

Efecto de fuentes fertilizantes nitrogenadas, diferencias en emisiones de CO₂, fertilidad del suelo, crecimiento y productividad en el cultivo de “culantro coyote” (*Eryngium foetidum* L.), en Turrialba, Costa Rica

Effect of nitrogenous fertilizer sources, differences in CO₂ emissions, soil fertility, growth and productivity in the cultivation of “spiritweed” (*Eryngium foetidum* L.), in Turrialba, Costa Rica



E & T

Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 4 No. 1. Enero-Julio, 2023: 67-86

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

DOI: <https://doi.org/10.56205/ret.4-1.4>

Recibido: 12/04/2023

Revisado: 16/05/2023

Aprobado: 30/06/2023

Andrés Barrantes Solano
Ingeniero Agrónomo, Costa Rica

andresbasol@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-6204-3283>

M. Sc. en Ingeniería Ambiental

Universidad Europea del Atlántico, Cantabria, España

M. Sc. en Gestión y Auditorías Ambientales

Universidad Internacional Iberoamericana, Palaches, Puerto Rico

Estudios cursados por convenio con FUNIBER Costa Rica

Resumen

Los fertilizantes sintéticