano y de precipitación en invierno, afecta la dinámica del agua y de los nutrientes, el crecimiento y la producción del cultivo de culantro coyote hidropónico.

El experimento se llevó a cabo durante un período de 16 semanas, en dos etapas de 8 semanas cada una. La etapa 1, se realizó durante época seca y transición, desde el 18 de abril al 12 de junio del 2016, e incluyó desde el trasplante hasta la primera cosecha. Para la protección del cultivo se utilizó sarán rojo con 30% de sombra (Figura 1a). Dentro de las mallas más estudiadas se encuentra la malla roja tejida con monofilamento de polietileno, la cual reduce las ondas azules, verdes y amarillas y trasmite luz del espectro de ondas rojo y rojo lejano por sobre 590 nm (Oren-Shamir *et al.*, 2001), difundiendo más luz (Shahak *et al.*, 2004) y protege 20% más contra radiación UV, evitando la fotodegradación de los cloroplastos (Leite, 2005); además, incrementa la productividad en cultivos de hortalizas y ornamentales (Shahak *et al.*, 2008). La etapa 2 se realizó durante el periodo lluvioso, desde el 13 de junio al 07 de agosto del 2016 e inició desde la primera corta hasta la segunda corta del cultivo (Figura 1b). Como sistema de protección se utilizó plástico del tipo tomatero (50 μ de grosor y 1,5 m de ancho) (Olefinas, Costa Rica), sostenidos sobre marcos de metal.

Para la instalación de la protección con sarán o techo plástico, se utilizaron 30 arcos construidos con varillas de metal (12,5 mm), separados a 1 m, a una altura de 1,2 m y 1,5 m de ancho (Figura 1).

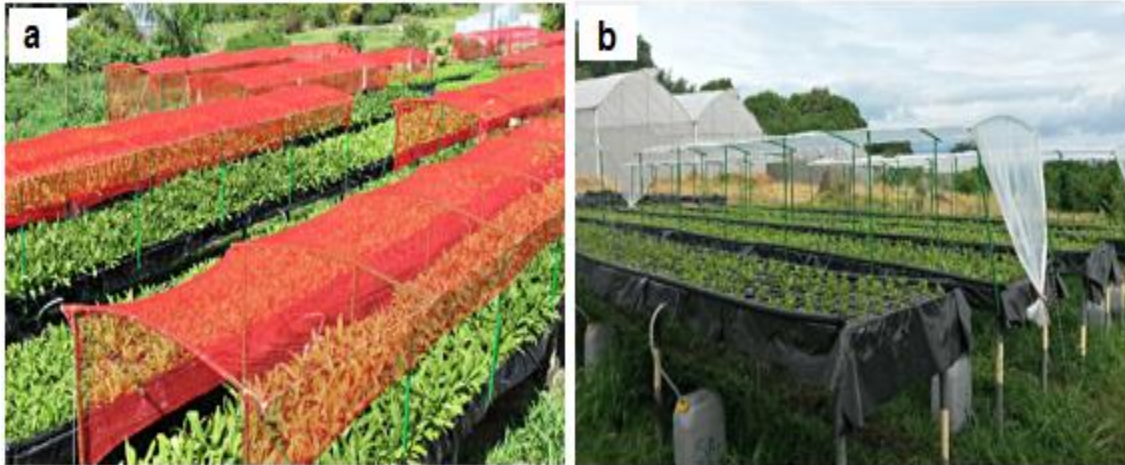


Figura 1. Protección del cultivo durante las etapas 1 (Figura 1a) y 2 (Figura 1b) del experimento.

En los tratamientos de nutrición se utilizaron dos soluciones nutritivas, una con baja concentración (NB) y otra con alta concentración (NA) de nutrientes (Cuadro 2)

Cuadro 2. Concentración de nutrientes en las soluciones nutritivas utilizadas en los tratamientos con un nivel de nutrición bajo (NB) y un nivel de nutrición alto (NA).

Tratamiento	*Concentración (mg L ⁻¹)										
	N	P	K	Mg	S	Ca	Fe	Cu	Mn	Zn	B
NB	75	22	104	21	24	81	0,3	0,1	0,2	0,6	0,2
NA	195	56	287	55	121	207	1,8	0,6	0,9	1,4	1,0

*Fuente: Soto (2015).

En cada una de las etapas 1 y 2, se aplicaron 4 tratamientos, combinando dos condiciones de radiación solar con dos tipos de soluciones nutritivas (Cuadro 3). En la Etapa 1 se combinaron dos condiciones de radiación solar (con protección de sarán 30% de sombra (CP) y sin protección a pleno sol (SP) con dos tipos de soluciones nutritivas, alta (NA) y baja concentración de nutrientes (NB). En la Etapa 2 se combinaron dos condiciones microclimáticas, con techo plástico (CP) y sin

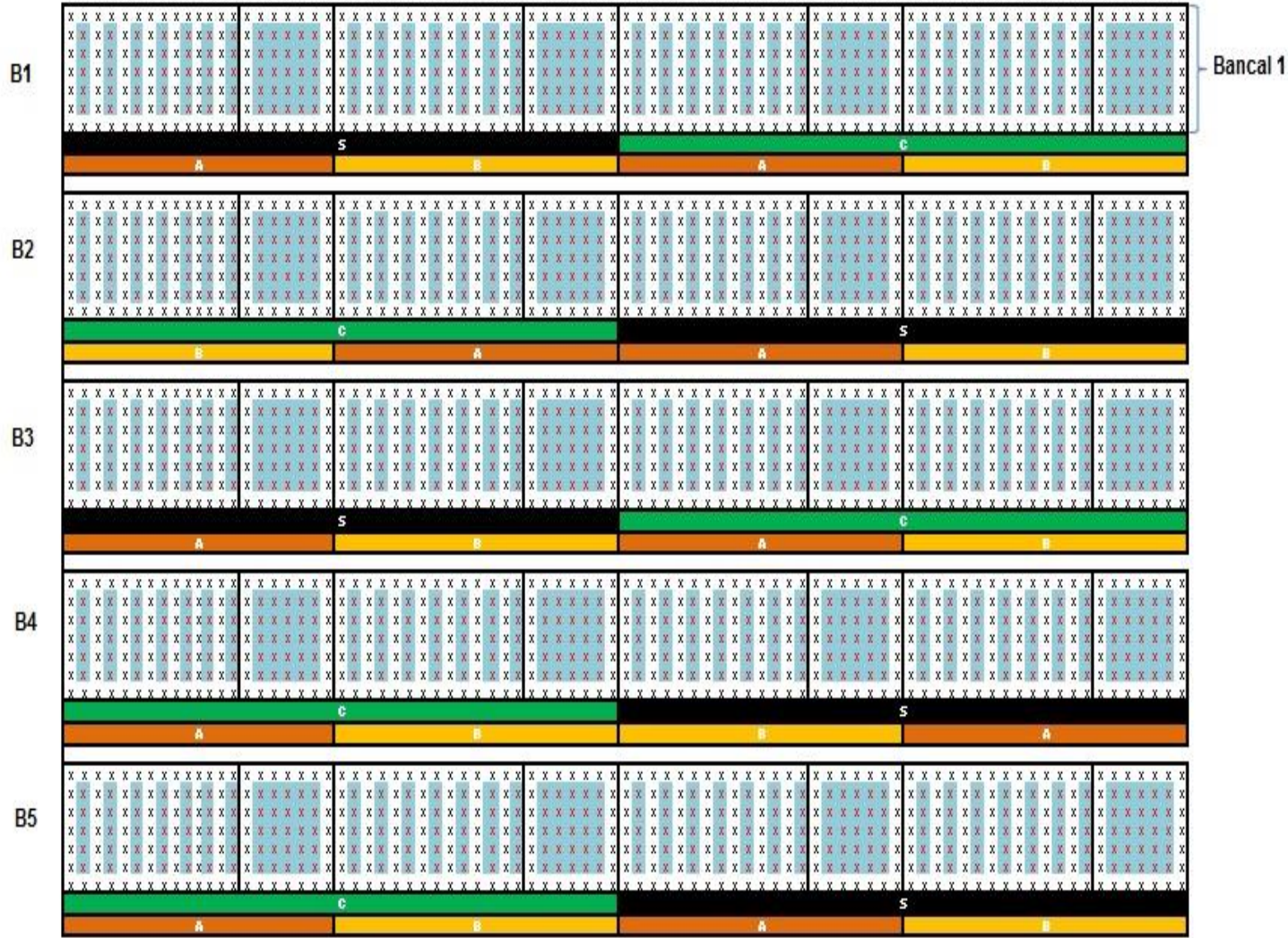
techo plástico (SP) y dos soluciones nutritivas, una con alta concentración de nutrientes (NA) y otra con baja concentración de nutrientes (NB). La concentración de nutrientes fue definida considerando los rangos utilizados para la producción hidropónica de vegetales de hojas a nivel nacional e internacional (Soto, 2015).

Cuadro 3. Características de los tratamientos experimentales durante etapa 1 y 2.

Etapa	Tratamiento	Tipo protección	Nutrición
1	Con protección /nutrición alta (CA)	30% sombra	Alta
	Con protección /nutrición baja (CB)	30% sombra	Baja
	Sin protección /nutrición alta (SA)	Pleno sol	Alta
	Sin protección /nutrición baja (SB)	Pleno sol	Baja
2	Con protección/nutrición alta (CA)	Techo plástico	Alta
	Con protección/nutrición baja (CB)	Techo plástico	Baja
	Sin protección/nutrición alta (SA)	Plena lluvia	Alta
	Sin protección/nutrición baja (SB)	Plena lluvia	Baja

Diseño experimental

En cada etapa de este estudio, se utilizó un arreglo de tratamientos factorial de 2 x 2, combinando las respectivas condiciones de protección con los dos tipos de solución nutritiva. Para cada etapa se utilizaron cinco repeticiones por tratamiento, para un total de 20 unidades experimentales (UE). La UE para evaluar semanalmente variables de crecimiento contó con un área de 3 m², mientras que para variables de riego y rendimiento el área fue de 1 m². La parcela grande se conformó por los tratamientos de protección, mientras que la parcela pequeña la constituyeron los niveles de nutrición (Figura2).



		Nutrición	
Protección		Baja	Alta
Con sarán/techo		CB	CA
Sin sarán/techo		SB	SA

Parcela grande	Protección	
Parcela pequeña	Nutrición	

Figura 2. Diseño experimental para un arreglo factorial 2 x 2 en parcelas divididas de culantro coyote en hidroponía.

Características climáticas

Durante cada etapa del experimento, se caracterizó el microclima del cultivo en los tratamientos con CP y SP. Para cada condición de protección, se utilizó un sensor de temperatura y de humedad relativa (HOBO Mod. Pro V2), una barra de radiación PAR (APOGEE Mod. LQS100-20) y 2 pluviómetros (Decagon Devices Mod. ECRN – 50) para cuantificar la precipitación. Los datos fueron almacenados en un registrador de datos o Data logger (Campbell Scientific. Mod. CR1000).

Cuadro 4. Valores promedio de temperatura (°C) y humedad relativa (%) de máximas, mínimas y de promedios, bajo tratamientos sin protección (SP) y con protección (CP).

Etapa	Tratamiento	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)		
		Máx.	Mín.	Prom.	Máx.	Mín.	Prom.
1	SP	35,1	16,8	24,0	100,0	36,6	85,1
	CP	35,7	16,9	24,1	100,0	34,7	84,6
2	SP	34,8	16,4	23,4	100,0	43,3	87,1
	CP	34,3	16,2	23,4	100,0	41,7	86,9

En ambas etapas del cultivo de culantro coyote se determinó la integral de radiación solar diaria (DLI: mol m⁻² día⁻¹) en los tratamientos SP y CP (Figura 3 y 4). Los promedios globales de DLI, en la etapa 1 fueron 34,2 y 21,2 (mol m⁻² día⁻¹) para los tratamientos SP y CP, respectivamente (Figura3), mientras que en la etapa 2 se obtuvieron valores de 31,8 en SP y 20,0 (mol m⁻² día⁻¹) en CP. (Figura 4)

Los valores de precipitación diaria acumulada (mm) fueron obtenidos de la Estación Meteorológica del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) ubicada en la EEAFBM y de cuatro pluviómetros colocados en los tratamientos con protección y sin protección. Los valores obtenidos de precipitación acumulada en la etapa 1 y 2 fueron de 117,2 y 156,0 mm, respectivamente (Figura 5 y 6).

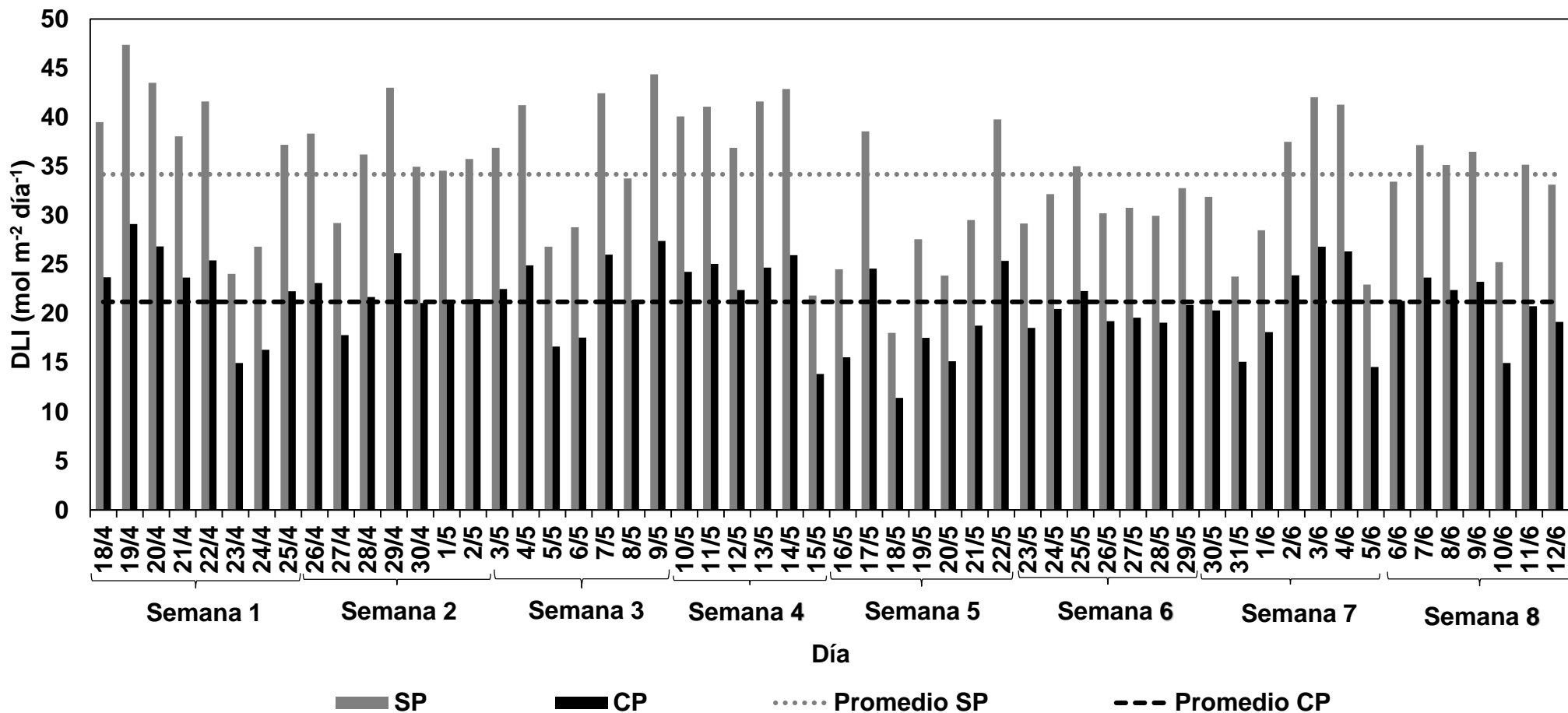


Figura 3. Integral de radiación solar diaria (DLI) (mol m⁻² día⁻¹) en las diferentes semanas del ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico durante etapa 1, Alajuela, Costa Rica, 2016. Las siglas SP y CP indican la condición sin y con protección, respectivamente.

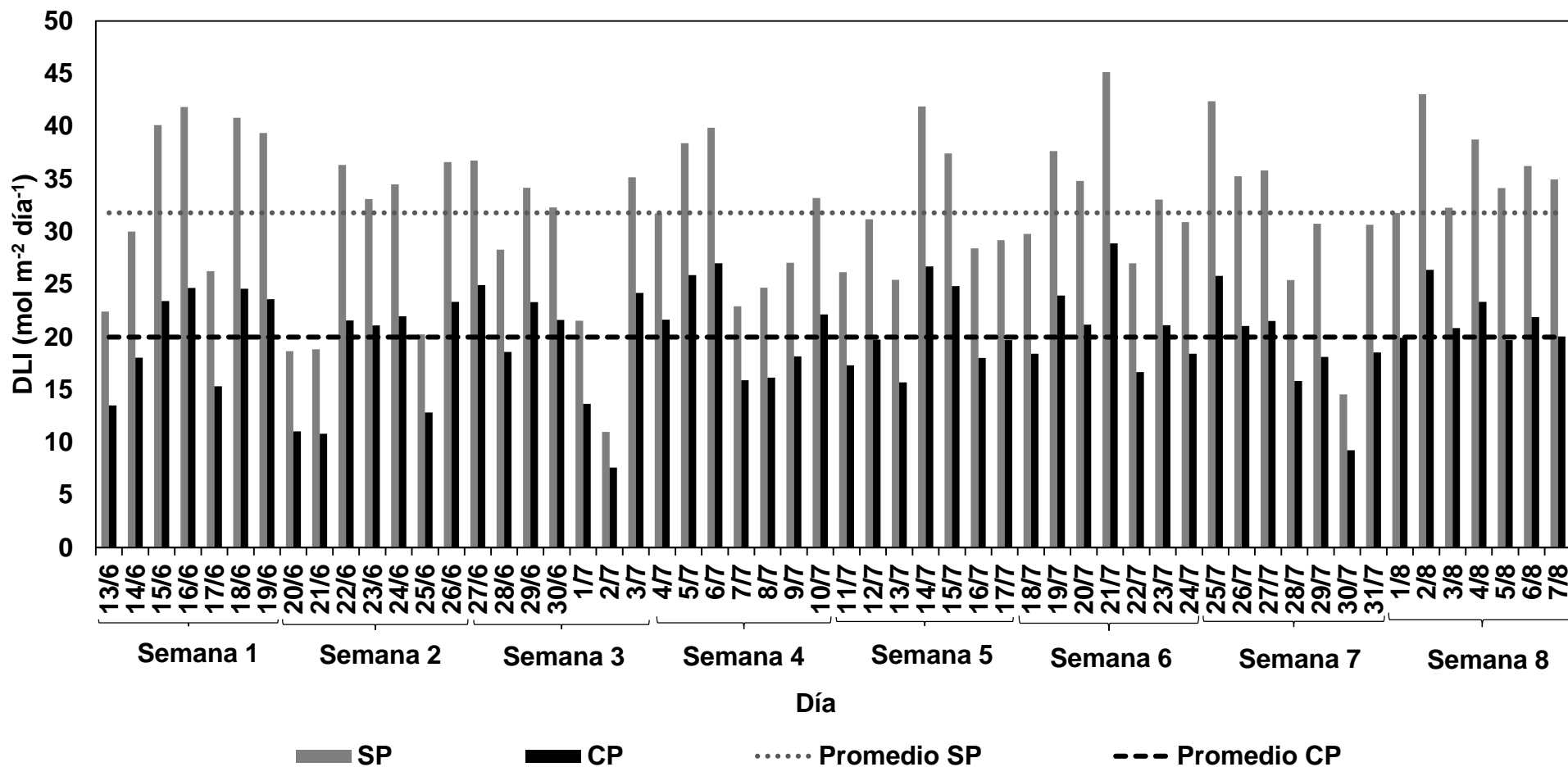


Figura 4. Integral de radiación solar diaria (DLI) ($\text{mol m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) en las diferentes semanas del ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico durante etapa 2, Alajuela, Costa Rica, 2016. Las siglas SP y CP indican la condición sin y con protección, respectivamente.

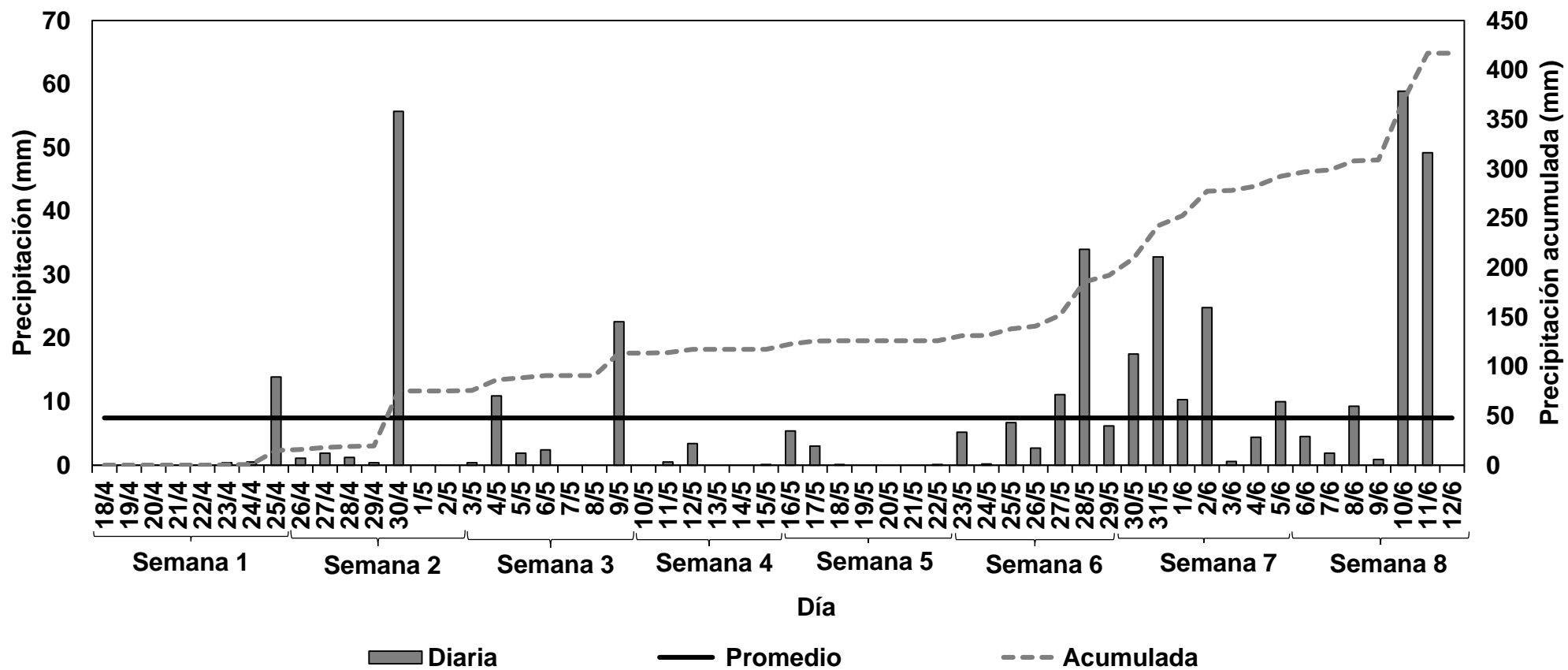


Figura 5. Precipitación diaria (mm), promedio (mm) y acumulada (mm) en las diferentes semanas del ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico durante etapa 1, Alajuela, Costa Rica, 2016. Las siglas SP y CP indican la condición sin y con protección, respectivamente.

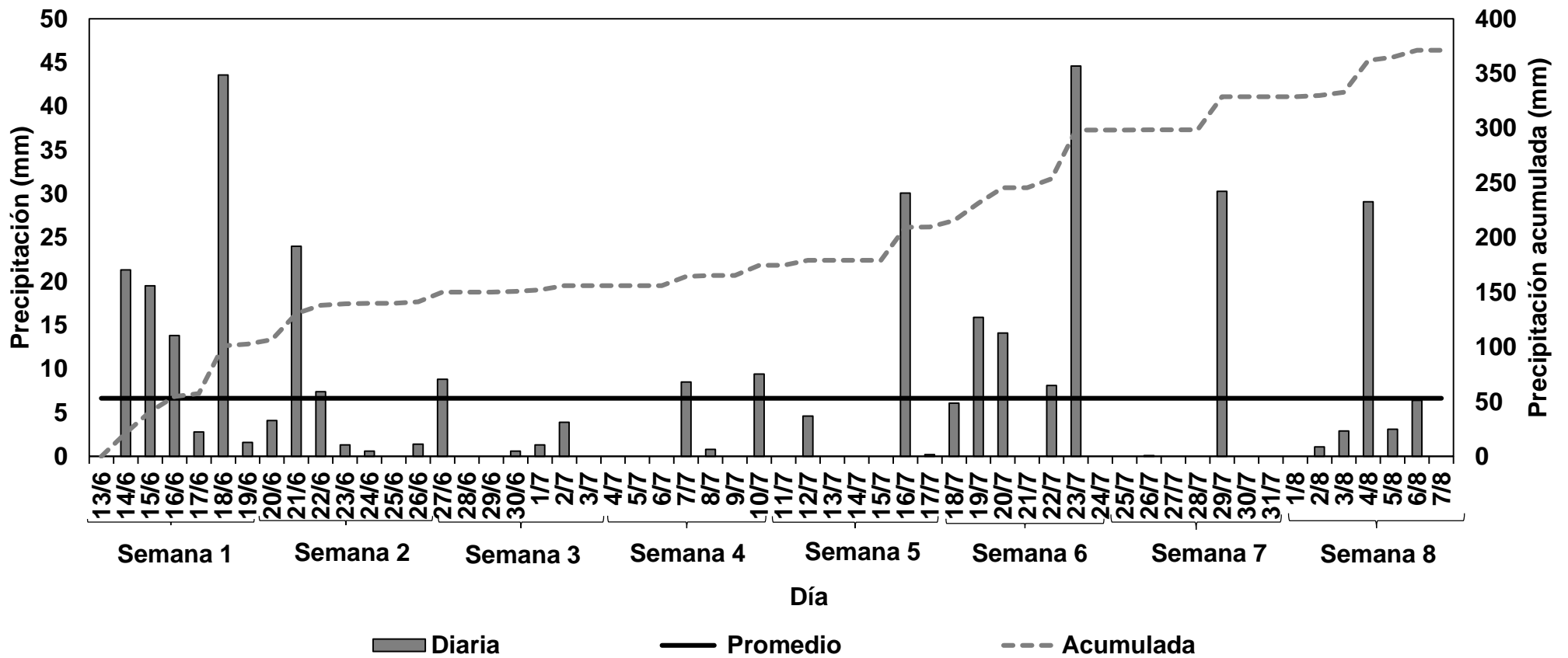


Figura 6. Precipitación diaria (mm), promedio (mm) y acumulada (mm) en las diferentes semanas del ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico durante etapa 2, Alajuela, Costa Rica, 2016. Las siglas SP y CP indican la condición sin y con protección, respectivamente.

Variables de respuesta

Para determinar si el cultivo de culantro coyote hidropónico con niveles de nutrición alto o bajo, es afectado al pasar de una condición sin protección a otra con protección, se evaluó la evapotranspiración del cultivo (ET_c), la tasa de crecimiento absoluto (TCA) y la tasa de crecimiento relativo (TCR), el rendimiento y eficiencia de recuperación (ER) de los nutrientes N, P, K, Ca y Mg.

Durante 8 semanas en cada etapa y tratamiento para determinar la ET_c, se midieron diariamente los volúmenes de riego aplicado (L) y de drenaje (L) y el aporte de la precipitación (mm). Para el caso de crecimiento y rendimiento se cuantificó cada 10 días el contenido de materia seca (MS). La ER de nutrientes (g g^{-1}) se cuantificó las concentraciones de los nutrientes aplicados (g m^{-2}) en cada nivel de nutrición y el nutriente absorbido (g m^{-2}) de cada tratamiento.

Los volúmenes de drenaje se midieron diariamente antes de iniciar el primer riego de cada día. Para ello se recolectaron submuestras cada 10 días de cada solución nutritiva y de los drenajes de cada tratamiento, donde se determinó la conductividad eléctrica (CE) (Figura 7 y 8) y el pH (Figura 9 y 10), utilizando un pHmetro-conductivímetro (HANNA Mod. HI98129).

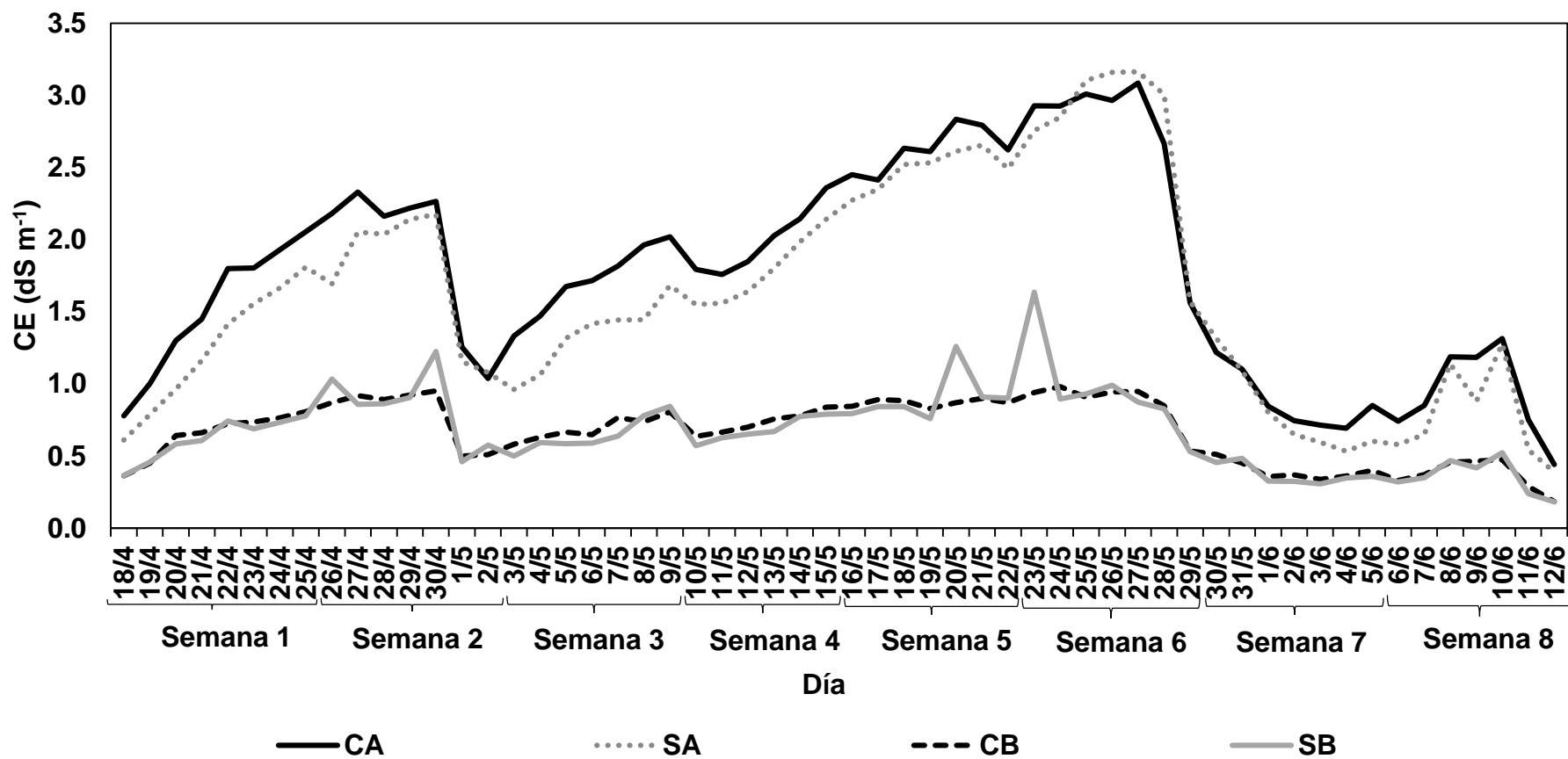


Figura 7. Valores de conductividad eléctrica (dS m^{-1}) en la solución drenada obtenidos en las diferentes semanas de la etapa 1 en el cultivo hidropónico de culantro coyote, Alajuela, Costa Rica, 2016. Las siglas indican la condición de protección y nivel de nutrición respectivo: SA: sin protección y nutrición alta, SB: sin protección y nutrición baja, CA: con protección y nutrición alta y CB: con protección y nutrición baja.

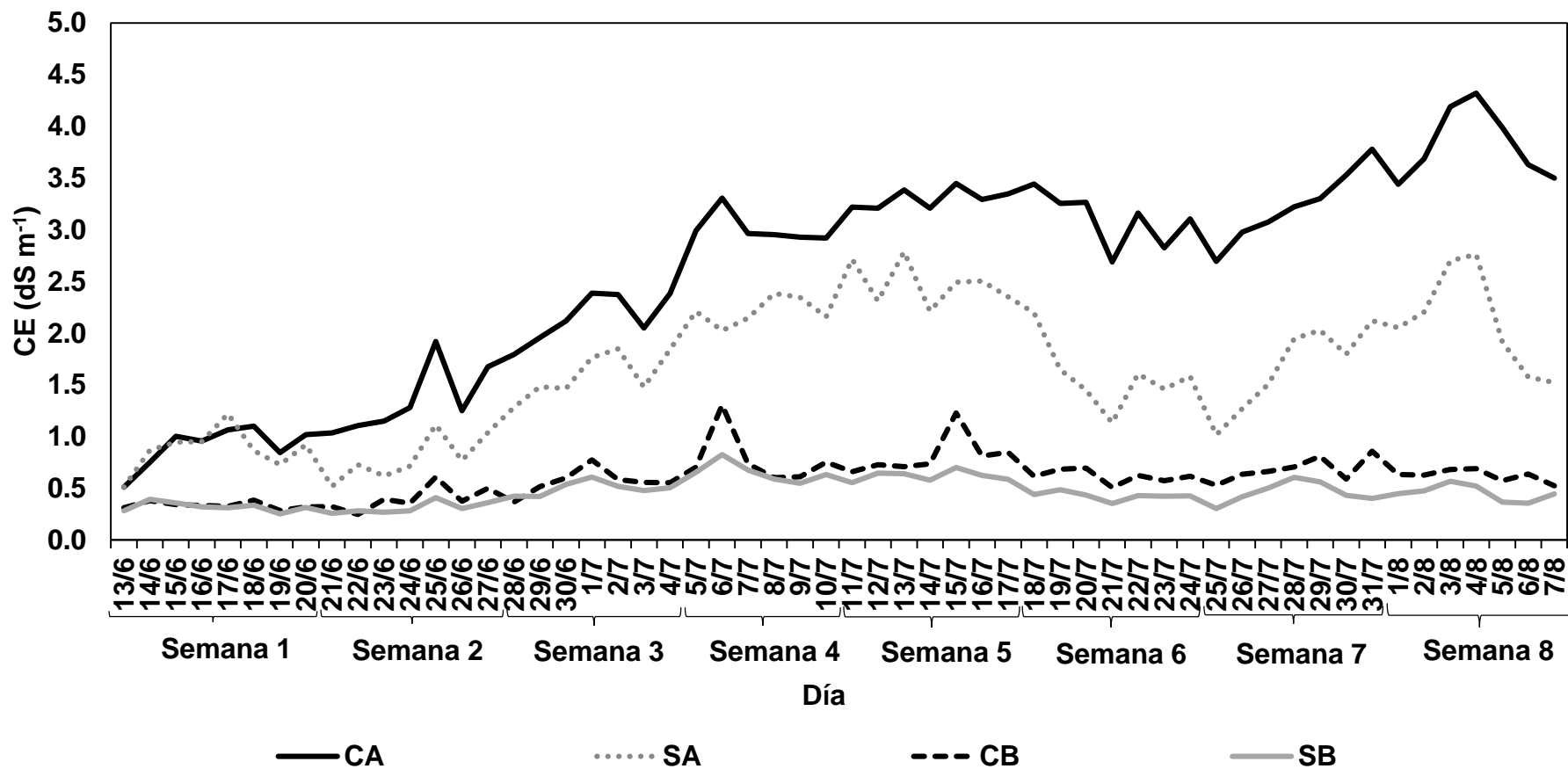


Figura 8. Valores de conductividad eléctrica (dS m^{-1}) en la solución drenada obtenidos en las diferentes semanas de la etapa 2 en el cultivo hidropónico de culantro coyote, Alajuela, Costa Rica, 2016. Las siglas indican la condición de protección y nivel de nutrición respectivo: SA: sin protección y nutrición alta, SB: sin protección y nutrición baja, CA: con protección y nutrición alta y CB: con protección y nutrición baja.

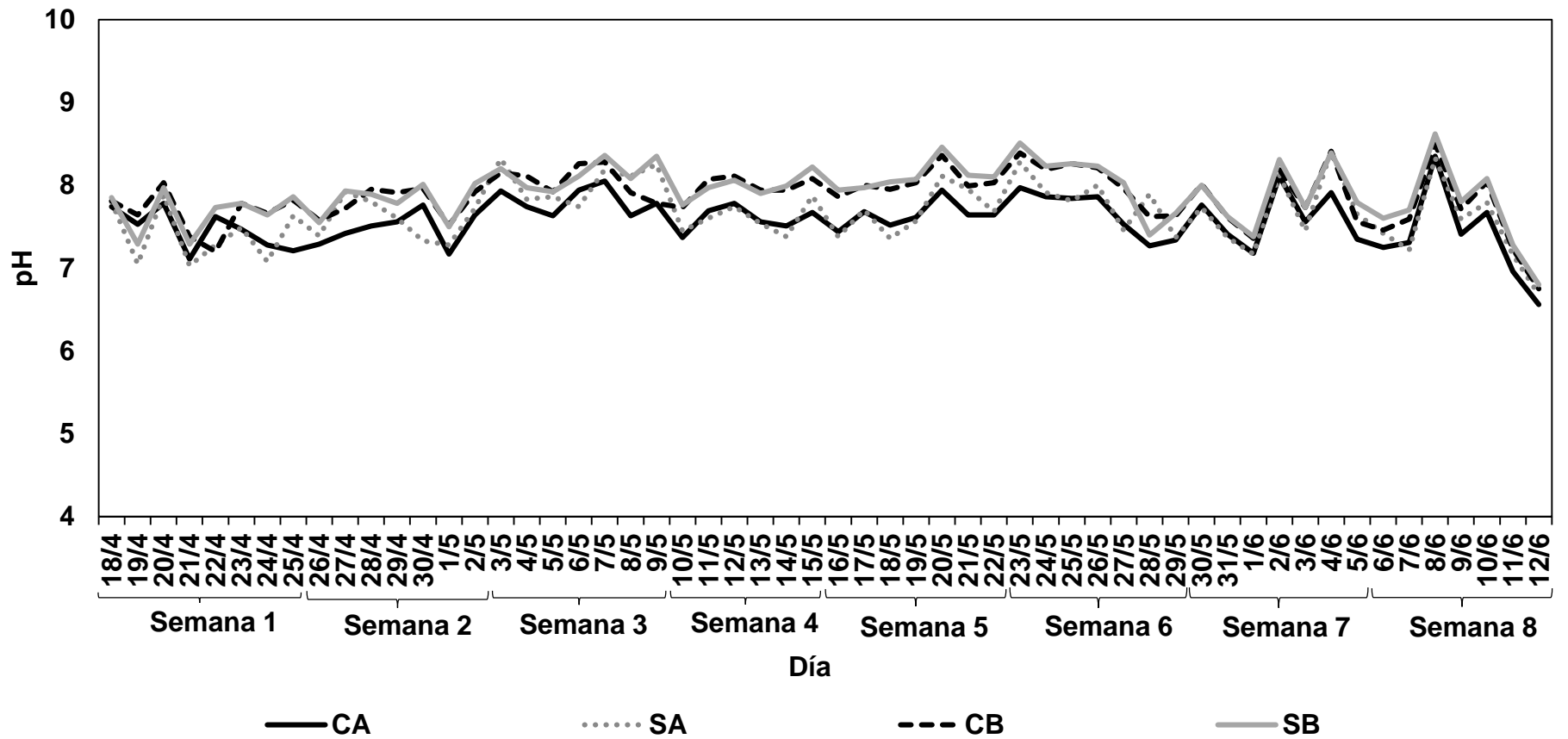


Figura 9. Valores de pH obtenidos de la solución drenada en las diferentes semanas de la etapa 1 en el cultivo hidropónico de culantro coyote, Alajuela, Costa Rica, 2016. Las siglas indican la condición de protección y nivel de nutrición respectivo: SA: sin protección y nutrición alta, SB: sin protección y nutrición baja, CA: con protección y nutrición alta y CB: con protección y nutrición baja.

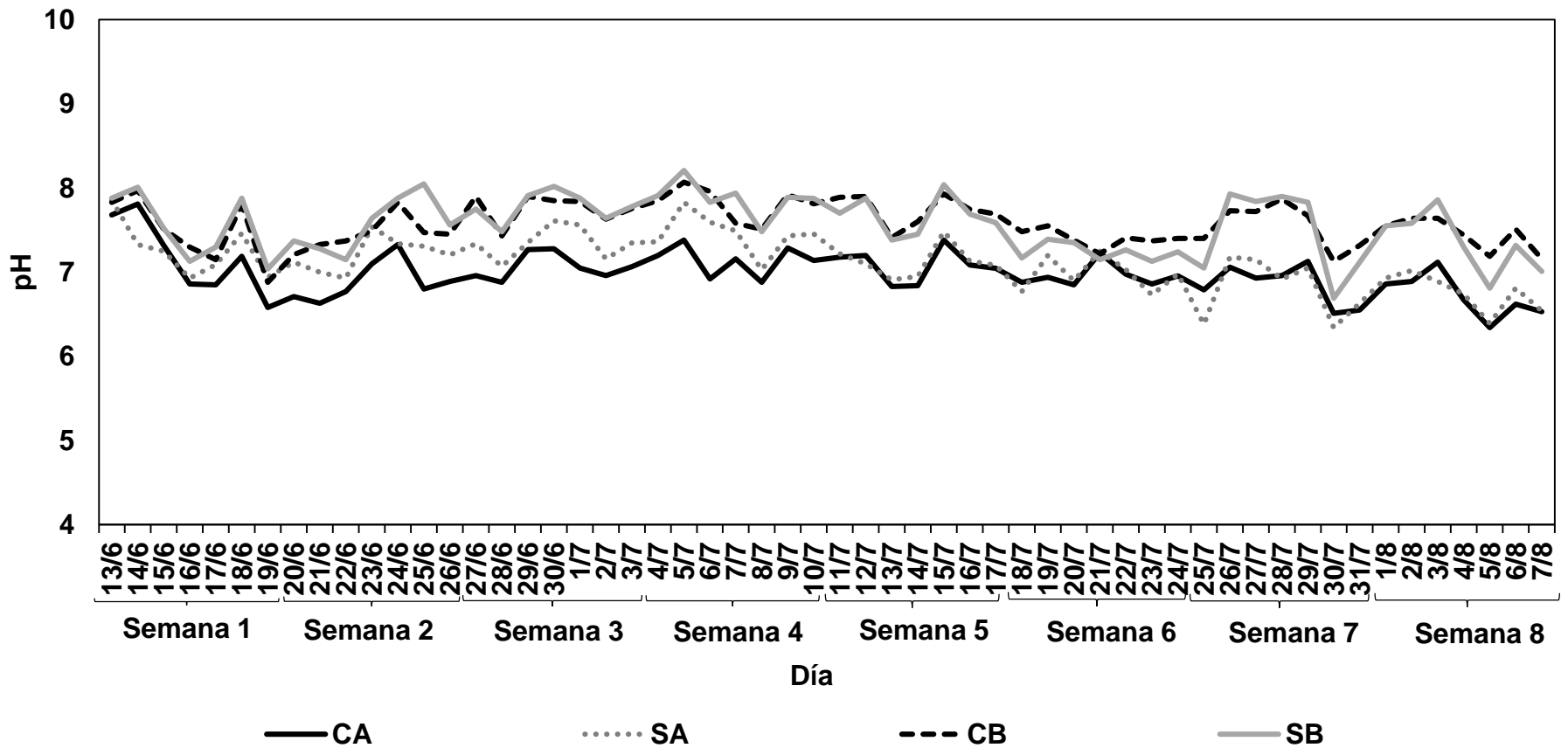


Figura 10. Valores de pH obtenidos de la solución drenada en las diferentes semanas de la etapa 2 en el cultivo hidropónico de culantro coyote, Alajuela, Costa Rica, 2016. Las siglas indican la condición de protección y nivel de nutrición respectivo: SA: sin protección y nutrición alta, SB: sin protección y nutrición baja, CA: con protección y nutrición alta y CB: con protección y nutrición baja.

Además, se determinó cada 10 días la concentración de nutrientes Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) aplicados (g m^{-2}) en cada solución nutritiva a partir de una muestra compuesta de todas las submuestras. Las submuestras de cada solución nutritiva y de los drenajes fueron recolectadas diariamente de cada tratamiento. La cantidad de nutrientes aplicados (g m^{-2}) se calcularon a partir de los volúmenes de riego y drenaje (L m^{-2}) con sus respectivas concentraciones de nutrientes (g L^{-1}).

En ambas etapas de la investigación, en cada tratamiento se determinó la evapotranspiración (Ecuación 1) del cultivo (ETc) para períodos de 10 días, a partir del balance de agua en el sustrato, utilizando la siguiente fórmula:

$$1. \text{ETc} = (H_{vi} - H_{vf}) + R - D$$

Donde ($H_{vi}-H_{vf}$), es la diferencia entre el contenido de humedad volumétrica del sustrato (mm) al inicio (H_{vi}) y al final (H_{vf}) del período: R y D son los volúmenes de riego y drenaje (mm) para dicho período, respectivamente (Soto, 2013).

El contenido volumétrico de agua en el sustrato se midió cada 10 días utilizando un reflectómetro de dominio temporal, conocido como TDR, por sus siglas en inglés (Decagon Mod. GS3).

Para la evaluación de la tasa de crecimiento absoluto (TCA) (Ecuación 2) y la tasa de crecimiento relativo (TCR) (Ecuación 3) se determinó el contenido de MS mediante el uso de una balanza analítica (Ocony Mod. ES-1000H) y un horno de ventilación forzada a 72°C hasta alcanzar peso constante.

$$2. \text{TCA} = \frac{m_1 - m_2}{t_1 - t_2} = (\text{gdía}^{-1})$$

$$3. \text{TCR} = \frac{\ln m_1 - \ln m_2}{t_1 - t_2} = (\text{g g}^{-1}\text{día}^{-1})$$

Donde m es materia seca, t es tiempo y ln es logaritmo natural (Cometti *et al.*, 2008).

El contenido de materia seca (MS) se determinó al inició tomando 20 plántulas al azar al momento del trasplante. Además, durante el ciclo de cultivo de

culantro coyote en la etapa 1 y 2, cada 10 días se recolectaron 5 plantas (parte aérea) por cada UE para determinar la MS, mientras que en las evaluaciones de rendimiento (kg m^{-2} , en términos de peso fresco) se tomaron 20 plantas m^{-2} .

La extracción de nutrientes para cada semana se determinó a partir de cada una de las muestras de MS (kg ha^{-1}) y su respectivo contenido de nutriente (%) N, P, K, Ca y Mg. La concentración de nutrientes se obtuvo para cada tratamiento, a partir de una muestra compuesta de las 5 repeticiones de los muestreos cada 10 días de MS (Bertsch, 2009). Al respecto, Bertsch (2009), recomienda que las muestras de peso seco se pueden fundir en una sola, ya que el coeficiente de variación entre las repeticiones de concentraciones experimentalmente ha dado valores menores a 15%, y efectuar los análisis individuales para cada repetición y tejido encarece drásticamente los costos.

Los análisis químicos completos del material vegetal y de la solución nutritiva se analizaron en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA-UCR).

La eficiencia de recuperación (ER) (Ecuación 4) de cada nutriente (g g^{-1}), se determinó como el cociente entre g m^{-2} absorbidos y g m^{-2} aplicados por m^2 .

$$4. \text{ ER} = \frac{\text{nutriente absorbidos } (\text{g m}^{-2})}{\text{nutriente aplicado } (\text{g m}^{-2})}$$

El área foliar (AF) (cm^2) se midió cada 10 días utilizando un medidor de área foliar digital (LI-COR Mod. LI-3100C). En las evaluaciones de AF se cuantificó el total de hojas de cada planta por UE. Para obtener el índice de área foliar (IAF) (Ecuación 5) por metro cuadrado ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$) se determinó el cociente entre AF (cm^2) y 10000 para obtener AF (m^2) por el número de plantas por m^2 , en este caso 49.

$$5. \text{ IAF} = \frac{\text{AF } (\text{cm}^2)}{10000} * 49$$

Análisis estadístico

Los datos de las variables de respuesta fueron sometidos a la verificación de normalidad y homocedasticidad, usando el software estadístico InfoStat versión 2008. Al cumplirse los supuestos, los datos provenientes de las diferentes variables medidas fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA) para determinar si

hubo efecto de la interacción protección por nutrición o efecto independiente de ambos factores. En caso de determinar efectos estadísticamente significativos ($P < 0,05$) se realizó una comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey ($P < 0,05$). Cuando se presentó interacción entre condición luz solar y nivel de nutrición, se realizó un análisis en dirección y magnitud de los efectos simples de ambos factores, mientras que cuando no hubo efecto de la interacción ($P > 0,05$), se analizó el efecto principal del factor que fue estadísticamente significativo ($P < 0,05$).

Para el análisis de la información se utilizó un modelo de análisis de varianza para bloques completos al azar en parcelas divididas (Di Rienzo *et al.*, 2017), según el siguiente modelo estadístico (Cuadro 5).

$$y_{ijk} = \mu + U_i + S_j + (M \times U)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde: y = variable de respuesta obtenida de la ecuación.

m = media general.

U = efecto i ésimo de la protección en los tratamientos.

S = efecto j ésimo del nivel de nutrición en los tratamientos.

$S \times U$ = efecto ij ésimo de la interacción entre protección y nutrición.

ϵ = término de error, donde $\epsilon \sim N(0, \sigma^2)$.

Cuadro 5. Fuentes de variación del modelo estadístico utilizado en el análisis de los datos para el cultivo de culantro coyote (*Eryngium foetidum*) hidropónico.

Fuente de variación	Grados de libertad (gl)
Bloque	4
Protección	1
Error (P)	4
Nutrición	1
Protección x nutrición	1
Error (N)	8
Total	19

Resultados

Evapotranspiración del cultivo (ETc)

Etapa 1 (sarán)

En la etapa 1 del ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico se obtuvieron los siguientes valores de ETc acumulada: 150,37 ($\pm 4,72$ Error Estándar [E.E.]), 159,62 ($\pm 4,64$ E.E.), 208,08 ($\pm 11,12$ E.E.) y 235,96 ($\pm 15,35$ E.E.) mm para los tratamientos CA, CB, SA y SB, respectivamente.

El factor protección afectó ($P < 0,05$) la ETc del cultivo de culantro coyote, ya que al pasar de una condición sin protección a una con protección la ETc disminuyó 28,76%, 29,68%, 29,76% y 63,07% a los 20, 30, 40 y 50 días después del trasplante (DDT) (Figura 11A).

No se presentó efecto ($P > 0,05$) de la interacción protección por nutrición, ni efecto ($P > 0,05$) independiente de la nutrición sobre la ETc durante la etapa 1 del ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico (Figura 11B).

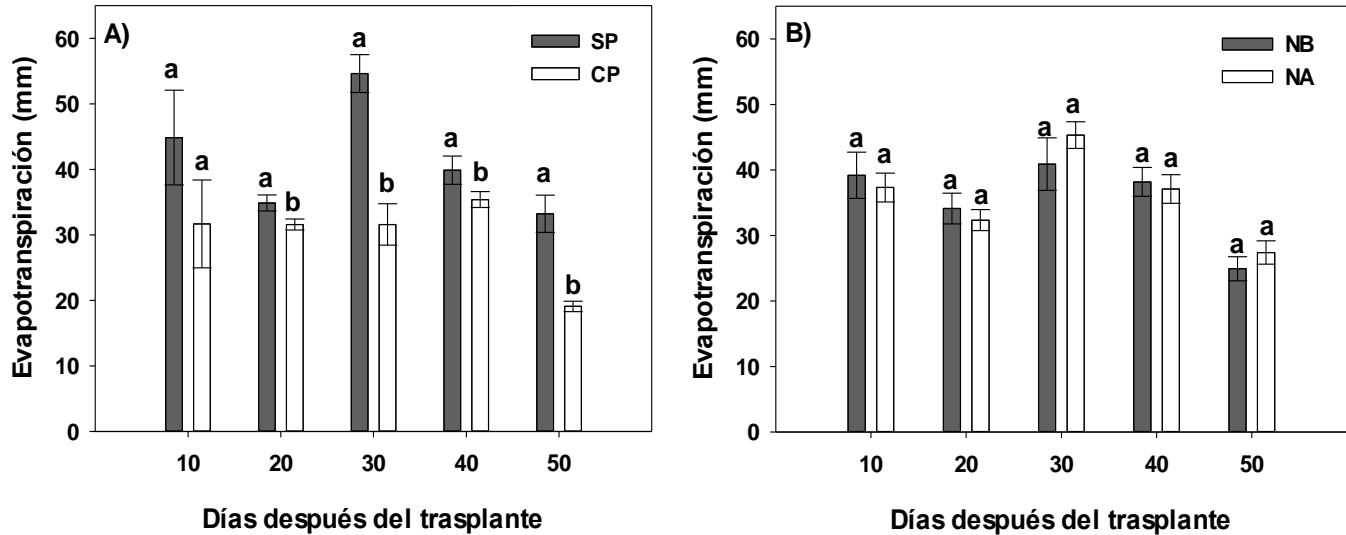


Figura 11. Efecto del factor protección (11A) y del factor nutrición (11B) sobre la evapotranspiración (ETc) (mm) en el ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 1, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (n= 10). Letras diferentes en cada evaluación indican efecto estadísticamente significativo ($P < 0,05$) del factor protección (11A) y nutrición (11B).

Etapa 2 (plástico)

En la etapa 2, se obtuvieron valores de ETc acumulada para los tratamientos CA, CB, SA y SB de 184,29 ($\pm 3,66$ E.E.), 198,65 ($\pm 7,96$ E.E.), 208,69 ($\pm 16,62$ E.E.) y 218,00 ($\pm 21,30$ E.E.) mm, respectivamente.

En dicha etapa, a los 10 días después de cosecha (DDC) hubo efecto ($P < 0,05$) de la interacción protección por nutrición sobre la ETc, mientras que no hubo efecto ($P > 0,05$) de los factores independientes protección (Figura 12A) y nutrición (Figura 12B) después de los 10 días del ciclo del cultivo.

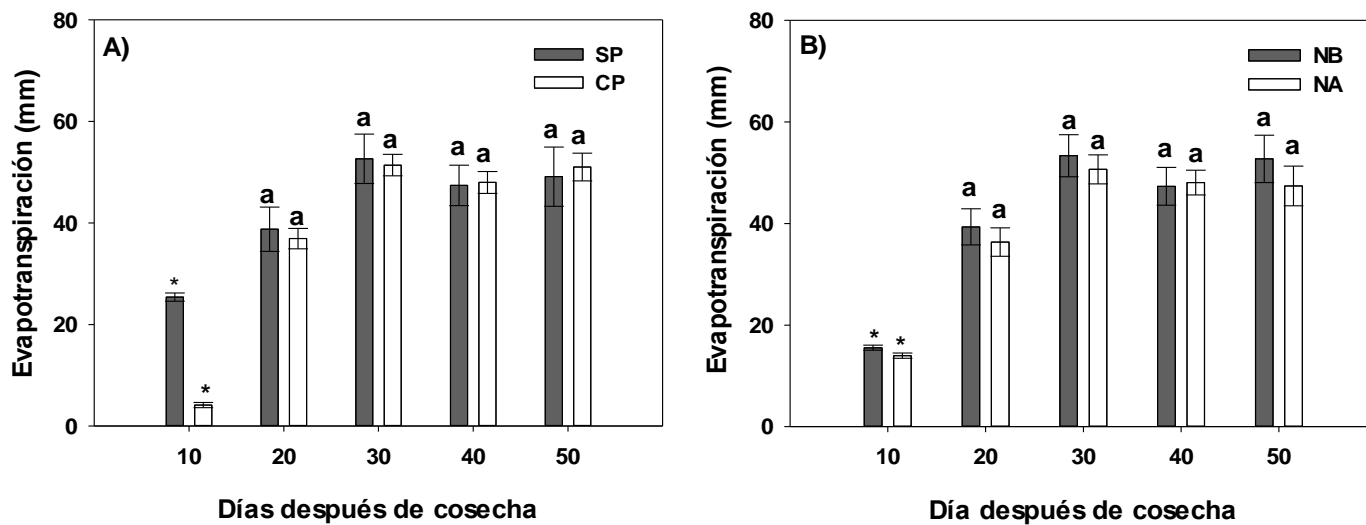


Figura 12. Efecto del factor protección (12A) y del factor nutrición (12B) sobre la evapotranspiración (ETc) (mm) en los diferentes días de evaluación después de cosecha en el cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 2, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (n= 10). Letras diferentes en cada evaluación indican efecto estadísticamente significativo ($P < 0,05$) del factor protección (12A) y nutrición (12B). El símbolo * indica efecto estadísticamente significativo ($P < 0,05$) de la interacción protección por nutrición.

Al evaluar la interacción de ambos factores, a los 10 DDC, se observó que, al pasar de una condición sin protección a otra con protección, la ETc disminuyó 151,35% con un nivel de nutrición bajo y 135,89% cuando el nivel de nutrición fue alto (Figura 13). Por otra parte, al evaluar el efecto simple de la nutrición, se observó que la magnitud en respuesta de la ETc fue mayor en el cultivo sin protección, en donde aumentó 16,97% al pasar de un nivel de nutrición alto a un nivel de nutrición bajo (Figura 13).

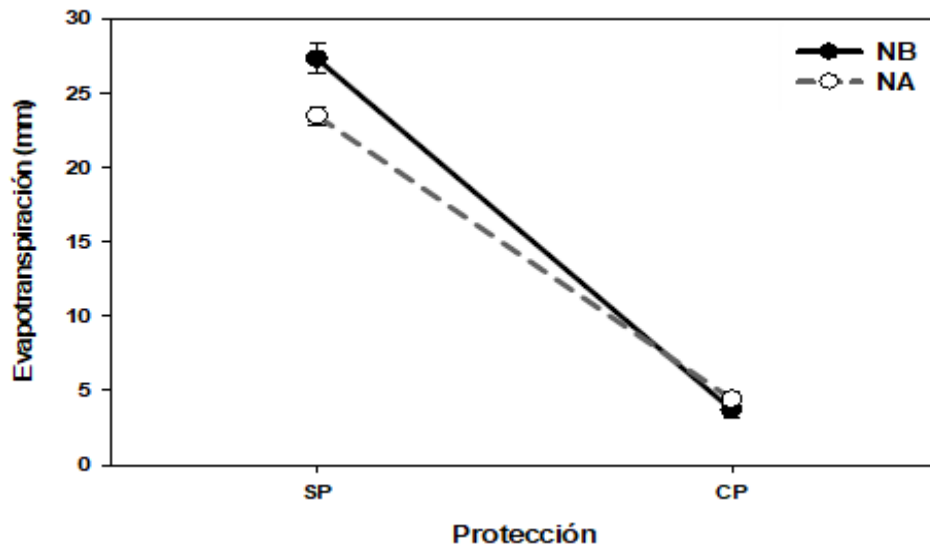


Figura 13. Efecto de la interacción protección por nutrición sobre la evapotranspiración (ETc) (mm) a los 10 días del ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 2, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (n= 5).

Índice de área foliar (IAF)

Etapa 1

En esta etapa, al final del ciclo se obtuvieron valores de índice de área foliar (IAF) de 17,90 ($\pm 1,43$ E.E.), 13,12 ($\pm 1,18$ E.E.), 11,98 ($\pm 1,22$ E.E.) y 9,67 ($\pm 0,77$ E.E.) $m^2 m^{-2}$, en los tratamientos CA, SA, CB y SB, respectivamente.

Al evaluar el efecto de los factores sobre el IAF, en las diferentes evaluaciones durante el ciclo de cultivo, se observó efecto ($P < 0,05$) de la interacción protección por nutrición a los 40 y 50 DDT. Por otra parte, hubo efectos independientes sobre el IAF, de la protección ($P < 0,05$) a los 10, 20 y 30 DDT (Figura 14A), y del factor nutrición únicamente ($P < 0,05$) a los 30 DDT (Figura 14B).

Al variar las condiciones de un cultivo sin protección a otro con protección el IAF aumentó 36,66% a los 10 DDT, 42,97% a los 20 DDT y 13,52% a los 30 DDT (Figura 14A). Mientras que, al pasar de un nivel de nutrición bajo a uno alto el IAF aumentó 46,74% a los 30 DDT (Figura 14B).

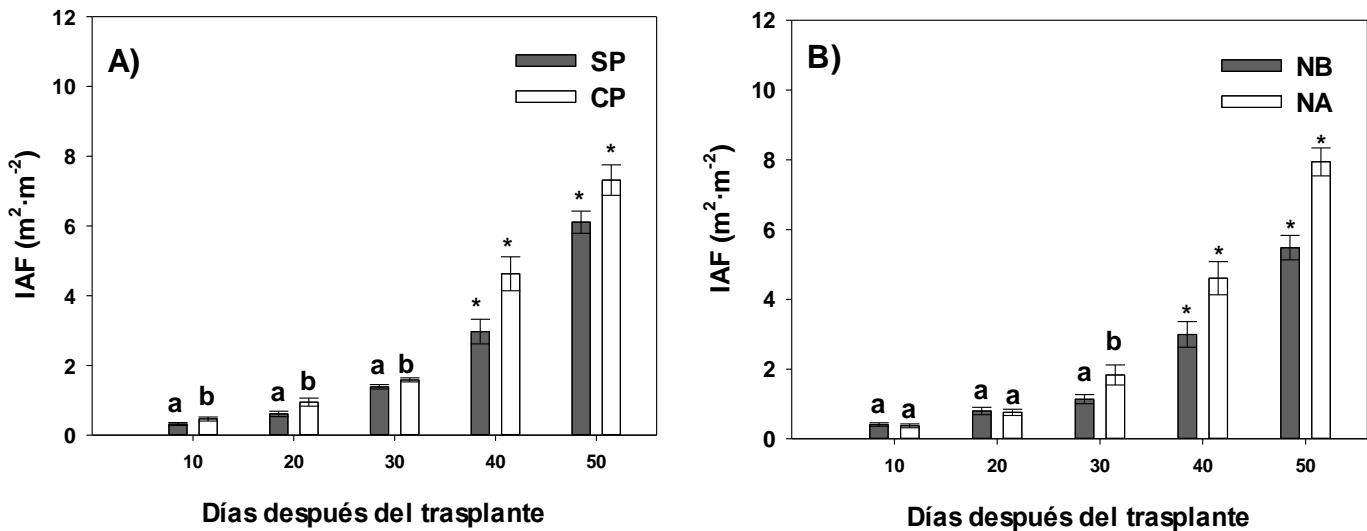


Figura 14. Efecto del factor protección (14A) y del factor nutrición (14B) sobre el índice de área foliar (IAF: m² m⁻²) en el ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 1, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (n = 10). Letras diferentes en cada semana indican efecto estadísticamente significativo (P<0,05) del factor protección (14A) y nutrición (14B). El símbolo * indica efecto estadísticamente significativo (P<0,05) de la interacción protección por nutrición.

Al analizar los efectos simples de la interacción a los 40 DDT, se observó que al pasar de un cultivo sin protección a otro con protección, el IAF aumentó 24,46% con un nivel de nutrición bajo; mientras que cuando el nivel de nutrición fue alto el IAF se duplicó a un 56,11%. Al evaluar el efecto de la nutrición, se observó que al pasar de un nivel de nutrición bajo a un nivel de nutrición alto, la magnitud en

respuesta en IAF fue mayor en el cultivo con protección en comparación al cultivo sin protección, en donde el IAF aumentó 23,00% en el cultivo sin protección y 54,74% en el cultivo con protección (Figura 15).

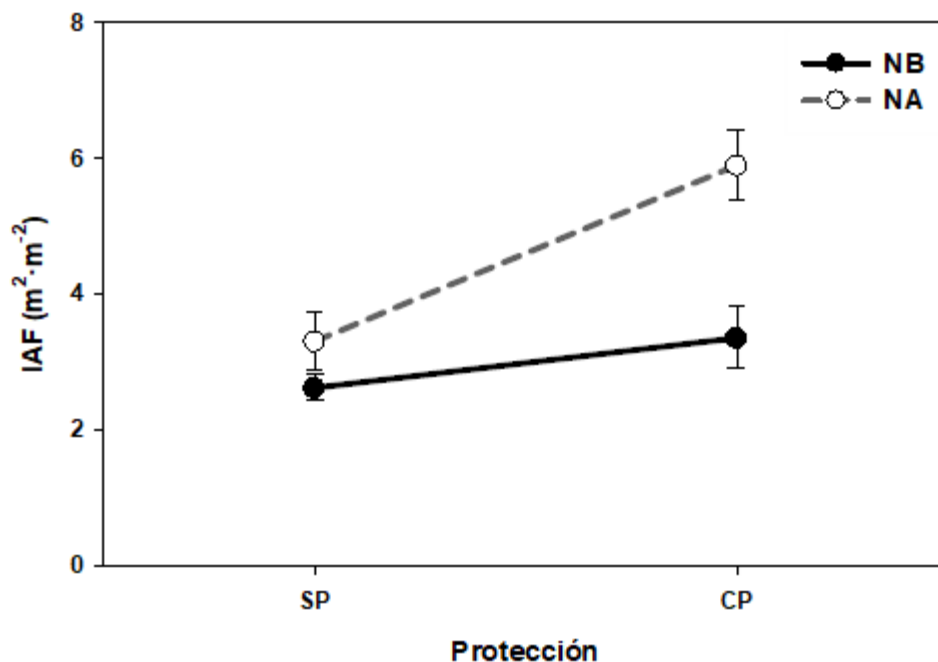


Figura 15. Efecto de la interacción protección por nutrición sobre el índice de área foliar (IAF: m² m⁻²) a los 40 días del ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 1, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (n= 5).

Respecto a la interacción a los 50 DDT, al pasar de un cultivo sin protección a otro con protección, el IAF aumentó 15,42% con un nivel de nutrición bajo; mientras que cuando el nivel de nutrición fue alto el IAF aumentó 19,73%. Al analizar el efecto de la nutrición, se observó que al pasar de un nivel de nutrición bajo a un nivel de nutrición alto, la magnitud en respuesta en IAF fue ligeramente mayor en el cultivo con protección en comparación al cultivo sin protección, en donde el IAF

aumentó 34,37% en el cultivo sin protección y 38,56% en el cultivo con protección (Figura 16).

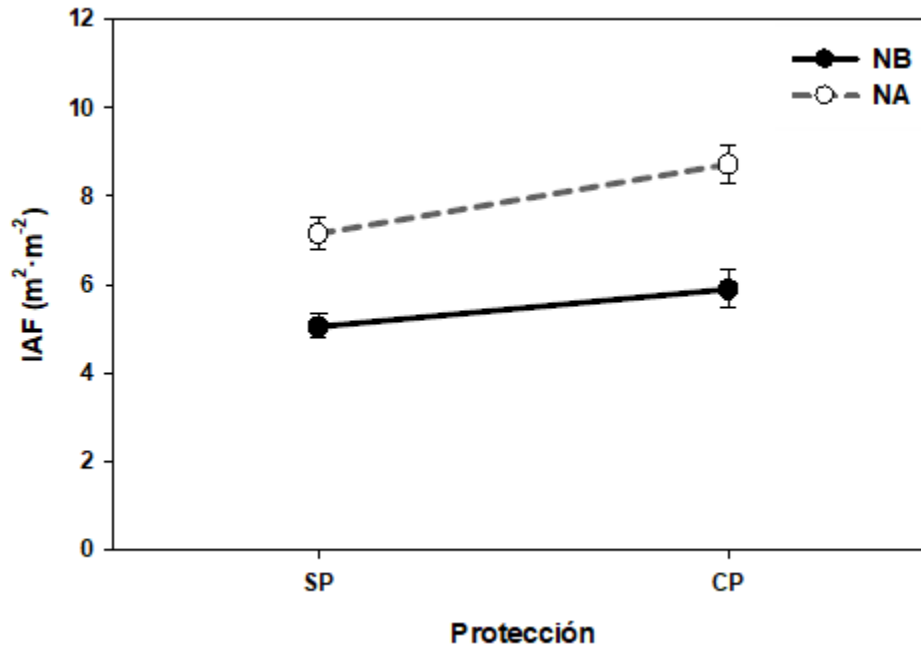


Figura 16. Efecto de la interacción protección por nutrición sobre el índice de área foliar (IAF: m² m⁻²) a los 50 días del ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 1, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (n= 5).

Evaluaciones en la etapa 2

Durante el ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 2 se obtuvieron valores de IAF acumulada en los tratamientos SA, CA, CB y SB de 56,75 ($\pm 13,62$ E.E.), 51,83 ($\pm 7,94$ E.E.), 39,78 ($\pm 2,65$ E.E.) y 34,82 ($\pm 3,01$ E.E.) m² m⁻², respectivamente. Respecto a los efectos independientes, hubo efecto de la protección ($P < 0,05$) a los 10 DDC (Figura 17A) y de la nutrición ($P < 0,05$) a los 10, 20 y 40 DDC (Figura 17B).

A los 10 DDC, al variar las condiciones de un cultivo sin protección a otro con protección, el IAF aumentó 20,98% (Figura 17A); mientras que, al pasar de un nivel de nutrición bajo a uno alto el IAF aumentó 28,18% a los 10 DDC, 33,17% a los 20 DDC y 47,90% a los 40 DDC (Figura 17B).

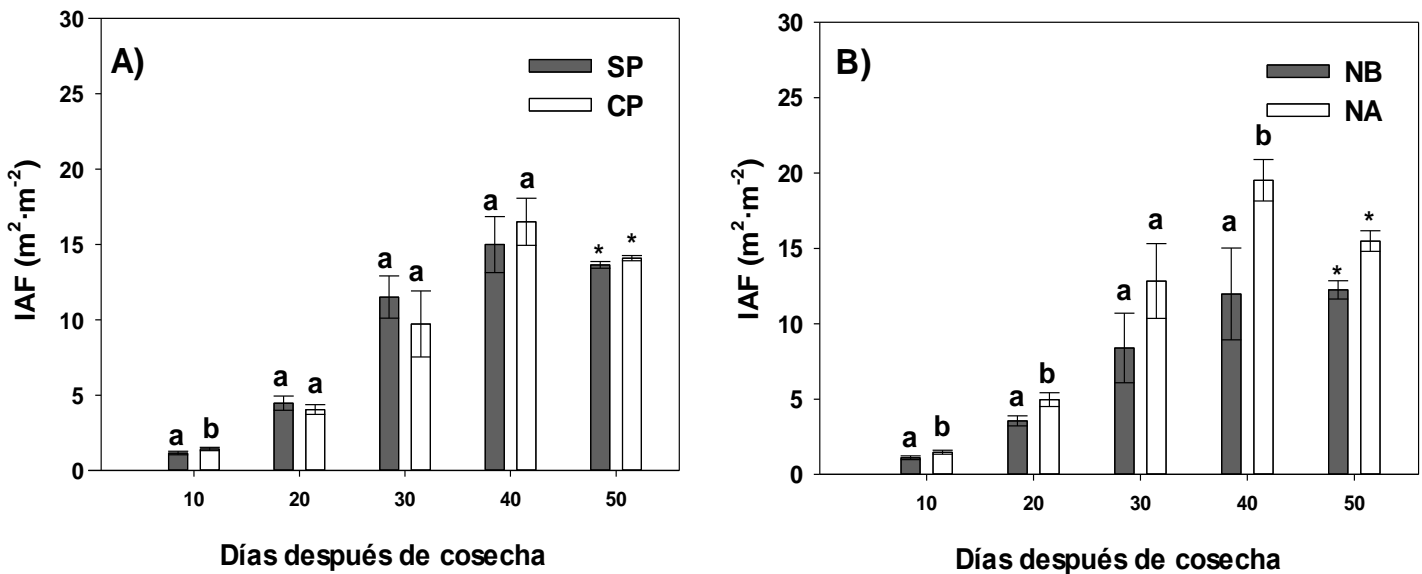


Figura 17. Efecto del factor protección (17A) y del factor nutrición (17B) sobre el índice de área foliar (IAF: m² m⁻²) en los diferentes días de evaluación después de cosecha en el cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 2, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (n = 10). Letras diferentes en cada semana indican efecto estadísticamente significativo (P<0,05) del factor protección (17A) y nutrición (17B).). El símbolo * indica efecto estadísticamente significativo (P<0,05) de la interacción protección por nutrición.

El IAF fue afectado ($P < 0,05$) por la interacción protección por nutrición al final del ciclo de cultivo en la etapa 2. A los 50 DDC, al pasar de un cultivo sin protección a otro con protección, el IAF aumentó 11,00% con un nivel de nutrición bajo; mientras que cuando el nivel de nutrición fue alto el IAF disminuyó 2,98%. Al analizar el efecto de la nutrición, se observó que al pasar de un nivel de nutrición bajo a un nivel de nutrición alto, la magnitud en respuesta del IAF fue mayor en el cultivo sin protección en comparación al cultivo con protección, en donde el IAF aumentó 30,32% en el cultivo sin protección y 16,53% en el cultivo con protección (Figura 18).

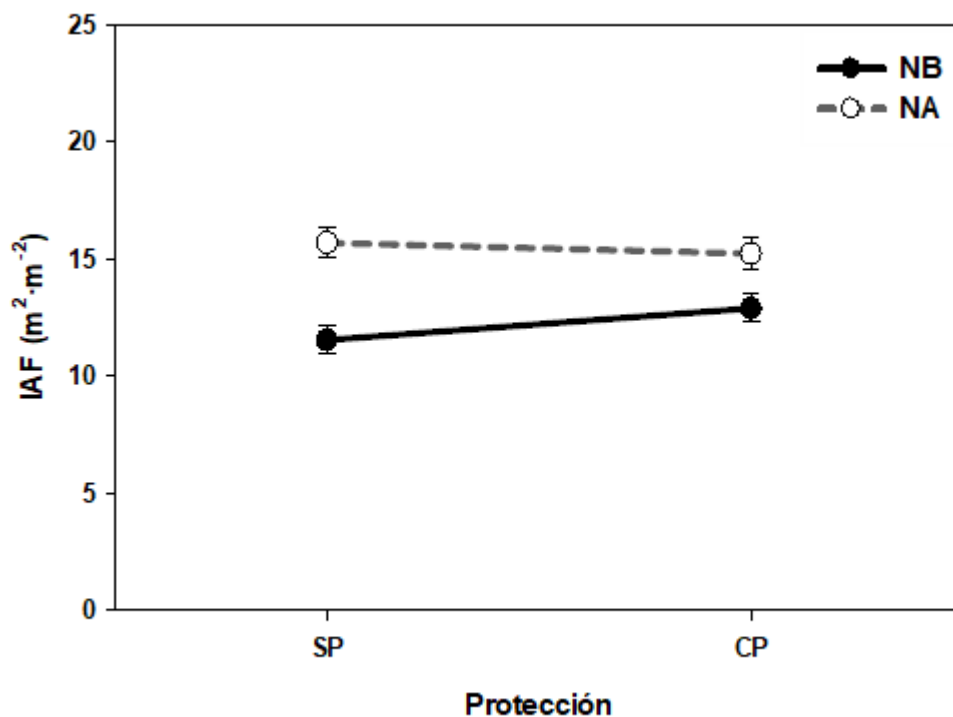


Figura 18. Efecto de la interacción protección por nutrición sobre el índice de área foliar (IAF: $m^2 m^{-2}$) a los 50 días del ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 2, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media ($n = 5$).

Tasa de crecimiento absoluto (TCA) y tasa de crecimiento relativo (TCR)

Etapa 1

No se presentó efecto de la interacción entre protección y nutrición sobre la tasa de crecimiento absoluto (TCA) en el cultivo de culantro coyote hidropónico durante la etapa 1 ($P > 0,05$). Además, no hubo efecto independiente de la protección (Figura 19A) ni de la nutrición (Figura 19B) sobre la TCA ($P > 0,05$).

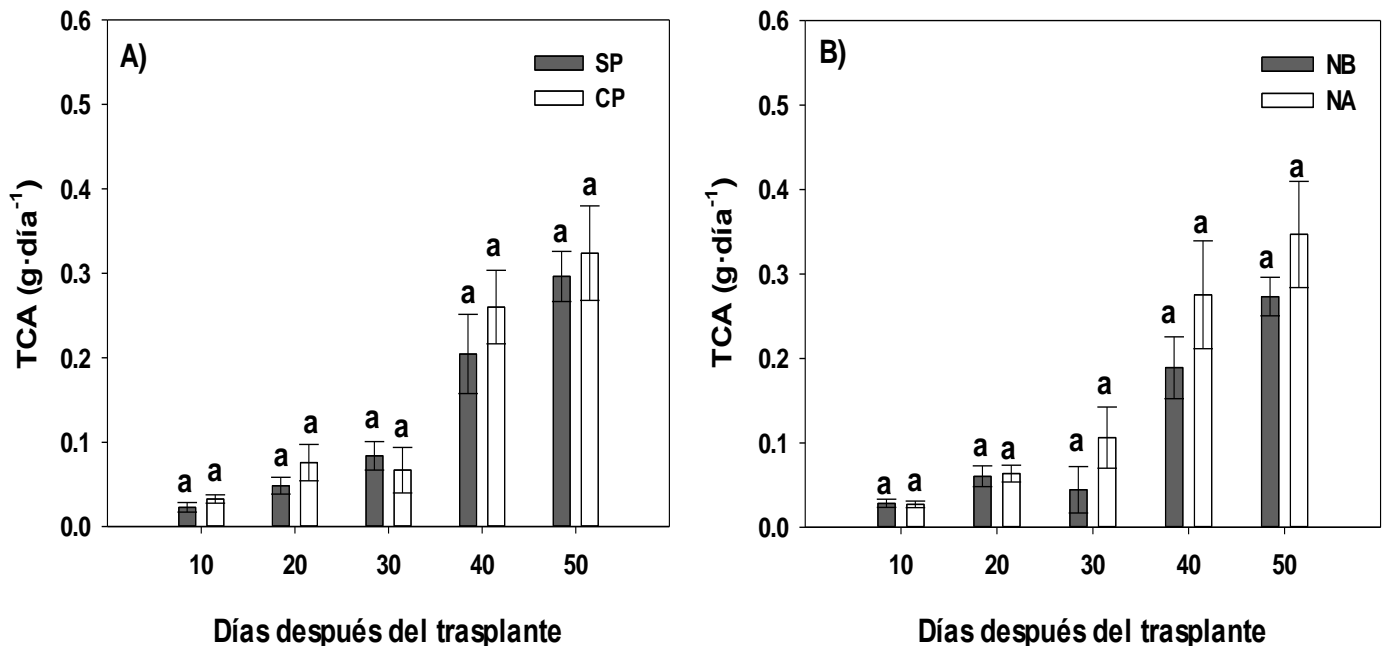


Figura 19. Efecto del factor protección (19A) y del factor nutrición (19B) sobre la tasa de crecimiento absoluto (TCA) ($\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$) en el ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 1, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media ($n = 10$). Letras iguales en cada semana indican efecto estadísticamente no significativo ($P < 0,05$) del factor protección (19A) y nutrición (19B).

No hubo efecto estadísticamente significativo ($P>0,05$) de la interacción entre protección y nutrición, ni efecto independiente del factor protección ($P>0,05$) sobre la tasa de crecimiento relativo (TCR) del cultivo de culantro coyote hidropónico durante la etapa 2 (Figura 20A). Únicamente el factor nutrición presentó efecto ($P<0,05$) sobre la TCR a los 30 DDT (Figura 20B), donde al pasar de un nivel de nutrición bajo a otro nivel de nutrición alto la TCR aumentó 67,53% (Figura 20B).

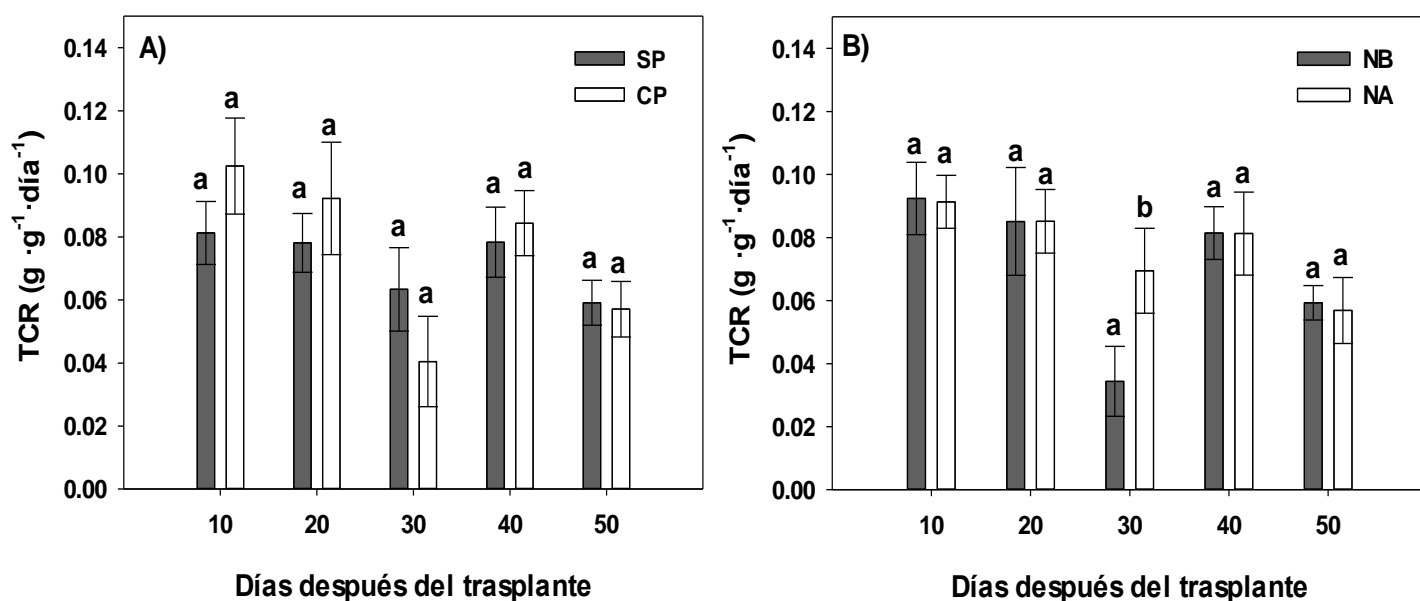


Figura 20. Efecto del factor protección (20A) y del factor nutrición (20B) sobre la tasa de crecimiento relativo (TCR) ($\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) en el ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 1, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media ($n = 10$). Letras iguales en cada semana indican efecto estadísticamente no significativo ($P<0,05$) del factor protección (20A) y nutrición (20B).

Etapa 2

Durante esta etapa, en los diferentes días de evaluación del ciclo de cultivo no hubo efecto estadísticamente significativo ($P>0,05$) de la interacción protección por nutrición sobre la TCA. Además, tampoco hubo efectos estadísticamente significativos ($P>0,05$) de los factores protección (Figura 21A) y nutrición sobre la TCA (Figura 21B).

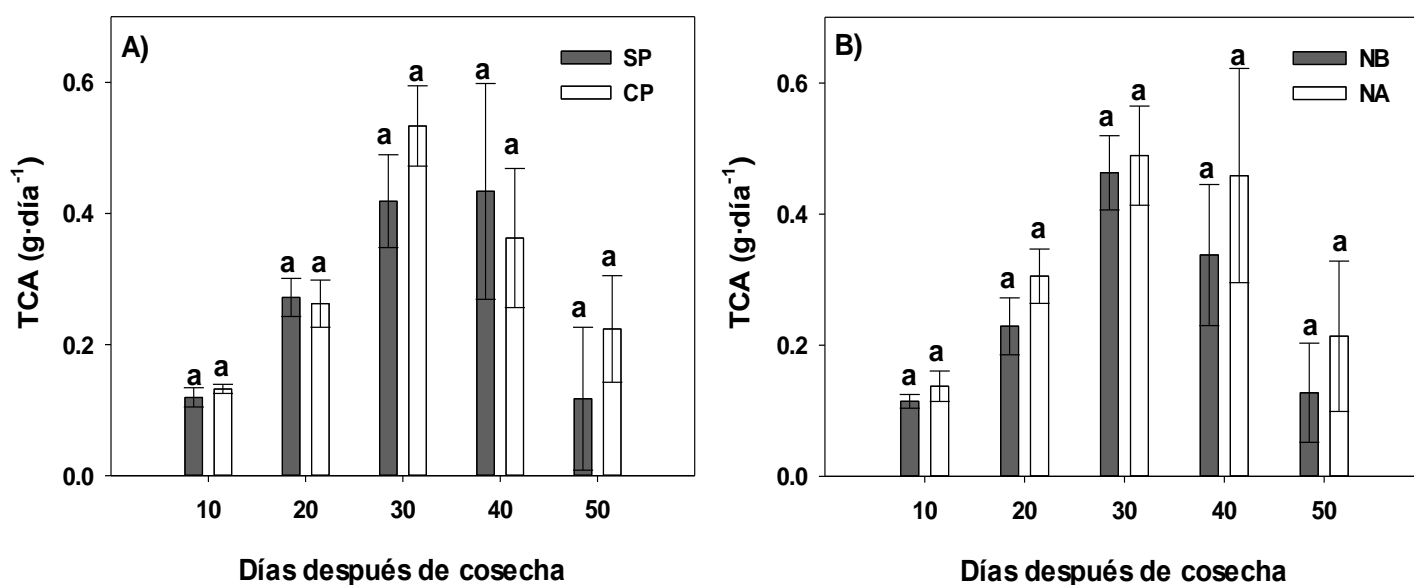


Figura 21. Efecto del factor protección (21A) y del factor nutrición (21B) sobre la tasa de crecimiento absoluto (TCA) ($\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$) en los diferentes días de evaluación después de cosecha en el cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 2, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Letras iguales en cada semana indican efecto estadísticamente no significativo ($P<0,05$) del factor protección (21A) y nutrición (22B).

Respecto a la TCR durante el ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 2, no hubo efectos estadísticamente significativos ($P>0,05$) del factor protección (Figura 12A), ni del factor nutrición (Figura 22B).

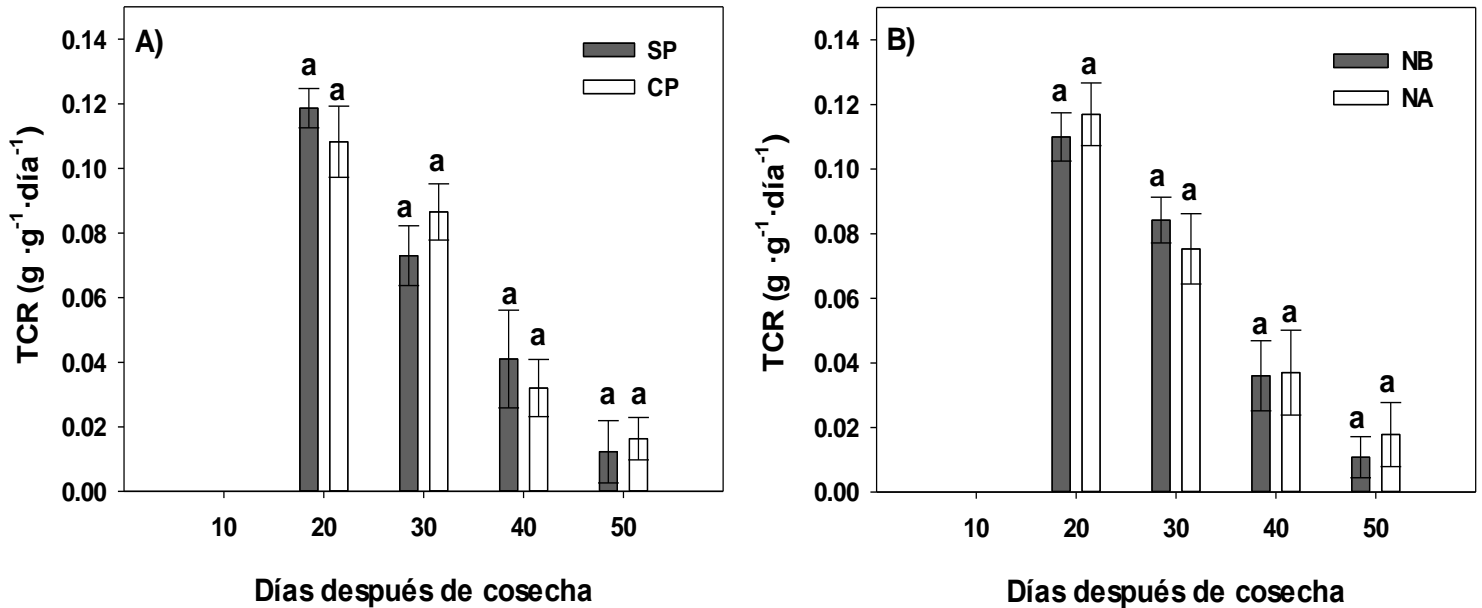


Figura 22. Efecto del factor protección (22A) y del factor nutrición (22B) sobre la tasa de crecimiento relativo (TCR) ($\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) en los diferentes días de evaluación después de cosecha en el cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 2, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica, 2016. Letras iguales en cada semana indican efecto estadísticamente no significativo ($P<0,05$) del factor protección (22A) y nutrición (22B).

Rendimiento

Etapa 1

La respuesta en rendimiento fresco al final del ciclo se muestra en el Cuadro 6. El número de rollos de 200 g obtenido por m² en orden creciente fue de 10,10 ($\pm 1,67$ E.E), 12,50 ($\pm 1,67$ E.E), 16,79 ($\pm 2,47$ E.E) y 21,51 ($\pm 2,68$ E.E), para los tratamientos SB, CB, SA y CA, respectivamente.

Cuadro 6. Valores de rendimiento (kg m⁻²) obtenidos al finalizar la etapa 1 del cultivo de culantro coyote hidropónico, Alajuela, Costa Rica, 2016.

Factor	Nutrición			
	Nivel	B	A	Promedio protección
Protección	S	2,04	3,33	2,69 a
	C	2,52	4,30	3,41 b
Promedio nutrición		2,28 a	3,82 b	

La interacción entre la protección y la nutrición no afectó ($P > 0,05$) el rendimiento fresco de culantro coyote. Sin embargo, si hubo efectos ($P < 0,05$) independientes del factor protección y del factor nutrición durante la etapa 1 de ciclo del cultivo. Al variar de una condición sin protección a una condición con protección, el rendimiento aumentó 23,62%. Mientras que al pasar de un nivel de nutrición bajo a un nivel de nutrición alto el rendimiento aumentó 50,33%.

Etapa 2

La respuesta en rendimiento al final del ciclo de cultivo de culantro coyote en la etapa 2 se muestra en el Cuadro 7. El número de rollos de 200 g obtenido por m² en orden creciente fue de 25,20 ($\pm 3,54$ E.E), 30,05 ($\pm 3,22$ E.E), 40,28 ($\pm 3,96$ E.E) y 41,02 ($\pm 8,20$ E.E), para los tratamientos SB, CB, SA y CA, respectivamente.

Cuadro 7. Valores de rendimiento (kg m^{-2}) obtenidos al finalizar la etapa 2 del cultivo de culantro coyote hidropónico, Alajuela, Costa Rica, 2016.

Factor	Nutrición			Promedio protección
	Nivel	B	A	
Protección	S	5,04	8,06	6,55 a
	C	6,01	8,20	7,11 a
Promedio nutrición		5,53 a	8,13 b	

Durante la etapa 2, la variable rendimiento no presentó efecto de la interacción entre protección y nutrición ($P > 0,05$), ni efecto independiente por la protección ($P > 0,05$). Por otra parte, la variable rendimiento presentó diferencias significativas para la fuente de variación que incluye el factor nutrición ($P < 0,05$). Se observó que al cambiar de un nivel de nutrición bajo ($5,53 \text{ kg m}^{-2}$) a un nivel con nutrición alto ($8,13 \text{ kg m}^{-2}$) el rendimiento aumentó 47,00%.

Eficiencia de recuperación de nutrientes (ER)

Al finalizar ambos ciclos del cultivo (etapa 1 y 2), la eficiencia de recuperación (ER) acumulada de los nutrientes Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) no fue afectada ($P > 0,05$) por la interacción protección por nutrición del cultivo, en la etapa 1 y 2.

Por otra parte, hubo efectos ($P < 0,05$) independientes de ambos factores sobre la ER de N, P y K, y de la nutrición sobre la ER de todos los elementos en ambas etapas. En general, bajo condiciones de igual nivel de nutrición, los tratamientos con protección mostraron mayor ER que aquellos no tenían protección; mientras bajo la misma condición de ambiente (con o sin protección), los tratamientos con NB tuvieron mayor ER que aquellos con alto nivel de concentración de nutrientes.

Eficiencia de recuperación en etapa 1

Nitrógeno

Al finalizar la etapa 1 del ciclo cultivo de culantro coyote se obtuvieron valores de ER acumulada para N de 0,35 ($\pm 0,03$ E.E.), 0,40 ($\pm 0,03$ E.E.), 0,45 ($\pm 0,05$ E.E.) y 0,58 ($\pm 0,04$ E.E.) $g\ g^{-1}$ para los tratamientos SA, CA, SB y CB, respectivamente. Al evaluar el efecto independiente de los factores, se observó que la protección y la nutrición afectaron ($P < 0,05$) la ER de N. Al cambiar de una condición sin protección a otra con protección la ER del N aumentó 19,97% (Figura 23A), Así, al pasar de un nivel con nutrición alto a un nivel con nutrición bajo la ER del N aumentó 31,95% (Figura 23B).

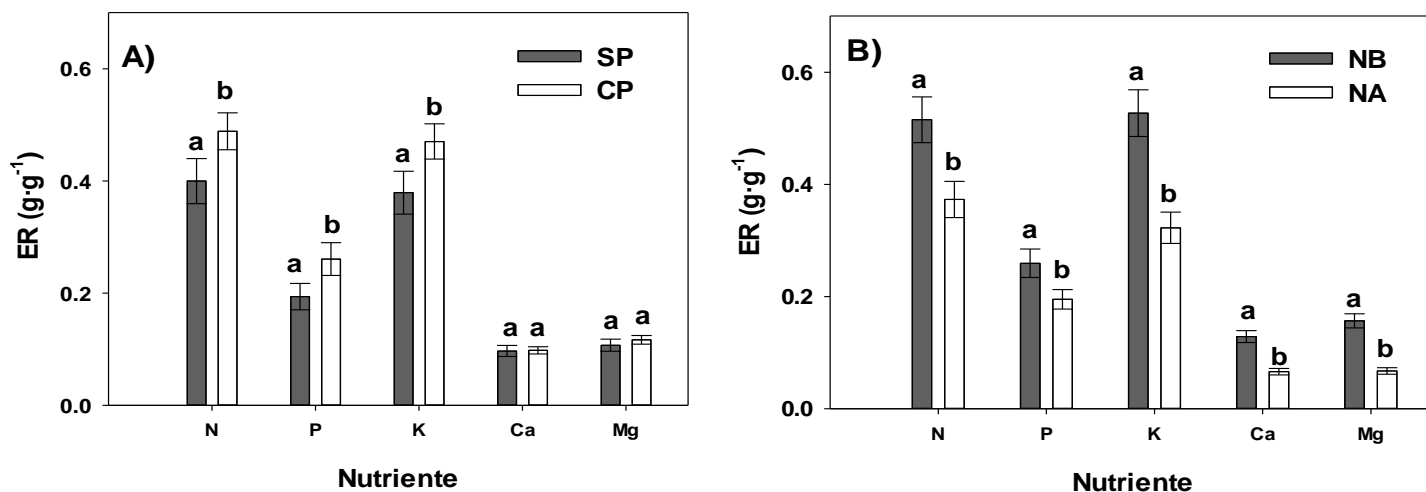


Figura 23. Efecto del factor protección (23A) y del factor nutrición (23B) sobre la eficiencia de recuperación acumulada (ER) de Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) ($g\ g^{-1}$) en el ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico en la etapa 1, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media ($n = 10$). Letras diferentes en cada semana indican efecto estadísticamente significativo ($P < 0,05$) del factor protección (23A) y nutrición (23B).

Fósforo

Durante el ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico se obtuvieron los siguientes valores de ER acumulada de P: 0,17 ($\pm 0,04$ E.E.), 0,22 ($\pm 0,04$ E.E.), 0,31 ($\pm 0,04$ E.E.) y 0,33 ($\pm 0,04$ E.E.) $g\ g^{-1}$ para los tratamientos SA, CA, CB y SB, respectivamente. La ER del P presentó efecto ($P < 0,05$) independiente de la protección y de la nutrición. Al variar desde una condición sin protección a otra con protección la ER del P aumentó un 29,40% (Figura 23A), mientras que al cambiar de un nivel con nutrición alto a un nivel con nutrición bajo la ER aumentó 28,28% (Figura 23B).

Potasio

La ER acumulada para el elemento K presentó valores de 0,30 ($\pm 0,03$ E.E.), 0,34 ($\pm 0,03$ E.E.), 0,46 ($\pm 0,05$ E.E.) y 0,60 ($\pm 0,04$ E.E.) $g\ g^{-1}$, para los tratamientos SA, CA, SB y CB, respectivamente. La ER acumulada del K presentó efecto ($P < 0,05$) independiente de la protección y de la nutrición. Al variar de una condición sin protección a una condición con protección la ER aumentó un 21,45% (Figura 23A), mientras que al cambiar de un nivel con nutrición alto a un nivel con nutrición bajo la ER aumentó 48,08% (Figura 23B).

Calcio

Al finalizar el ciclo de la etapa 1 se obtuvieron valores de ER acumulada de Ca de 0,06 ($\pm 0,01$ E.E.), 0,07 ($\pm 0,01$ E.E.), 0,12 ($\pm 0,01$ E.E.), y 0,13 ($\pm 0,01$ E.E.) $g\ g^{-1}$ para los tratamientos SA, CA, CB y SB, respectivamente. La ER acumulada de Ca no fue afectada por el efecto independiente de la protección ($P > 0,05$) (Figura 23A). El factor nutrición afectó significativamente ($P < 0,05$) la ER acumulada del Ca, en donde al cambiar de un nivel con nutrición alto a un nivel con nutrición bajo la ER aumentó 64,25% (Figura 23B).

Magnesio

Se obtuvieron los siguientes valores de ER acumulada de Mg en los tratamientos CA, SA, SB y CB: 0,07 ($\pm 0,01$ E.E.), 0,07 (0,01 E.E.), 0,15 ($\pm 0,02$ E.E.) y 0,17 ($\pm 0,01$ E.E.) $g\ g^{-1}$, respectivamente. La ER acumulada de Mg no fue afectada

por el efecto independiente de la protección ($P>0,05$) (Figura 23A), mientras que el factor nutrición afectó significativamente ($P<0,05$) la ER acumulada del Mg, en donde al cambiar de un nivel con nutrición alto a un nivel con nutrición bajo la ER aumentó 79,56% (Figura 23B).

Eficiencia de recuperación en etapa 2

En esta etapa, el comportamiento en la ER de los diferentes nutrientes fue coincidente con el comportamiento mostrado en la etapa 1. En ninguno de los tratamientos, hubo efecto ($P>0,05$) de la interacción entre protección y nutrición sobre la ER de nutrientes. Por su parte, hubo efectos independientes de ambos factores ($P<0,05$), mostrando mayor ER de N, P y K en los cultivos con protección y en condiciones de bajo nivel de nutrientes. La ER de Ca y Mg no fue afectada por el factor protección, mientras que el nivel de nutrición si afectó su ER.

Nitrógeno

Al finalizar el ciclo de la etapa 2 se obtuvieron valores de ER acumulada para N de 0,51 ($\pm 0,04$ E.E.), 0,56 ($\pm 0,03$ E.E.), 0,79 ($\pm 0,07$ E.E.) y 0,95 ($\pm 0,06$ E.E.) g g^{-1} para los tratamientos SA, CA, SB y CB, respectivamente. Al evaluar el efecto independiente de los factores, se observó que hubo efecto ($P<0,05$) de la protección y de la nutrición sobre la ER acumulada de N. Al pasar de una condición sin protección a otra con protección la ER del N aumentó 15,09% (Figura 24A), mientras que al pasar de un nivel con nutrición alto a un nivel con nutrición bajo la ER del N aumentó 48,01% (Figura 24B)

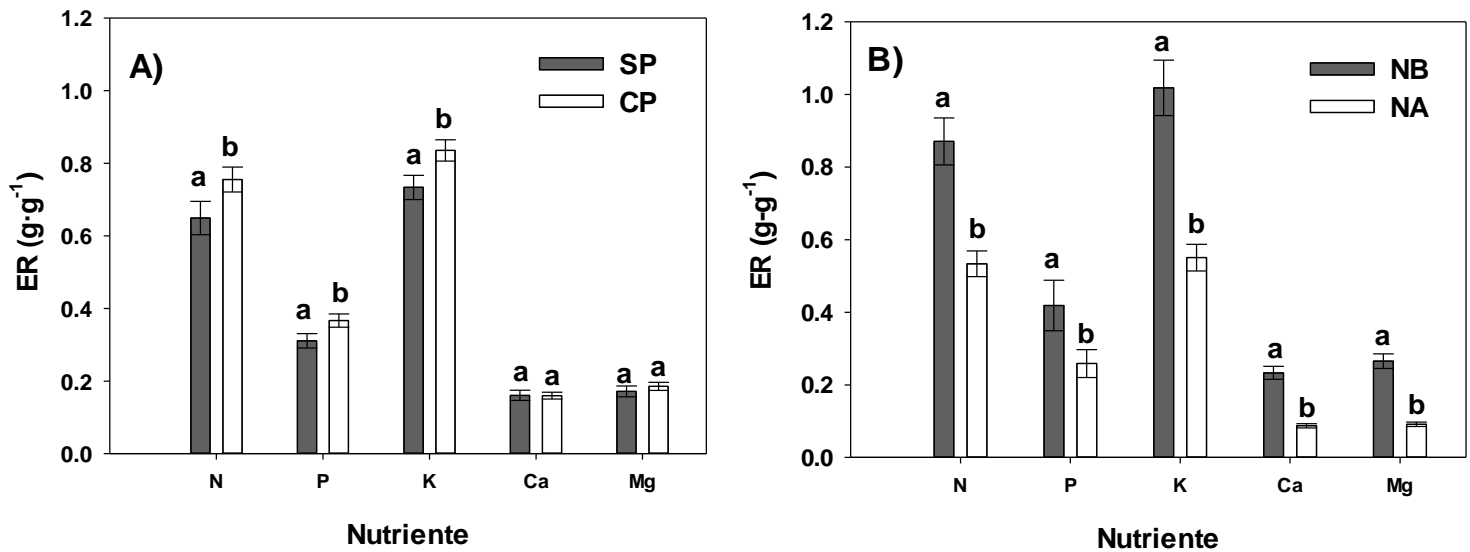


Figura 24. Efecto del factor protección (24A) y del factor nutrición (24B) sobre la eficiencia de recuperación acumulada (ER) de Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) (g g⁻¹) en el ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico durante la etapa 2, bajo condiciones sin (SP) y con protección (CP), con nutrición baja (NB) y alta (NA), Alajuela, Costa Rica. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (n = 10). Alajuela, Costa Rica, 2016. Letras diferentes en cada semana indican efecto estadísticamente significativo (P<0,05) del factor protección (24A) y nutrición (24B).

Fósforo

Durante el ciclo de cultivo de culantro coyote hidropónico se obtuvieron los siguientes valores de ER de P: 0,24 (±0,04 E.E.), 0,28 (±0,03 E.E.), 0,38 (±0,08 E.E.) y 0,46 (±0,06 E.E.) g g⁻¹ para los tratamientos SA, CA, SB y CB, respectivamente. La ER acumulada del P presentó efectos independientes (P<0,05) de la protección y de la nutrición. Al variar de una condición sin protección a una condición con protección la ER del P aumentó un 16,55% (Figura24A), mientras que al cambiar de un nivel con nutrición alto a un nivel con nutrición bajo la ER aumentó 47,13% (Figura 24B).

Potasio

La ER acumulada para el elemento K presentó valores de 0,52 ($\pm 0,04$ E.E.), 0,58 ($\pm 0,03$ E.E.), 0,95 ($\pm 0,09$ E.E.) y 1,09 ($\pm 0,07$ E.E.) $g\ g^{-1}$, para los tratamientos SA, CA, SB y CB, respectivamente. La ER acumulada del K presentó efecto ($P < 0,05$) independiente de la protección y de la nutrición. Al variar de una condición sin protección a una condición con protección la ER aumentó un 12,98% (Figura 24A), mientras que al cambiar de un nivel con nutrición alto a un nivel con nutrición bajo la ER aumentó 59,61% (Figura 24B).

Calcio

Al finalizar el ciclo de cultivo de culantro coyote se obtuvieron valores de ER acumulada de Ca de 0,08 ($\pm 0,01$ E.E.), 0,09 ($\pm 0,01$ E.E.), 0,23 ($\pm 0,01$ E.E.) y 0,24 ($\pm 0,02$ E.E.) $g\ g^{-1}$ para los tratamientos SA, CA, CB y SB, respectivamente. La ER acumulada de Ca no fue afectada por el efecto independiente de la protección ($P > 0,05$) (Figura 24A). El factor nutrición afectó significativamente ($P < 0,05$) la ER acumulada del Ca, en donde al cambiar de un nivel con nutrición alto a un nivel con nutrición bajo la ER aumentó 90,99% (Figura 24B).

Magnesio

Se obtuvieron los siguientes valores de ER acumulada de Mg en los tratamientos SA, CA, SB y CB: 0,09 ($\pm 0,01$ E.E.), 0,10 ($\pm 0,01$ E.E.), 0,26 ($\pm 0,02$ E.E.) y 0,27 ($\pm 0,02$ E.E.) $g\ g^{-1}$, respectivamente. La ER acumulada de Mg no fue afectada por el efecto independiente de la protección ($P > 0,05$) (Figura 24A). Mientras que el factor nutrición afectó significativamente ($P < 0,05$) la ER acumulada del Mg, en donde al cambiar de un nivel con nutrición alto a un nivel con nutrición bajo la ER aumentó 97,38% (Figura 24B).

Discusión

Efecto de la protección y la nutrición sobre la ETc en el cultivo de culantro coyote.

En la etapa 1, la ETc fue afectada ($P < 0,05$) únicamente por la condición de protección, donde el cambio de una condición no protegida a una condición

protegida resultó en una sustancial disminución de la ETc desde un 28% hasta un 63% (Figura 11A). El comportamiento anterior fue contrario al comportamiento del IAF y los rendimientos obtenidos, ya que el cultivo de culantro coyote presentó mayor IAF y mayor rendimiento fresco bajo la condición protegida (Figura 14, 15 y 16). En este caso, podría suponerse que bajo CP la ETc fuera mayor debido a un mayor crecimiento expresado en mayores IAF y rendimiento fresco. Al respecto, Allen *et al* (2006), indican que conforme aumenta el dosel del cultivo, la transpiración tiene mayor importancia como componente de la ETc, debido a que un mayor IAF genera una mayor superficie de exposición y por ende valores mayores de ETc.

Escalante *et al* (2001) reportaron en un cultivo de frijol a campo abierto bajo un sistema de producción conveccional, una buena correlación entre los valores de radiación y los valores de ETc, donde conforme aumentaban los valores de radiación se incrementó los valores de ETc. Martín *et al* (2005) indican que es posible deducir de la ecuación Penman-Monteith que los valores de ETc incrementarán de forma lineal conforme se de un aumento en los valores de radiación neta en un cultivo. En la Figura 3 se puede observar como los valores de la integral de radiación solar promedio siempre fueron mayores en el cultivo expuesto a la condición sin protección en aproximadamente un 38%, lo que posiblemente generó un incremento en la ETc en el cultivo sin protección en comparación con el cultivo protegido, tomando en cuenta lo mencionado por los autores.

Por otra parte, el cultivo de culantro coyote mostró un crecimiento lento en los primeros 30 DDT que se evidencia en valores bajos de IAF (Figura 14A). Este comportamiento, probablemente favoreció una mayor evaporación como componente de la ETc desde la superficie húmeda y expuesta del sustrato en el cultivo SP que tuvo una mayor RS incidente, respecto al cultivo CP, un comportamiento similar encontró Silva *et al* (2013) en el cultivo de culantro Castilla, donde en las primeras fases del cultivo (de lento crecimiento) la ETc se debió mayoritariamente al componente de evaporación, producto del efecto de las variables ambientales sobre la superficie húmeda del sustrato (Allen *et al.*, 2006).

Durante la etapa 2, la ETc, fue afectada únicamente por la interacción entre la protección y la nutrición a los 10 días DDC, en el resto de semanas tanto la interacción como los factores protección y nutrición no fueron significativos ($P > 0,05$) (Figura 12 y 13). Coincidente con el comportamiento mostrado en la etapa 1 de esta investigación, en la etapa 2 a los 10 DDC la ETc fue mayor en el cultivo sin protección, independientemente del nivel de nutrición. En estudios realizados por Fan *et al* (2016) sobre las necesidades hídricas, demostraron que la cantidad de radiación solar incidente tiene un impacto directo en los requerimientos hídricos de los cultivos, de tal forma que a mayores valores de radiación, mayores serán las necesidades de agua de los cultivos. En este estudio, durante la etapa 2, los niveles de radiación en los tratamientos sin protección (SP) fueron en promedio de $31,8 \text{ mol m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ (Figura 4); 37% superiores a CP, lo que pudo incrementar los valores de ETc a los 10 DDC.

Otra probable explicación a lo obtenido en esta etapa; es la mayor evaporación que transpiración como componentes de la ETc, debido a lo que se explicó para la etapa 1 relacionado con el crecimiento inicial lento por menor IAF, menor cobertura del sustrato, mayor superficie húmeda y expuesta para la evaporación y mayor RS incidente en SP (Silva *et al.*, 2013), Relacionado con lo anterior. La ETc, a los 10 DDC fue mayor en SP y el IAF fue menor, lo que favoreció una mayor evaporación en SP. Además, se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos durante esta etapa para variables como IAF y rendimiento, variables que pueden modificar la respuesta de la ETc.

A partir de la evolución a los 20 DDC, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos para el IAF y la ETc. En la Figura 8 es posible observar que en los tratamientos con nivel de nutrición alto, a partir de la evaluación a los 20 DDC se inició un incremento en los niveles de CE en el agua de drenaje, hasta llegar a valores superiores a $4,0 \text{ dS m}^{-1}$. Pessaraki (1999), Taiz y Zieger, (2002), Calori *et al* (2014) indicaron que niveles de CE por encima de los tolerados por el cultivo pueden llegar a generar un desbalance del potencial osmótico del medio, situación con capacidad de inhibir la absorción de agua y el crecimiento del cultivo.

Shannon y Grieve (1998) en una revisión acerca de la tolerancia de diferentes cultivos hortícolas a la salinidad, indicaron que cultivos como la lechuga, zanahoria, brócoli, rábano, repollo, papa, espinaca, cebolla, entre otros, pueden llegar a ver disminuido su rendimiento entre un 8 y 16%, cuando la CE supera valores de 2,5 dS m⁻¹. Esto debido en gran medida a que estos cultivos pierden parte de su habilidad para absorber agua, producto de un desbalance osmótico en el medio de cultivo. Tomando en cuenta los valores de CE y los niveles de radiación (Figura 4), durante esta etapa en el cultivo de culantro coyote se presentaron problemas de salinidad a partir de la evaluación a los 20 DDC (Figura 8), lo que explicaría porque los tratamientos con diferentes niveles de nutrición y protección no presentaron diferencias estadísticamente significativas para la variable ETc. junto con lo mencionado para diferentes cultivos hortícolas con respecto al efecto de la salinidad sobre la capacidad de absorber agua, durante la etapa 2 a partir de los 20 DDC, las condiciones de alta RS y CE pudieron inhibir la aparición de posibles diferencias significativas entre los factores de nutrición y/o protección o la interacción entre estos.

Efecto de la protección y la nutrición sobre el IAF, la TCA, TCR y el rendimiento.

En la etapa 1 del cultivo de culantro coyote, se obtuvieron efectos significativos de la protección, la nutrición y la interacción entre ambos factores para el IAF. En el caso de la protección a los 10, 20 y 30 DDT se presentó un incremento promedio entre 13,52% y 42,97% bajo la condición protegida. Con respecto al factor nutrición este generó un incremento promedio de 46.74% en el nivel de alta concentración a los 30 DDT. Torres *et al* (2016) obtuvieron en un cultivo de avena cultivado en un sistema convencional, una mayor respuesta de la variable IAF conforme se aumentaban los valores de fertilizante químico aplicado por tratamiento, al incrementarse la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas. De igual forma respondió el cultivo de culantro coyote a los 30 DDT al incrementar la concentración de nutrientes en la solución nutritiva.

Durante la etapa 1 en las evaluaciones a los 10, 20 y 30 DDT es posible observar como los valores de CE en el agua de drenaje se mantuvieron superiores en los tratamientos con protección con respecto a los tratamientos sin protección, en especial en el tratamiento con nutrición alta (Figura 7). Puntualmente entre la evaluación a los 20 y 30 DDT se logró observar como se dio una diferencia marcada entre en el nivel de nutrición alto con y sin protección, en un periodo donde el cultivo estaba bien establecido a diferencia de la evaluación a los 10 DDT, cuando se encontraba en una fase de establecimiento (Figura 7). Como lo mencionaron Barbaro *et al* (2014) la CE es un buen indicador de la cantidad de sales fertilizantes disueltas en la solución nutritiva.

Tomando en cuenta que las aguas de drenaje son el remanente de las aguas totales, que ingresaron al cultivo y que las mismas presentan por lo general valores menores de CE, después de haber circulado por el sustrato y servir de fuente de nutrientes para el cultivo. Se podría pensar que los tratamientos en general estuvieron expuestos a valores mayores de CE y por ende de nutrientes, en especial los cultivos bajo el factor de protección.

Putra y Yuliando (2015) en su estudio sobre los sistemas de producción hidropónicos, indicaron que valores de CE bajos podrían resultar en un suministro inadecuado de nutrientes para la planta, y en aquellos casos contrarios donde los valores son elevados, el efecto podría resultar en problemas de salinidad y las diferentes afectaciones que esta conlleva. Andriolo *et al* (2005) en su estudio en el cultivo de lechuga producido en un sistema hidropónico en camas con sustrato, evaluaron diferentes niveles de CE (0,80; 1,93; 2,81; 3,73 y 4,72 dS m⁻¹). Dichos autores reportaron que los mayores valores de IAF se encontraron entre los valores de CE de 2 y 3 dS m⁻¹. Además, Marschner (2012) indicó en su libro que un adecuado suplemento de nutrientes, en especial Nitrógeno tiene la capacidad de mejorar el desarrollo y la expansión de las hojas, lo que incrementaría la variable IAF.

Con base en lo anterior es posible deducir a partir de los datos obtenidos en las evaluaciones a los 10, 20, 30, 40 y 50 DDT, en el cultivo de culantro coyote el uso de un nivel de protección favoreció en promedio el desarrollo de la variable IAF, al presentarse una mayor disponibilidad de nutrientes (Figura 14, 15 y 16). En el caso particular de las interacciones fue marcado el efecto favorable del uso de la protección con sarán, al existir siempre un incremento para IAF en respuesta al cambio de una condición sin protección a con protección. Destacó como al disminuir los valores de CE en el agua de drenaje entre las evaluaciones a los 40 y 50 DDT, disminuyó este efecto mencionado de la protección como se aprecia en las Figuras 15 y 16, lo que refuerza la hipótesis de que una mayor disponibilidad de nutrientes favoreció el desarrollo del IAF.

En la etapa 2 durante la época de invierno el cultivo presentó para la variable IAF efectos significativos de los factores protección, nutrición y de la interacción entre ambos. En la evaluación a los 10 DDC la protección significó un incremento del 20,98%, además en esta evaluación y la de los 20 y 40 DDC el cambio en el nivel de nutrición a alta concentración, significó incrementos para el IAF de entre 28,18% y 47,90% (Figura 17). En la etapa 2, el efecto de la protección resultó ser menos importante que en la época de verano, a pesar de que los valores de radiación registrados entre ambas épocas no variaron mucho entre sí (aproximadamente 7%) (Figura 3 y 4).

De igual forma que en la etapa 1, en la etapa 2 el factor nutrición generó incrementos en la variables IAF al cambiar de una condición no protegida a una protegida, con la única excepción de la evaluación a los 50 DDC donde este cambio presentó una leve reducción, la cual se pudo deber como se explicó para la ETc, a un incremento en los niveles de CE en el agua de drenaje por encima de 4,0 dS/m, lo que pudo generar un desbalance osmótico en el sustrato y por ende estrés en el cultivo. Como lo reportó Estrada (1999) en un ensayo con dos materiales de girasol, cultivados en un sistema convencional, con dos niveles de nutrición. El índice de área foliar se vio favorecido por el incremento en el nivel de concentración de Nitrógeno, de manera que la concentración más alta de Nitrógeno generó los valores mayores de IAF para los dos materiales estudiados. Esto coincide con lo

visto para el cultivo de culantro coyote, el cual en la etapa 2 presentó en promedio un mayor IAF bajo el nivel de nutrición alto en comparación con el bajo.

Otro factor que pudo beneficiar la obtención de mayores valores de IAF en ambas etapas bajo el cultivo con protección, fue el sombreo, ya que tanto en la etapa 1 como en la etapa 2 el porcentaje de sombreo rondó entre el 37 y 38%. Callejas *et al* (2016) y Sosa (2006) en sus tesis en el cultivo de culantro coyote, reportaron que el uso de sombra en el cultivo tiene la capacidad de incrementar los valores de área foliar y por ende de IAF. En particular Callejas *et al* (2016) indicaron que porcentajes de sombra del 40% generaron incrementos estadísticamente significativos en el área foliar con respecto al cultivo producido sin sombra, en un sistema de cultivo en suelo de tipo convencional. De igual forma en esta investigación se obtuvieron diferencias significativas para la IAF, entre las condiciones de protección, con porcentajes de sombra muy similares a los mencionados en la literatura, para algunas de las evaluaciones en ambas etapas.

En el caso de las tasas de crecimiento absoluto y relativo tanto en la etapa 1 como en la 2 no se presentó efecto del factor protección o de la interacción entre los factores protección y nutrición, únicamente en la evaluación a los 30 DDT en la etapa 1, el nivel de nutrición generó un incremento del 67,53% al pasar del nivel de nutrición bajo a otro alto (Figura 19, 20, 21, 22). Cometti *et al* (2008) en un ensayo en el cultivo de lechuga producida en un sistema del tipo NFT, probaron 4 niveles de nutrición, partiendo de la solución nutritiva original como el tratamiento 1 y diluyendo la misma hasta un valor de 12,5% de su concentración original como el tratamiento 4. En este ensayo se evaluó el efecto de la nutrición sobre la TCA y TCR, para lo cual obtuvieron únicamente diferencias significativas en el tratamiento 4 en ambas variables.

Este tipo de comportamientos se basan en el principio de nutrición de plantas conocido como nivel crítico, el cual indica que un cultivo experimentará diferencias significativas en la ganancia de materia seca, cuando la concentración de nutrientes endógenas del mismo se encuentre por debajo del nivel crítico (Barker y Pilbeam, 2007). En aquellos casos donde el cultivo ha alcanzado los valores de concentración

de nutrientes por encima de este nivel, la adición de más nutrientes no influirá en la ganancia de materia seca, y se presentará el fenómeno conocido como consumo de lujo, el que resulta ser únicamente el incremento de la concentración de nutrientes a nivel foliar sin afectar realmente la ganancia de materia seca (Bertsch, 1998).

En el caso del cultivo de culantro coyote al analizar la respuesta de este en término de las variables TCA y TCR, se puede ver en la mayoría de las evaluaciones, indiferentemente de la protección y en especial del nivel de nutrición, que no se afectó la capacidad de ganar materia seca, y presumiblemente en los tratamientos con nutrición de alta concentración, se presentó el fenómeno de consumo de lujo, descrito anteriormente. En el caso particular de la evaluación a los 30 DDT en la etapa 1 (Figura 20B), este pudo ser un momento de alta demanda de nutrientes, los cuales no fueron suficientes en la nutrición de baja concentración lo que pudo afectar la respuesta del cultivo como lo describió Cometti *et al* (2008) en su trabajo de investigación.

Para la variable rendimiento no se presentó efecto alguno de la interacción entre los factores. En la etapa 1 se obtuvo efecto independiente de los factores protección y nutrición, mientras que en la etapa 2 únicamente hubo efecto del factor nutrición. Pese a que los cambios en el nivel nutricional no generaron para la mayoría de las evaluaciones un incremento en términos de materia seca (evaluado a través de la TCA y TCR), la nutrición si logró incrementar los valores del rendimiento fresco en ambas etapas.

Falovo *et al* (2009) en el cultivo de lechuga hidropónica en raíz flotante, evaluaron el efecto de la nutrición sobre el rendimiento y el IAF, en diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva. En este estudio determinaron que conforme aumentaba la concentración de nutrientes, aumento el rendimiento fresco y el IAF. En otro estudio en el cultivo de lechuga, Hoque *et al* (2010) experimentaron el efecto de la nutrición sobre el rendimiento y otras variables postcosecha en dos materiales cultivados en suelo. Los autores encontraron que el rendimiento incrementó conforme aumentaba la tasa de aplicación de Nitrógeno,

Fósforo y Potasio. Este comportamiento descrito también se presentó en esta investigación, donde en promedio el incremento de la concentración de los nutrientes incrementó el rendimiento. En el caso del efecto de la protección, el comportamiento del rendimiento fue similar a lo descrito para el IAF.

Efecto de la protección y la nutrición sobre la ER en el cultivo de culantro coyote.

La variable ER para los nutrientes N, P, K, Ca y Mg tuvo efecto únicamente de los factores protección y nutrición de forma independiente en ambas etapas. En el caso del factor protección el cambio de la condición sin protección a la condición protegida resultó siempre en un incremento en la ER de N, P y K, mientras que no hubo efecto para Ca y Mg. De igual forma para ambas etapas el cambio del nivel de nutrición de baja a alta concentración de nutrientes generó una reducción en la ER (Figura 23). Hamdani et al (2017) evaluaron la ER de los nutrientes N, P y K, en un cultivo de trigo cultivado de forma convencional en suelo, en el cual realizaron la aplicación de dosis de un compuesto rico en carbón y dosis decrecientes de la fertilización establecida como recomendada para el cultivo (0, 25, 50, 75 y 100% de la dosis). Dichos autores encontraron que el tratamiento con el 75% de la dosis recomendada y la mayor dosis de compuesto con carbón presentó la mayor ER.

En esta investigación se presentó un comportamiento similar a los resultados de Hamdani *et al* (2017), en donde el nivel de nutrición bajo presentó una mayor ER con respecto a la nutrición de alta concentración. Esto posiblemente porque el aporte de altas concentraciones de nutrientes fue mayor a los requerimientos del cultivo. Consecuentemente, hay una acumulación de nutrientes en el sustrato que se lixivian en las aguas de drenaje, y que incrementan los valores de CE por encima de los valores de CE establecidos para la solución nutritiva de alta concentración ($\approx 2,5 \text{ dS m}^{-1}$). Esta situación no se presentó en el nivel de nutrición bajo, donde no hubo incrementos importantes de la CE con respecto a la solución nutritiva original y se presentó una mayor ER.

Un principio en agronomía es el fraccionamiento de los fertilizantes, ya que conforme se hace una mejor distribución de estos en el tiempo, aumenta la

capacidad del suelo para retener los nutrientes (capacidad de intercambio catiónico (CIC)) y por ende la disponibilidad de estos para la planta en la solución del suelo, al evitar que estos se pierdan por lixiviación o escorrentía (Barker y Pilbeam, 2007). Baena (2011) reportó en su investigación en el cultivo de olivo, que conforme se fraccionaba la fertilización aplicada vía fertirriego, se incrementó la respuesta del cultivo a la misma en términos de biomasa fresca y, además, la cantidad de N, P y K presente en el bulbo de mojado fue menor en el tratamiento más fraccionado, con respecto a los nutrientes aplicados, lo que indicó una mayor eficiencia de recuperación. Los sustratos inorgánicos como el utilizado en este trabajo de investigación, por lo general tiene una baja o nula CIC (Raviv y Lieth, 2008).

Con base en lo anterior y en los resultados de esta investigación para la variable ER de la mayoría de los nutrientes, se puede deducir que los nutrientes fueron aprovechados en mayor medida por los tratamientos con la nutrición baja, en comparación cuando la nutrición fue de alta concentración. Donde los fertilizantes pudieron ser mayormente lavados del sustrato o perdidos en el drenaje por un mayor número de eventos de riego asociado al sistema de producción utilizado en la investigación. Situación que redujo la ER, ya que el sustrato poseía una pobre o nula CIC. El factor protección favoreció la ER, al evitar de igual forma el lavado de los fertilizantes, lo que los mantuvo disponibles para las plantas de culantro coyote por un mayor tiempo.

En ambas etapas del experimento, el orden descendente de ER de N, P y K fue CB>SB>CA>SA. La mayor ER se presentó en los tratamientos con protección, en ambas etapas, probablemente por una disminución del lavado de nutrientes del medio de cultivo, por la protección parcial a las fuertes precipitaciones. Sin embargo, un menor lavado en CP tuvo como consecuencia que en la segunda etapa se presentaran mayores incrementos en la CE en las aguas de drenaje debido a la acumulación de nutrientes principalmente en NA. Como resultado de este comportamiento se presentaron menos pérdidas de fertilizantes, al permanecer el mismo por más tiempo en el sustrato y por ende en contacto con el sistema radicular del cultivo.

En el caso de los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ , es el potasio el que presenta una mayor afinidad en la membrana celular de la planta para ingresar a la célula, ya sea por transporte activo o pasivo, en comparación con otros cationes (Taiz y Zieger, 2002). Además, cuando los niveles de potasio superan en gran medida a los niveles de calcio y magnesio en la solución del suelo o la solución nutritiva, se puede llegar a romper con el concepto de las relaciones cationicas, las cuales indican la proporción óptima entre estos cationes, para evitar antagonismos en la absorción de estos (Bertsch, 1998). En esta investigación al no encontrar diferencias estadísticas para los nutrientes Ca y Mg en términos de ER entre los niveles de protección, posiblemente obedeció a un efecto antagonista entre estos elementos con el K (Túma *et al.*, 2004), en los tratamientos con protección producto de la acumulación de sales en el sustrato como ya se ha mencionado, lo que pudo enmascarar diferencias significativas entre los tratamientos, las cuales si se vieron para los elementos N, P y K en ambas etapas.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- a) El factor protección fue determinante en la evapotranspiración del cultivo de culantro coyote cuando se utilizó sarán durante la época de verano en la etapa 1, después de los 20 días del trasplante, ya que redujo la radiación solar incidente y por tanto la evaporación, componente predominante de la ETc durante los primeros 20 DDT.
- b) La evapotranspiración del cultivo de culantro coyote con el uso de techo plástico no fue afectada después de los 10 días de cosecha por la interacción protección por nutrición ni por los factores independientes, probablemente debido a que fue una época de alta precipitaciones con menores requerimientos hídricos que en etapa 1.
- c) En el cultivo de culantro coyote el uso de un nivel de nutrición alto y una condición protegida favoreció el aumento del IAF y del rendimiento en ambas etapas.
- d) El número de rollos obtenido por m² durante las etapas 1 y 2 fue mayor con el tratamiento CA, pasando de 21 a 41 rollos, respectivamente. .
- e) El IAF en la etapa 2 presentó los valores máximos a los 40 DDC con un efecto significativo del factor nutrición.
- f) En ambas etapas, la ER de macronutrientes fue mayor en los tratamientos que presentaron un nivel de nutrición bajo, en comparación a los tratamientos con un nivel de nutrición alto.
- g) El factor protección fue determinante en la ER de N, P y K en ambos ciclos de cultivo de culantro coyote.

Recomendaciones

- a) Bajo las condiciones específicas de clima y manejo de este estudio, se recomienda realizar la cosecha 2 del cultivo hidropónico de culantro coyote a los 40 días después de la primera cosecha, debido a que presenta el mayor IAF, disminuyendo a los 50 DDC por senescencia.
- b) Se recomienda para futuras investigaciones modificar la estructura de protección del cultivo existente a una estructura más cerrada en la etapa 2, con el objetivo de modificar el microclima y ver si existe algún efecto positivo en temperatura y humedad relativa.
- c) Se puede evaluar si existe o no un efecto positivo entre los tratamientos de nutrición y protección sobre la incidencia de *Cercospora* sp.
- d) Realizar un análisis de costos de los mejores tratamientos realizados para determinar cuál es el impacto sobre los costos de producción y la rentabilidad de un sistema de producción hidropónico.

Literatura consultada

- ALARCÓN, V. 2006. Proyectos en cultivo sin suelo ¿Cómo empezar? Cultivos sin Suelo. Compendios de horticultura. España. 2-11 p.
- ALLEN, R; PEREIRA, L; RAES, D; SMITH, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Roma, Italia, FAO, 323 p.
- ALVARADO, Y; SANABRIA, C; VILLALOBOS, J. 1999. El cultivo de culantro coyote (*Eriogonum foetidum*) para exportación. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 17 p.
- ANDRIOLO, J; LUZ, G; WITTER, M; GODOI, R; BARROS, G; BORTOLOTTI, C. 2005. Growth and yield of lettuce plants under salinity. Horticultura Brasileira 23(4): 931-934.
- ARCHILA, J; CONTRERAS, U; PINZOR, H; LAVERDE, H; CORCHUELO, G. 1998. Analisis de crecimiento de cuatro materiales de lechuga (*Lactuca sativa*). Agronomía Colombiana XV (1): 68-75.
- BAENA, G. 2011. Efecto del fertirriego en la distribución y disponibilidad de macronutrientes en olivar. Vida Rural 1(octubre): 48-52.
- BARBARO, L; KARLANIAN, M; MATA, D. 2014. Importancia del pH y la conductividad eléctrica en los sustratos para plantas. INTA. Buenos Aires Argentina. 5 p.
- BARKER, A; PILBEAM, D. 2007. Handbook of plant nutrition. Florida, United States, Taylor & Francis Group, 662 p.
- BASTÍAS, R; DIEZ, F; FINOT, V. 2014. Tasa de crecimiento absoluto y relativo como indicadores de fases de desarrollo del fruto en cerezo *Priunus avium*. Chilean J. Agric. Anima. Sci. 30(2): 89-98.
- BELTRANO, J; GIMENEZ, D. 2015. Cultivo en hidroponía. Libros de Cátedra. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de la plata. Editorial de la Uiversidad de la plata. Buenos Aires, Argentina. 181 p.

- BERTSCH, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.
- BERTSCH, F. 2009. Absorción de nutrimentos por los cultivos. (multimedia). San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, 308 p.
- BRENES, G; ARAYA, O. 2013. Estimaciones y proyecciones de población por sexo y edad 1950 – 2050. INEC. San José, Costa Rica. 1 – 17 p.
- BURGHILA, D; BORDUN, E; DORU, M; SARBU, N; BADEA, A. 2015. Climate change effects – Where to next?. Agriculture and Agricultural Science Procedia 6: 405-412.
- CALLEJAS, I; CERRITOS, R; RAUDA, M. 2016. Caracterización morfoagronómica e invertebrados asociados al acapate (*Apaiaceae: Eryngium foetidum* L.). Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de El Salvador. 97 p.
- CALORI, A; FACTOR, T; LIMA JÚNIOR, S; MORAES, L; BARBOSA, P; TIVELLI, S; PURQUERIO, L. 2014. Condutividade elétrica da solução nutritiva e espaçamento entre plantas na produção de beterraba e alface. Horticultura Brasileira 32(4): 426-433.
- CÁNOVAS, M; MAGÁN, C. 2003. Cultivos sin suelo. Técnicas de Producción en Cultivos Protegidos. Instituto Cajamar. Madrid, España. 409-453 p.
- CAPARRÓS, I; MEDRANO, E; GARCÍA, M; SÁNCHEZ, M; BOTHELO, R; LORENZO, P. 2005. El sombreado móvil exterior del invernadero efecto sobre el microclima, la eficiencia en el uso del agua y la producción de un cultivo de pepino bajo diferentes niveles de salinidad de la solución nutritiva. Actas Portuguesas de Horticultura. 5(1):91-96.
- CARRANZA, C.; LANCHERO, O.; MIRANDA, D.; CHAVES, B. 2009. Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. Agronomía Colombiana. 27 (1): 41 - 48.
- CASANOVA, M; MESSING, I; JOEL, A; CANETE, A. 2009. Methods to estimate lettuce evapotranspiration in greenhouse conditions in the central zone of

Chile. Chilean Journal of Agricultural Research 69(1): 60-70.

CERDAS, M; MONTERO, M. 2016. Efecto de cambios en manejo poscosecha sobre la calidad y vida útil del culantro coyote para exportación. Agronomía Costarricense. Alajuela, Costa Rica. 40(1): 51-64.

CHANG, Q; KE LIU, W. 2012. Effects of short-term treatment with various light intensities and hydroponic solutions on nitrate concentration of lettuce. Soil and Plant Science. 62: 109-113 p.

CHRISTIANSEN, J. 1942. Irrigation by Sprinkling. Bullet 670. University of California. Agricultural Experimental Station. Berkeley, California. 124 p

COCKSHULL, K; GRAVES, C; CAVE, G; CAROL, R. 1992. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. J. Hort. Science. 67 (1):11-24.

COMETTI, N; MATIAS, G; ZONTA, E; MARY, W; FERNANDES, M. 2008. Efeito da concentração da solução nutritiva no crescimento da alface em cultivo hidropônico-sistema NFT. Horticultura Brasileira 26(2): 262-267.

CONSTANT, K; NOURRY, C; SEEGMULLER, T. 2014. Population growth in polluting industrialization. Resource and Energy Economics 36(1): 229-247.

DI RIENZO J; CASANOVES F; BALZARINI M; GONZALEZ L; TABLADA, M; ROBLEDO, C. 2017. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

DURÁN, A; MORA, D; GÓNZALES, M. 2009. Estudio sobre la situación actual de la competitividad técnica del subsector exportador del culantro coyote en Costa Rica. Trabajo de la Escuela de Estadística. Vinculación a la Exportación y Desarrollo Empresarial. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno.

ECHEVERRÍA, J. 2011. Evaluación de la vulnerabilidad futura del Sistema hídrico al Cambio climático. Programa de la Naciones Unidas para el desarrollo. INM-MINAET. San José. Costa Rica. 88 p.

- ELLIOT, M; THOMSON, J; ROBERTSON, K; STEPHENSON, C; WICKS, J. 2013. Evidence that changes in social cognitions predict changes in self-reported driver behavior: Causal analyses of two-wave panel data. *Accident Analysis and Prevention*. 50: 905-916.
- ESCALANTE, J; ESCALANTE, L; RODRÍGUEZ, M. 2001. Producción de frijol, en dos épocas de siembra: su relación con la evapotranspiración, unidades calor y radiación solar en clima cálido. *Terra Latinoamericana* 19(4): 309-315.
- ESTRADA, J. 1999. Area foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra* 17(2): 149-157.
- EUNICE, E. 2006. Evaluación de la producción de culantro coyote (*Eryngium foetidum*) en tres ambientes diferentes y dos tipos de fertilización en la zona Atlántica de Costa Rica. Trabajo de graduación. Universidad EARTH. 41 p.
- FALLOVO, C; ROUPHAEL, Y; REA, E; BATTISTELLI, A; COLLA, G. 2009. Nutrient solution concentration and growing season affect yield and quality of *Lactuca sativa* L. var. acephala in floating raft culture. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89(10): 1682-1689 p.
- FAN, J; WU, L; ZHANG, F; XIANG, Y; ZHENG, J. 2016. Climate change effects on reference crop evapotranspiration across different climatic zones of China during 1956–2015. *Journal of Hydrology* 542: 923-937.
- FAO, 2011. Climate change, water and food security. Water reports. Roma, Italia. 200 p.
- GALLOWAY, J; DENTENER, F; CAPONE, D; BOYER, E; HOWARTH, R; SEITZINGER, S; ASNER, G; CLEVELAND, C; GREEN, P; HOLLAND, E; KARL, D; MICHAELS, F; PORTER, J; TOWNSEND, A; VOROMARTY, C. 2004. The global nitrogen cycle: Past, present and future. *Biogeochemistry* 70: 153–226.
- GARCÍA, M. 2007. Refrigeración de invernadero: Influencia sobre la

Bioproductividad y la eficiencia en el uso del agua en un cultivo de tomate en sustrato sometido a distintos niveles de salinidad. Tesis doctoral. Universidad de Almería. 291 p.

GONZALES, F. 2011. Contaminación por fertilizantes: "Un serio problema ambiental" (en línea). Consultado 4 Oct. 2017. Disponible en: <http://fgonzalesh.blogspot.com/2011/01/contaminacion-por-fertilizantesun.html>

GUERRA, L. 1999. Poscosecha de Culantro Coyote (*Eryngium foetidum*). Trabajo de Graduación para optar por el título de Licenciatura. Universidad EARTH, Guácimo, Limón, Costa Rica. 52 p.

GUZMÁN, G. 2004. Hidroponía en casa: una actividad familiar. MAG. San José, Costa Rica. 25 p.

HAMDANI, S; AON, M; ALI, L; ASLAM, Z; KHALID, M; NAVEED, M. 2017. Application of Dalbergia sissoo biochar enhanced wheat growth, yield and nutrient recovery under reduced fertilizer doses in calcareous soil. Pakistan Journal of Agricultural Sciences 54(1): 107-115.

HOQUE, M; AJWA, H; OTHMAN, M; SMITH, R; CAHN, M. 2010. Yield and postharvest quality of lettuce in response to nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers. Hort. Science 45(10): 1539-1544.

IFPRI, 2009. Cambio climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Reporte sobre Política Alimentaria 21. Washington, D.C. Estados Unidos. 30 p.

ILLIASSOU, N. 2015. Evaluación del uso y productividad del agua de la comunidad de Regantes Río Adaja. Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. Universidad Politécnica de Madrid. 184 p.

KAFKAFI U.; J. TARCHITZKY. 2011. Fertigation: a tool for efficient fertilizer and water management. International Fertilizer Industry Association (IFA). Paris, Francia. 125 p.

LAMBERS, H; PONS, T; CHAPIN, S. 2008. Plant physiological ecology. New York:

Springer Verlag.

- LAVAGNI, G.; RODRÍGUEZ, G. 2009. El Culantro Coyote, Producto de Exportación. Alimentaria, Costa Rica, 102: 30-36. (en línea). Consultado 7 Oct. 2017. Disponible en: <http://www.cacia.org/documentos/revistas/r102/alimentaria102.pdf>
- LEITE, C. 2005. Las mallas en el contexto del proyecto de un vivero. Revista Horticultura Internacional 1: 66-73.
- LORENZO, P; SÁNCHEZ, M; MEDRANO, E; GARCÍA, M; CAPARRÓS, I; GIMÉNEZ, M. 2003. El sombreado móvil exterior: efecto sobre el clima del invernadero, la producción y la eficiencia en el uso del agua y la radiación. Hortimed. F.I.A.P.A. y CAJAMAR. Almería. 207-229 p.
- MARIN, F. 2010. Cuantificación y valoración de estructuras y procesos de producción agrícola bajo ambientes protegidos en Costa Rica. Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos. 34 p.
- MARSCHNER, P. 2012. A - Marschner ' s Mineral Nutrition of Higher Plants. 3 ed. Elsevier. Adelaide, Australia. 651 p.
- MARTÍN, F; LÓPEZ, P; CALERA, A. 2005. Agua y agronomía. Mundi-Prensa. Madrid, España. 496 p.
- MINAE, 2014. Tercera comunicación nacional. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. MINAE. IMN. San José. Costa Rica. 32-33 p.
- MORALES, J; BRUNNER, B; FLORES, L; MARTÍNEZ, S. 2013. Hoja Informativa: culantro orgánico. Proyecto de agricultura orgánica. Departamento de cultivos y ciencias agroambientales. Estación Experimental Agrícola de Lajas. Puerto Rico. 11 p.
- MUÑOZ, P; ANTON, A; PARANJPE, A; ARIÑO, J; MONTER, J. 2008. High decrease in nitrate leaching by lower N input without reducing greenhouse tomato yield. Europe Journal Agronomy. 28: 489-495.

- MURILLO, G; DUCCA, G. 2009. Uso de mallas en la agricultura. Boletín del programa nacional sectorial de producción agrícola bajo ambientes protegidos. ProNAP. 2-4 p.
- OENEMA, O; WITZKE, H; KLIMONT, Z; LESSCHEN, J ;VELTHOF, G. 2009, Integrated assessment of promising measures to decrease nitrogen losses from agriculture in EU-27: Agriculture Ecosystems & Environment. 133: 280-288.
- ONIYESOM, I; OKOH, P. 2006. Quantitative analysis of nitrate and nitrite contents in vegetables commonly consumed in delta state, Nigeria. British Journal of Nutrition 96(5): 902-905.
- ONU. 2014. La situación demográfica en el mundo 2014: Informe conciso. DESA, Organización de las Naciones Unidas. New York, Estados Unidos de América. 1 – 38 p.
- OREN-SHAMIR, M; GUSSAKOVSKY, E; SHPIEGEL, E; NISSIM-LEVI, A; RATNER, K; OVADIA, R; GILLER, Y; SHAHAK, Y. 2001. Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 76(3): 353-361.
- PESSARAKLI, M. 1999. Handbook of plant and crop stress. 2 ed. Nueva York, Estados Unidos, Marcel Dekker, Inc. 1188 p.
- PICÓ, B; NUEZ, F. 2000. Minor crops of Mesoamerica in early sources (II). Herbs used as condiments. Genetic Resources and Crop Evolution 47: 541-552.
- PUTRA, P; YULIANDO, H. 2015. Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: a review. Agriculture and Agricultural Science Procedia 3: 283-288.
- QUINTERO, D. Efecto de dos condiciones de protección de cultivo sobre los índices de crecimiento y producción de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa*) tipo gourmet en la Sabana de Bogotá. Universidad Nacional de

Colombia. Bogotá, Colombia. 86 p.

RAMCHARAN, C. 1999. Culantro: Una muy utilizada, la hierba poco comprendida. Alexandria, VA. 506-509 p.

RASHED, N; DARWESH, R. 2015. A comparative study on the effect of microclimate on planting date and water requirements under different nitrogen sources on coriander (*Coriandrum sativum* L.). Annals of Agricultural Sciences 60(2): 227-243.

RAVIV, M; LIETH, H. 2008. Significance of soilless culture in agriculture. Soilless Culture Theory and Practice. Amsterdam, Netherlands. 1-11 p.

REID, R; KRUSKA, R; MUTHUI, N; TAYE, A; WOTTON, S. 2015. Land-use and land-cover dynamics in response to changes in climatic, biological and socio- political forces: the case of southwestern. Landscape Ecology 15(October): 339-355.

RETANA, M. 2015. Determinación de los requerimientos nutricionales para el mejoramiento de la fertilización en etapa de almácigo de 12 especies hortícolas. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 67 p.

RODRÍGUEZ, M; MORALES, D. 2015. Efecto de mallas sombreadoras sobre la producción y calidad de frutos de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Brigitta. Scientia Agropecuaria 6 (1): 41-50.

ROJAS, A; NORIEGA, A; HERRERA, G; CHAPARRO, R. 2003. Sistema de riego para invernaderos hidropónicos basado en la evapotranspiración del cultivo. Naturaleza y Desarrollo. 7 p.

ROJAS, M; CAMPOS, M; ALPÍZAR, E; BRAVO, J; CÓRDOBA, R. 2003. El Cambio climático y los humedales en Centroamérica: implicaciones de la variación climática para los ecosistemas acuáticos y su manejo en la región. San José, Costa.Rica. 40 p.

SAMARAKOON, U; WEERASINGHE, P; WEERAKKODY, W. 2006. Effect of electrical conductivity (ec) of the nutrient solution on nutrient uptake, growth and yield of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) in stationary culture.

Tropical Agricultural Research 18: 13-21.

- SÁNCHEZ, F; GONZÁLEZ, L; MORENO, E; PINEDA, J; REYES, E. 2014. Dinámica ntrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva. Revista Fitotecnia Mexicana. Chapingo, México. 37(3): 261-269 p.
- SÁNCHEZ, M; RAMIREZ, F; LORENZO, P; MEDRANO, E; PÉREZ, J; BAEZA, J; GÁZQUEZ, J; LÓPEZ, J; MONTERO, J. 2010. Manejo del clima en el Mediterráneo. Instituto de formación agraria y pesquera (IFAPA). 131 p.
- SANDRI, M; ANDRIOLO, J; WITTER, M; DAL ROSS, T. 2003. Effect of shading on tomato plants grow under greenhouse. Horticultura Brasileira. 21(4):642-645.
- SANTOS, L. 2001. La producción de reca o culantro (*Eryngium foetidum* L.) en Puerto Rico. (en línea). Rio Piedras, Puerto Rico. Consultado 20 Jun. 2017. Disponible en: <http://openpublic.eea.uprm.edu/sites/default/files/documents/files/Technological%20Package%20-%20Coriander.pdf>
- SCHWARZ, D; KLÄRING, H; VAN IERSEL, M; INGRAM, K. 2002. Growth and photosynthetic response of tomato to nutrient solution concentration at two light levels. Journal of American Society for Horticultural Science. 127(6):984-990.
- SEAFORTH, C. 1988. *Eryngium foetidum*—fitweed (Umbelliferae). Natural products in Caribbean folk Medicine. University of the West Indies, Trinidad.
- SERVICIO FITOSANITARIO DEL ESTADO. 2014. Informe de residuos de plaguicidas en vegetales del año 2014. Departamento de agroquímicos y equipos. San José, Costa Rica. 9 p.
- SHAHAK, Y; GAL, E; OFFIR, Y; BEN-YAKIR, D. 2008. Photosensitive shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops. Acta Hort. 797: 75-80.
- SHAHAK, Y; GUSSAKOVSKY, E; COHEN, Y; LURIE, S; STERN, R; KFIR, S; NAOR, A; ATZMON, I; DORON, I; GREENBLAT-AVRON, Y. 2004.

- Colornets: a new approach for light manipulation in fruit trees. *Acta Horticulturae* 636: 609-616.
- SHANNON, M; GRIEVE, C. 1998. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae* 78(1-4): 5-38.
- SILBERBUSH, M; BENASHER, J; EPHRATH, J. 2005. A model for nutrient and water flow and their uptake by plants grown in a soilless culture. *Plant and Soil*. 309-319 p.
- SILVA, V DE P DA; TAVARES, AL; SOUSA, IF. 2013. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo simples e dual do coentro. *Horticultura Brasileira* 31(2): 255-259.
- SMITH, R. 2009. The blue baby syndromes. *American Scientist* 97(2): 94-96.
- SOSA, E. 2006. Evaluación de la producción de culantro coyote (*Eryngium foetidum* Lineo) en tres ambientes diferentes y dos tipos de fertilización en la zona atlántica de Costa Rica. Tesis Lic. Guácimo, Costa Rica. Universidad EARTH. 55 p
- SOTO, 2007. Caracterización físico-química de diez sustratos utilizados en cultivo sin suelo. Gestión de formación y servicios tecnológicos. San José, Costa Rica. 43 p.
- SOTO, F. 2013. Evaluación de la productividad y la dinámica del agua y el nitrógeno en cultivos hortícolas bajo invernadero, con el modelo EU-Rotate_N. Tesis Doctoral. Universidad de Almería. España. 150 p.
- SOTO, F. 2015. Mejoramiento de la eficiencia de uso del agua y los nutrientes minerales en producción hidropónica familiar. Universidad de Costa Rica. Alajuela, Costa Rica. 1 – 16 p.
- SPECTRUM. CR. 2017. Midiendo la luz. (en línea). San José, CR. Consultado 25 Oct. 2017. Disponible en: https://www.kosmos.com.mx/fileadmin/.../Fichas/Spectrum/Light_Brochure_Sp.pdf

- STEWART, W. 2007. Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. Informaciones agronómicas. International Plant Nutrition Institute (IPNI). 60: 1-7 p.
- TAIZ, L; ZIEGER, E. 2002. Plant Physiology. 3 ed. Massachusetts, United States, Sinauer Associates, Inc. 674 p.
- THE WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Geneva.
- THOMPSON, R; MARTINEZ, M; GALLARDO, C; GIMENEZ, M; FERNANDEZ, D. 2007. Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey: Agricultural Water Management. 89: 261-274.
- TORRES, E; ARIZA, D; BAENA, C; CORTÉS, S; BECERRA, L; RIAÑO, C. 2016. Efecto de la fertilización en el crecimiento y desarrollo del cultivo de la avena (*Avena sativa*). Pastos y Forrajes 39(2): 102-110.
- TORRES, A; LOPEZ, R. 2010. Commercial Greenhouse Production - Measuring daily light integral in a greenhouse. Purdue extension HO(238): 7.
- TŮMA, J; SKALICKÝ, M; TŮMOVÁ, L; BLÁHOVA, P; ROSŮLKOVÁ, M. 2004. Potassium, magnesium and calcium content in individual parts of *Phaseolus vulgaris* L. plant as related to potassium and magnesium nutrition. Plant, Soil and Environment 50(1): 18-26.
- WELLS, S. 2006. In the Front line: shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs. Cambridge, United Kingdom: UNEP-WCMC.

Anexos

Anexo 1. Resultado de los análisis químicos de aguas en el ciclo de cultivo de culantro coyote (*Eryngium foetidum*) hidropónico durante la etapa 1, Alajuela, Costa Rica en el año 2016.

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA		CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES		REPORTE DE ENSAYO SC12-LSF-I01-R01 (v9)		cia		Centro de Investigaciones Agronómicas Facultad de Ciencias Agroalimentarias Universidad de Costa Rica								
Nº DE REPORTE: 58189																
USUARIO: FREDDY SOTO BRAVO																
SUBCLIENTE: TESIS DE LICENCIATURA																
RESPONSABLE: GUSTAVO RODRIGUEZ OCAMPO																
CORREO: FREDDY.SOTOBRAVO@ucr.ac.cr																
PROVINCIA: ALAJUELA					ANÁLISIS: Q.C.											
CANTÓN: ALAJUELA					FECHA RECEPCIÓN: 24/05/2016											
LOCALIDAD: EEFBM					EMISIÓN DE REPORTE: 08/06/2016											
CULTIVO: AGUAS					Nº DE MUESTRAS TOTAL: 20											
					PÁGINA: 1/2											
ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUAS																
ID USUARIO	IDLAB	pH	mg/L							mg/L					mg/L	ms/cm
			N-Ureico	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Ca	Mg	K	P	Fe	Zn	Cu	Mn	Na	S	CE
SNT:SEM.1 - SA	A-16-084	7.1	ND	0.5	101.1	136.7	37.7	40.4	2.9	0.4	0.2	0.3	ND	17.2	51.5	1.2
SNT:SEM.1 - SB	A-16-085	7.4	ND	0.4	42.9	61.7	16.7	27.4	2.5	0.1	0.1	0.1	ND	13.9	14.7	0.6
SNT:SEM.1 - CA	A-16-086	6.9	ND	ND	126.9	177.0	44.7	52.9	4.0	0.5	0.2	0.3	ND	19.2	66.9	1.5
SNT:SEM.1 - CB	A-16-087	7.4	ND	0.5	42.2	64.6	16.5	24.8	2.1	0.1	0.1	0.1	ND	13.4	15.3	0.6
SNT:SEM.2 - SA	A-16-088	7.3	49.5	ND	182.5	244.7	64.6	64.6	5.0	0.5	0.2	0.5	ND	22.1	91.4	2.0
SNT:SEM.2 - SB	A-16-089	7.6	ND	0.7	66.1	91.8	25.0	30.8	2.2	0.1	0.1	0.1	ND	15.2	23.6	0.9
SNT:SEM.2 - CA	A-16-090	7.2	87.3	ND	218.5	267.1	69.4	90.1	8.3	0.6	0.2	0.5	ND	22.3	102.1	2.2
SNT:SEM.2 - CB	A-16-091	7.7	ND	0.7	72.9	95.1	24.9	34.1	3.1	0.1	0.1	0.1	ND	14.7	22.7	0.9
SNT:SEM.3 - SA	A-16-092	7.7	ND	0.1	102.4	146.6	38.7	50.0	4.4	0.3	0.1	0.2	ND	15.2	57.7	1.3
SNT:SEM.3 - SB	A-16-093	8.0	ND	0.4	33.1	63.3	17.2	23.1	2.3	0.1	ND	0.1	ND	12.0	15.9	0.6
SNT:SEM.3 - CA	A-16-094	7.5	93.8	ND	141.7	177.9	47.5	82.9	8.9	0.4	0.1	0.3	ND	15.5	72.5	1.6
SNT:SEM.3 - CB	A-16-095	8.0	36.7	0.1	38.1	70.2	19.0	29.0	2.9	0.1	ND	0.1	ND	11.4	16.8	0.7
SNT:SEM.4 - SA	A-16-096	7.7	ND	0.4	151.4	219.1	58.3	75.5	5.8	0.4	0.1	0.3	ND	17.5	84.3	1.8
SNT:SEM.4 - SB	A-16-097	8.2	63.8	ND	34.8	79.1	21.2	27.1	2.2	0.1	0.1	0.1	ND	12.8	18.5	0.7
SNT:SEM.4 - CA	A-16-098	7.4	83.6	ND	181.2	228.9	61.9	110.8	11.1	0.5	0.1	0.4	ND	17.2	99.7	2.0

SNT:SEM.4 - CB	A-16-099	8.1	11.4	0.5	34.9	80.2	21.4	31.9	2.7	0.1	ND	0.1	ND	11.4	18.2	0.7
SNT:SEM.5 - SA	A-16-100	7.6	ND	ND	231.2	326.1	88.6	103.5	6.3	0.7	0.2	0.4	ND	21.7	137.4	2.5
SNT:SEM.5 - SB	A-16-101	8.1	ND	0.7	50.2	114.4	32.6	36.3	2.6	0.1	0.1	0.1	ND	16.1	28.8	1.0
SNT:SEM.5 - CA	A-16-102	7.4	71.5	0.6	241.5	313.6	86.7	140.3	11.2	0.9	0.1	0.4	ND	21.0	143.2	2.7
SNT:SEM.5 - CB	A-16-103	8.0	13.3	0.9	42.8	101.7	27.9	36.3	3.1	0.2	ND	0.1	ND	13.0	24.1	0.9
SNT: LIXIVIADO SEM.6 - SA	A-16-156	7.7	ND	0.5	272.8	399.0	108.7	113.4	6.8	0.6	0.2	0.4	ND	24.3	170.0	2.8
SNT: LIXIVIADO SEM.6 - SB	A-16-157	7.9	ND	0.6	38.8	121.8	34.2	33.9	1.6	0.1	0.1	0.1	ND	16.1	32.4	1.0
SNT: LIXIVIADO SEM.6 - CA	A-16-158	7.4	ND	ND	271.4	366.5	100.0	160.0	12.4	0.9	0.2	0.5	ND	23.3	164.8	2.7
SNT: LIXIVIADO SEM.6 - CB	A-16-159	7.8	ND	0.1	32.2	107.7	29.0	32.1	2.4	0.1	ND	0.1	ND	13.3	28.9	0.9
SNT: LIXIVIADO SEM.7 - SA	A-16-160	7.6	23.8	0.1	35.7	82.9	23.5	50.3	8.7	0.3	ND	0.2	ND	9.0	40.5	0.8
SNT: LIXIVIADO SEM.7 - SB	A-16-161	7.9	19.1	ND	8.8	39.4	10.6	14.1	0.7	ND	ND	ND	ND	6.4	8.4	0.4
SNT: LIXIVIADO SEM.7 - CA	A-16-162	7.4	ND	ND	44.8	84.0	24.1	74.0	11.7	0.3	ND	0.2	ND	9.3	44.2	0.9
SNT: LIXIVIADO SEM.7 - CB	A-16-163	7.8	28.7	ND	9.8	43.3	11.7	15.9	1.8	ND	ND	0.1	ND	7.1	9.4	0.4
SNT: LIXIVIADO SEM.8 - SA	A-16-164	7.7	ND	0.3	19.9	73.4	20.8	63.1	6.2	0.3	ND	0.2	ND	7.4	42.2	0.8
SNT: LIXIVIADO SEM.8 - SB	A-16-165	7.9	ND	0.5	7.5	40.2	10.8	11.5	1.4	ND	ND	ND	ND	5.3	7.1	0.3
SNT: LIXIVIADO SEM.8 - CA	A-16-166	7.6	25.4	ND	40.6	93.1	26.6	72.0	9.2	0.4	ND	0.2	ND	8.4	53.8	0.9
SNT: LIXIVIADO SEM.8 - CB	A-16-167	7.6	2359	0.3	8.0	38.7	10.4	11.1	1.5	ND	ND	0.1	ND	5.4	8.1	0.3



ND= NO DETECTADO.


Floria Bertsch H.
COORDINADORA


Marianefa Blanco M.
N.I. 2468

1. El muestreo es responsabilidad del usuario. 2. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas. 3. El tiempo de custodia de las muestras es de 15 días a partir del ingreso de la muestra. 4. El Reporte de Ensayo válido es el original firmado y sellado que se imprime a solicitud expresa del usuario; cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o fax libera al Laboratorio de resguardar la integridad y confidencialidad de sus resultados.

Anexo 2. Resultado de los análisis químicos de aguas en el ciclo de cultivo de culantro coyote (*Eryngium foetidum*) hidropónico durante la etapa 2, Alajuela, Costa Rica en el año 2016.

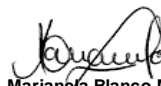
		CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES REPORTE DE ENSAYO SC12-LSF-I01-R01 (v9)														
		Nº DE REPORTE: 58804														
USUARIO: FREDDY SOTO BRAVO SUBCLIENTE: TESIS DE LICENCIATURA RESPONSABLE: GUSTAVO RODRIGUEZ OCAMPO CORREO: gustavo.rodriguezcampo@gmail.com/ FREDDY.SOTOBRAVO@ucr.ac.cr		ANÁLISIS: Q.C. FECHA RECEPCIÓN: 07/07/2016 EMISIÓN DE REPORTE: 10/08/2016 Nº DE MUESTRAS TOTAL: 12 PÁGINA: 1/1														
PROVINCIA: ALAJUELA CANTÓN: ALAJUELA LOCALIDAD: EEFB CULTIVO: AGUAS																
ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUAS																
ID USUARIO	IDLAB	pH	mg/L							mg/L					mg/L	mS/cm
			N-Ureico	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Ca	Mg	K	P	Fe	Zn	Cu	Mn	Na	S	CE
SNT: SA-SEM.9	A-16-169	7.4	ND	ND	27.9	60.2	17.0	108.5	6.7	0.2	0.1	0.1	ND	5.6	29.6	0.8
SNT: SB-SEM.9	A-16-170	7.7	ND	ND	11.8	34.1	9.1	7.7	1.3	ND	ND	ND	ND	3.8	6.2	0.3
SNT: CA-SEM.9	A-16-171	7.3	ND	0.1	45.1	80.9	22.9	67.1	11.2	0.3	0.1	0.2	ND	6.7	40.4	0.9
SNT: CB-SEM.9	A-16-172	7.7	68.1	0.2	12.8	36.3	9.5	5.4	1.4	ND	ND	ND	ND	4.2	6.8	0.3
SNT: SA-SEM.10	A-16-173	7.4	8.8	0.3	33.0	61.0	17.3	78.6	7.0	0.2	ND	0.1	ND	5.1	28.1	0.8
SNT: SB-SEM.10	A-16-174	7.8	30.5	ND	11.4	33.5	8.7	4.9	0.6	ND	ND	0.1	ND	3.7	6.0	0.3
SNT: CA-SEM.10	A-16-175	7.0	34.3	ND	94.2	128.4	35.7	101.0	14.8	0.5	0.1	0.2	ND	9.0	60.2	1.3
SNT: CB-SEM.10	A-16-176	7.6	56.2	ND	17.9	40.6	10.8	6.7	1.6	ND	ND	0.1	ND	4.8	10.1	0.4
SNT: SA-SEM.11	A-16-177	7.3	ND	0.2	88.4	156.4	45.4	100.6	7.1	0.5	0.1	0.2	ND	9.7	76.5	1.5
SNT: SB-SEM.11	A-16-178	7.8	ND	ND	15.8	56.0	14.8	6.7	1.7	0.1	ND	0.1	ND	5.4	14.1	0.5
SNT: CA-SEM.11	A-16-179	7.2	ND	ND	173.0	227.5	64.4	128.7	12.6	0.7	0.1	0.3	ND	13.8	104.4	2.0
SNT: CB-SEM.11	A-16-180	7.7	47.3	ND	20.0	62.1	16.4	8.0	2.0	0.2	ND	0.1	ND	6.7	16.5	0.5

SNT: E2-SA-S12	A-16-190	7.6	ND	ND	155.6	273.9	75.5	126.0	9.6	0.7	0.1	0.3	ND	14.7	131.6	2.2
SNT: E2-SB-S12	A-16-191	8.0	ND	ND	17.3	80.5	20.7	15.5	1.9	0.2	ND	0.1	ND	7.2	22.0	0.6
SNT: E2-CA-S12	A-16-192	7.4	4.1	ND	244.6	362.9	100.9	172.7	16.6	1.2	0.2	0.4	ND	20.2	171.6	2.9
SNT: E2-CB-S12	A-16-193	8.0	ND	ND	20.7	87.8	22.8	33.2	2.7	0.2	0.1	0.1	ND	8.6	26.1	0.7
SNT: E2-SA-S13	A-16-194	7.4	ND	ND	151.9	279.4	78.1	128.0	12.8	0.9	0.1	0.3	ND	16.1	139.6	2.2
SNT: E2-SB-S13	A-16-195	7.9	ND	ND	13.0	72.2	18.8	13.9	1.9	0.2	ND	0.1	ND	6.9	21.8	0.6
SNT: E2-CA-S13	A-16-196	6.8	ND	ND	269.8	428.8	119.9	166.3	15.5	1.3	0.2	0.4	0.1	24.1	199.5	3.2
SNT: E2-CB-S13	A-16-197	7.9	14.9	ND	21.4	96.6	25.5	18.7	2.3	0.3	ND	0.1	ND	9.0	32.7	0.7
SNT: E2-SA-S14	A-16-198	7.3	ND	ND	66.3	143.9	41.0	127.2	12.7	0.5	0.3	0.2	ND	14.2	73.8	1.4
SNT: E2-SB-S14	A-16-199	7.7	4.0	ND	7.9	48.5	12.7	8.7	1.0	0.1	ND	0.1	ND	5.3	13.0	0.4
SNT: E2-CA-S14	A-16-200	7.4	17.6	ND	215.4	372.8	105.2	149.0	15.9	1.0	0.3	0.4	ND	24.7	183.8	2.9
SNT: E2-CB-S14	A-16-201	8.0	ND	ND	9.3	78.7	20.3	9.2	0.8	0.2	ND	0.1	ND	7.5	26.0	0.6
SNT: E2-SA-S15	A-16-202	7.4	ND	ND	88.6	168.3	48.6	110.4	13.9	0.8	0.3	0.3	ND	14.0	79.8	1.5
SNT: E2-SB-S15	A-16-203	7.8	ND	ND	10.1	55.5	14.3	8.6	1.5	0.2	ND	0.1	ND	5.7	14.4	0.4
SNT: E2-CA-S15	A-16-204	7.3	ND	ND	225.4	374.8	105.6	193.2	17.8	1.5	0.4	0.5	ND	27.7	179.6	3.0
SNT: E2-CB-S15	A-16-205	8.0	ND	ND	10.7	81.2	21.1	7.1	1.5	0.2	ND	0.1	ND	7.5	27.6	0.6
SNT: E2-SA-S16	A-16-206	7.2	ND	ND	134.6	246.4	68.7	128.3	16.6	1.1	0.1	0.3	ND	14.2	114.2	2.1
SNT: E2-SB-S16	A-16-207	7.8	ND	ND	8.8	55.7	14.5	10.0	2.5	0.2	ND	0.1	ND	5.5	15.5	0.4
SNT: E2-CA-S16	A-16-208	7.2	ND	ND	288.0	452.1	130.2	246.6	18.5	1.8	0.2	0.5	0.1	28.9	218.0	3.8
SNT: E2-CB-S16	A-16-209	8.0	ND	ND	11.0	82.0	21.8	20.5	1.9	0.2	ND	0.1	ND	7.9	28.7	0.7

ND= NO DETECTADO.



Floria Bertsch H.
COORDINADORA



Marianefa Blanco M.
N.I. 2468

1. El muestreo es responsabilidad del usuario. 2. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas. 3. El tiempo de custodia de las muestras es de 15 días a partir del ingreso de la muestra. 4. El Reporte de Ensayo válido es el original firmado y sellado que se imprime a solicitud expresa del usuario; cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o fax libera al Laboratorio de resguardar la integridad y confidencialidad de sus resultados.

Anexo 3. Resultado de los análisis químicos foliar y de raíz del almácigo del cultivo de culantro coyote (*Eryngium foetidum*) hidropónico, Alajuela, Costa Rica en el año 2016.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES
REPORTE DE ENSAYO
SC12-LSF-I01-R01 (v9)**



Nº DE REPORTE: 57885

USUARIO: FREDDY SOTO BRAVO
SUBCLIENTE: TESIS DE LICENCIATURA
RESPONSABLE: GUSTAVO RODRIGUEZ OCAMPO
CORREO: gustavo.rodriguezocampo@gmail.com / FREDDY.SOTOBRAVO@ucr.ac.cr

PROVINCIA: ALAJUELA
CANTÓN: ALAJUELA
LOCALIDAD: E.E.F.B
CULTIVO: CULANTRO

ANÁLISIS: QC,B,S
FECHA RECEPCIÓN: 28/04/2016
EMISIÓN DE REPORTE 12/05/2016
Nº DE MUESTRAS TOTAL 3
PÁGINA: 1/1

ANÁLISIS QUÍMICO FOLIAR												
ID USUARIO	ID LAB	% ¹						mg/kg				
		N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
ALMACIGO - CULANTRO COYOTE - FOLLAJE	P-16-02425	3.43	0.54	0.82	0.32	5.83	0.34	101	4	40	21	42
ALMACIGO - CULANTRO COYOTE - RAIZ	P-16-02426	2.16	0.43	0.68	0.58	4.65	0.38	103	11	49	34	26

Floria Bertsch H.
COORDINADORA

Mariana Blanco M.
N.I. 2468

1. Las unidades están expresadas en base seca, en m/m. 2. Procedimiento: N por combustión seca en Autoanizador de acuerdo al SC09-LSF-P06; P, Ca, Mg, K, S, Na, Fe, Cu, Zn, Mn, B y Al por digestión húmeda con HNO₃ y determinación por Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma (ICP) de acuerdo al SC09LSF-P10. 3. El muestreo es responsabilidad del usuario. 4. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas. 5. El tiempo de custodia de las muestras es de 45 días a partir del ingreso de la muestra. 6. El Reporte de Ensayo o válido es el original firmado y sellado que se imprime a solicitud expresa del usuario; cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o fax libera al Laboratorio de resguardar la integridad y confidencialidad de sus resultados.

Anexo 4. Resultado del análisis químico foliar en el ciclo del cultivo de culantro coyote (*Eryngium foetidum*) hidropónico durante la semana 1 y 2 en la etapa 1, Alajuela, Costa Rica en el año 2016.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES**

REPORTE DE ENSAYO

SC12-LSF-I01-R01 (v9)



Nº DE REPORTE: 58190

USUARIO: FREDDY SOTO BRAVO
SUBCLIENTE: TESIS DE LICENCIATURA
RESPONSABLE: GUSTAVO RODRIGUEZ OCAMPO
CORREO: gustavo.rodriguezocampo@gmail.com / FREDDY.SOTOBRAVO@ucr.ac.cr

PROVINCIA: ALAJUELA
CANTÓN: ALAJUELA
LOCALIDAD: E.E.F.B.M
CULTIVO: CULANTRO COYOTE

ANÁLISIS: QC,B,S
FECHA RECEPCIÓN: 24/05/2016
EMISIÓN DE REPORTE 03/06/2016
Nº DE MUESTRAS TOTAL 8
PÁGINA: 1/1

ANÁLISIS QUÍMICO FOLIAR												
ID USUARIO	ID LAB	%						mg/kg				
		N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
SEM.1 - SA	P-16-02806	3.58	0.32	1.06	0.28	3.65	0.26	127	7	24	38	44
SEM.1 - SB	P-16-02807	3.11	0.28	0.91	0.26	3.45	0.25	116	4	18	32	33
SEM.1 - CA	P-16-02808	3.88	0.35	1.13	0.29	4.31	0.28	146	7	24	46	47
SEM.1 - CB	P-16-02809	3.44	0.29	0.86	0.27	3.69	0.26	205	5	18	37	35
SEM.2 - SA	P-16-02810	4.05	0.39	1.07	0.29	3.90	0.27	98	9	22	43	35
SEM.2 - SB	P-16-02811	3.15	0.29	0.95	0.29	3.35	0.23	111	6	14	42	29
SEM.2 - CA	P-16-02812	3.83	0.36	0.91	0.25	4.01	0.24	113	8	18	41	34
SEM.2 - CB	P-16-02813	3.27	0.32	0.79	0.27	3.40	0.21	93	5	12	38	31

Floria Bertsch H.
COORDINADORA

Marianefa Blanco M.
N.I. 2468

1. Las unidades están expresadas en base seca, en m/m. 2. Procedimiento: N por combustión seca en Autoanalizador de acuerdo al SC09-LSF-P06; P, Ca, Mg, K, S, Na, Fe, Cu, Zn, Mn, B y Al por digestión húmeda con HNO₃ y determinación por Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma (ICP) de acuerdo al SC09-LSF-P10. 3. El muestreo es responsabilidad del usuario. 4. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas. 5. El tiempo de custodia de las muestras es de 45 días a partir del ingreso de la muestra. 6. El Reporte de Ensayo válido es el original firmado y sellado que se imprime a solicitud expresa del usuario; cuando el usuario solicita envío del reporte por correo electrónico o fax libera al Laboratorio de resguardar la integridad y confidencialidad de sus resultados.

Anexo 5. Resultado del análisis químico foliar en el ciclo del cultivo de culantro coyote (*Eryngium foetidum*) hidropónico durante la evaluación 3 y 4 en la etapa 1, Alajuela, Costa Rica en el año 2016.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES
REPORTE DE ENSAYO
SC12-LSF-I01-R01 (v9)**



Nº DE REPORTE: 58565
USUARIO: FREDDY SOTO BRAVO
SUBCLIENTE: TESIS GUSTAVO RODRIGUEZ
RESPONSABLE: GUSTAVO RODRIGUEZ
CORREO: gustavo.rodriguezocampo@gmail.com / FREDDY.SOTOBRAVO@ucr.ac.cr

PROVINCIA: ALAJUELA
CANTÓN: ALAJUELA
CULTIVO: CULANTRO COYOTE

ANÁLISIS: QC,B,S
FECHA RECEPCIÓN: 16/06/2016
EMISIÓN DE REPORTE: 24/06/2016
Nº DE MUESTRAS TOTAL: 8
PÁGINA: 1/1

ANÁLISIS QUÍMICO FOLIAR														
ID USUARIO	ID LAB	% ¹						mg/kg						
		N*	P*	Ca*	Mg*	K*	S*	Na**	Fe*	Cu*	Zn*	Mn*	B*	Al**
EVALUACION 4 - SA	P-16-04492	4.63	0.62	0.92	0.23	5.00	0.31	469	216	13	25	50	39	183
EVALUACION 4 - SB	P-16-04493	3.81	0.45	0.84	0.25	3.82	0.25	426	139	10	17	34	27	131
EVALUACION 4 - CA	P-16-04494	4.60	0.70	0.93	0.23	5.46	0.31	493	295	12	29	61	40	250
EVALUACION 4 - CB	P-16-04495	4.16	0.51	0.90	0.25	4.36	0.28	481	226	11	34	39	30	203
EVALUACION 3 - SA	P-16-04496	5.04	0.69	1.04	0.26	5.23	0.33	648	232	15	31	61	55	185
EVALUACION 3 - SB	P-16-04497	4.16	0.51	1.24	0.31	3.92	0.29	722	141	11	17	54	48	110
EVALUACION 3 - CA	P-16-04498	4.81	0.77	1.13	0.27	5.15	0.30	558	235	15	27	59	53	166
EVALUACION 3 - CB	P-16-04499	3.94	0.55	0.94	0.29	3.86	0.25	698	128	10	16	50	46	87

OBSERVACIÓN: *ENSAYO ACREDITADO, ver alcance en www.eca.or.cr **ENSAYO NO ACREDITADO

Floria Bertsch H.
COORDINADORA

Mariana Blanco M.
N.I. 2468

1. Las unidades están expresadas en base seca, en m/m. 2. Procedimiento: N por combustión seca en Autoanalizador de acuerdo al SC09-LSF-P06; P, Ca, Mg, K, S, Na, Fe, Cu, Zn, Mn, B y Al por digestión húmeda con HNO₃ y determinación por Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma (ICP) de acuerdo al SC09-LSF-P10. 3. El muestreo es responsabilidad del usuario. 4. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas. 5. El tiempo de custodia de las muestras es de 45 días a partir del ingreso de la muestra. 6. El Reporte de Ensayo o válido es el original firmado y sellado que se imprime a solicitud expresa del usuario; cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o fax libera al Laboratorio de resguardar la integridad y confidencialidad de sus resultados.

Anexo 6. Resultado del análisis químico foliar en el ciclo del cultivo de culantro coyote (*Eryngium foetidum*) hidropónico durante la evaluación de rendimiento en la etapa 1, Alajuela, Costa Rica en el año 2016.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES
REPORTE DE ENSAYO
SC12-LSF-I01-R01 (v9)**



Nº DE REPORTE: 58805
 USUARIO: FREDDY SOTO BRAVO
 SUBCLIENTE: TESIS DE LICENCIATURA
 RESPONSABLE: GUSTAVO RODRIGUEZ OCAMPO
 CORREO: gustavo.rodriguezocampo@gmail.com / FREDDY.SOTOBRAVO@ucr.ac.cr

PROVINCIA: ALAJUELA
 CANTÓN: ALAJUELA
 LOCALIDAD: E.E.F.B
 CULTIVO: CULANTRO COYOTE

ANÁLISIS: QC,B,S
 FECHA RECEPCIÓN: 07/07/2016
 EMISIÓN DE REPORTE 15/07/2016
 Nº DE MUESTRAS TOTAL 4
 PÁGINA: 1/1

ANÁLISIS QUÍMICO FOLIAR												
ID USUARIO	ID LAB	% ¹						mg/kg				
		N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
RENDIMIENTO SA	P-16-04870	4.10	0.59	0.76	0.22	5.20	0.30	196	11	26	57	36
RENDIMIENTO SB	P-16-04871	3.00	0.41	0.96	0.27	4.21	0.23	159	10	21	42	29
RENDIMIENTO CA	P-16-04872	4.30	0.67	0.82	0.21	5.48	0.27	276	11	39	57	33
RENDIMIENTO CB	P-16-04873	3.08	0.47	0.72	0.24	4.38	0.22	134	9	20	38	33

Floria Bertsch H.
 COORDINADORA

Marianefa Blanco M.
 N.I. 2468

1. Las unidades están expresadas en base seca, en m/m. 2. Procedimiento: N por combustión seca en Autoanalizador de acuerdo al SC09-LSF-P06; P, Ca, Mg, K, S, Na, Fe, Cu, Zn, Mn, B y Al por digestión húmeda con HNO₃ y determinación por Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma (ICP) de acuerdo al SC09-LSF-P10. 3. El muestreo es responsabilidad del usuario. 4. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas. 5. El tiempo de custodia de las muestras es de 45 días a partir del ingreso de la muestra. 6. El Reporte de Ensayo v. válido es el original firmado y sellado que se imprime a solicitud expresa del usuario; cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o fax libera al Laboratorio de resguardar la integridad y confidencialidad de sus resultados.

Anexo 7. Resultado del análisis químico foliar en el ciclo del cultivo de culantro coyote (*Eryngium foetidum*) hidropónico durante la evaluación 1, 2, 3 y 4 en la etapa 2, Alajuela, Costa Rica en el año 2016.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES
REPORTE DE ENSAYO
SC12-LSF-I01-R01 (v9)**



Nº DE REPORTE: 59221

USUARIO: FREDDY SOTO BRAVO
SUBCLIENTE: TESIS GUSTAVO RODRIGUEZ
RESPONSABLE: GUSTAVO RODRIGUEZ
CORREO: gustavo.rodriguezocampo@gmail.com / FREDDY.SOTOBRAVO@ucr.ac.cr

PROVINCIA: ALAJUELA
CANTÓN: ALAJUELA
LOCALIDAD: EEFBM
CULTIVO: CULANTRO COYOTE

ANÁLISIS: QC,B,S
FECHA RECEPCIÓN: 18/08/2016
EMISIÓN DE REPORTE 26/08/2016
Nº DE MUESTRAS TOTAL 16
PÁGINA: 1/2

ANÁLISIS QUÍMICO FOLIAR												
ID USUARIO	ID LAB	% ¹						mg/kg				
		N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
ETAPA 2 - EVALUAC.1 - SA	P-16-05992	5.31	0.71	0.85	0.18	5.32	0.30	156	12	34	55	27
ETAPA 2 - EVALUAC.1 - SB	P-16-05993	4.56	0.65	1.10	0.24	5.22	0.33	187	14	31	43	28
ETAPA 2 - EVALUAC.1 - CA	P-16-05994	5.00	0.75	0.91	0.18	5.55	0.29	138	13	34	67	35
ETAPA 2 - EVALUAC.1 - CB	P-16-05995	4.25	0.59	1.00	0.20	5.08	0.34	142	14	28	44	33
ETAPA 2 - EVALUAC.2 - SA	P-16-05996	4.78	0.60	0.91	0.18	5.74	0.30	175	15	33	66	39
ETAPA 2 - EVALUAC.2 - SB	P-16-05997	4.26	0.53	1.10	0.22	5.34	0.31	165	12	26	46	31
ETAPA 2 - EVALUAC.2 - CA	P-16-05998	4.97	0.62	0.94	0.18	6.02	0.28	174	11	29	63	48
ETAPA 2 - EVALUAC.2 - CB	P-16-05999	4.13	0.52	1.03	0.22	5.56	0.31	150	12	34	45	35
ETAPA 2 - EVALUAC.3 - SA	P-16-06000	4.48	0.63	0.86	0.19	6.45	0.26	171	9	28	60	38
ETAPA 2 - EVALUAC.3 - SB	P-16-06001	3.60	0.48	1.03	0.25	5.38	0.27	161	11	21	43	32
ETAPA 2 - EVALUAC.3 - CA	P-16-06002	4.28	0.53	0.83	0.20	6.03	0.27	184	10	24	66	53
ETAPA 2 - EVALUAC.3 - CB	P-16-06003	3.63	0.45	0.89	0.22	5.07	0.26	143	11	20	45	39
ETAPA 2 - EVALUAC.4 - SA	P-16-06004	4.31	0.61	0.78	0.21	6.35	0.25	225	10	34	61	43
ETAPA 2 - EVALUAC.4 - SB	P-16-06005	3.20	0.48	1.02	0.29	5.69	0.29	201	11	22	43	40
ETAPA 2 - EVALUAC.4 - CA	P-16-06006	4.43	0.60	0.87	0.21	6.51	0.25	226	9	25	68	56
ETAPA 2 - EVALUAC.4 - CB	P-16-06007	3.60	0.52	0.99	0.27	5.88	0.30	237	11	21	48	51

Floria Bertsch H.
COORDINADORA

Marianela Blanco M.
N.I. 2468

1. Las unidades están expresadas en base seca, en m/m. 2. Procedimiento: N por combustión seca en Autoanalizador de acuerdo al SC09-LSF-P06; P, Ca, Mg, K, S, Na, Fe, Cu, Zn, Mn, B y Al por digestión húmeda con HNO₃ y determinación por Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma (ICP) de acuerdo al SC09-LSF-P10. 3. El muestreo es responsabilidad del usuario. 4. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas. 5. El tiempo de custodia de las muestras es de 45 días a partir del ingreso de la muestra. 6. El Reporte de Ensayo válido es el original firmado y sellado que se imprime a solicitud expresa del usuario; cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o fax libera al Laboratorio de resguardar la integridad y confidencialidad de sus resultados.

Anexo 8. Resultado del análisis químico foliar en el ciclo del cultivo de culantro coyote (*Eryngium foetidum*) hidropónico durante la evaluación de rendimiento en la etapa 2, Alajuela, Costa Rica en el año 2016.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES**

REPORTE DE ENSAYO

SC12-LSF-I01-R01 (v9)



Nº DE REPORTE: 59271

USUARIO: FREDDY SOTO BRAVO
SUBCLIENTE: TESIS GUSTAVO RODRIGUEZ
RESPONSABLE: GUSTAVO RODRIGUEZ
CORREO: gustavo.rodriguezocampo@gmail.com / FREDDY.SOTOBRAVO@ucr.ac.cr

PROVINCIA: ALAJUELA ANÁLISIS: QC,B,S
CANTÓN: ALAJUELA FECHA RECEPCIÓN: 22/08/2016
LOCALIDAD: EEFBM EMISIÓN DE REPORTE 05/09/2016
CULTIVO: CULANTRO COYOTE Nº DE MUESTRAS TOTAL 4
PÁGINA: 1/1

ANÁLISIS QUÍMICO FOLIAR												
ID USUARIO	ID LAB	% ¹						mg/kg				
		N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
SA - RENDIMIENTO - E2	P-16-06304	4.24	0.58	0.72	0.20	6.38	0.23	150	16	25	60	45
SB - RENDIMIENTO - E2	P-16-06305	3.24	0.45	1.07	0.29	5.37	0.28	152	18	22	39	48
CA - RENDIMIENTO - E2	P-16-06306	4.23	0.60	0.75	0.21	6.47	0.22	152	18	24	72	65
CB - RENDIMIENTO - E2	P-16-06307	3.45	0.48	0.89	0.27	5.46	0.26	172	16	20	37	57

Floria Bertsch H.
COORDINADORA

Marianela Blanco M.
N.I. 2468

1. Las unidades están expresadas en base seca, en m/m. 2. Procedimiento: N por combustión seca en Autoanalizador de acuerdo al SC09-LSF-P06; P, Ca, Mg, K, S, Na, Fe, Cu, Zn, Mn, B y Al por digestión húmeda con HNO₃ y determinación por Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma (ICP) de acuerdo al SC09-LSF-P10. 3. El muestreo es responsabilidad del usuario. 4. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas. 5. El tiempo de custodia de las muestras es de 45 días a partir del ingreso de la muestra. 6. El Reporte de Ensayo válido es el original firmado y sellado que se imprime a solicitud expresa del usuario; cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o fax libera al Laboratorio de resguardar la integridad y confidencialidad de sus resultados.

Anexo 9. Etapas fenológicas del cultivo de culantro coyote según días después del trasplante (DDT) y grados día (G.D) con y sin sarán (etapa 1), considerando número de hojas, longitud de hoja (cm), peso fresco aéreo (g) y área foliar (cm²).

DDT	Etapa fenológica	Hojas (#)	Longitud de hoja (cm)	Peso fresco aéreo (g)	Área foliar (cm ²)	G.D	
						Con sarán	Sin sarán
0	Trasplante	7.0	11.7	1.7	57.4	-	-
10	Establecimiento del cultivo	8.0	12.4	2.1	80.1	115.9	112.1
20		12.0	13.6	5.1	159.0	225.9	214.7
30	Desarrollo vegetativo	24.0	14.5	12.1	303.2	338.3	327.2
40		45.0	16.7	32.6	775.6	450.3	434.3
50	Producción	52.0	25.1	62.1	1370.1	614.0	587.4

Anexo 10. Etapas fenológicas del cultivo de culantro coyote según días después de cosecha (DDC) y grados día (G.D) con y sin techo plástico (etapa 2), considerando número de hojas, longitud de hoja (cm), peso fresco aéreo (g) y área foliar (cm²).

DDC	Etapa fenológica	Hojas (#)	Longitud de hoja (cm)	Peso fresco aéreo (g)	Área foliar (cm ²)	G.D	
						Con techo	Sin techo
0	Poda	-	-	-	-	-	-
10	Desarrollo vegetativo	32.0	12.4	8.8	264.4	107.5	108.6
20		57.0	17.3	32.9	869.6	213.2	213.2
30		78.0	23.4	79.1	2166.8	319.3	317.7
40	Producción	91.0	27.4	117.9	3214.7	464.0	465.0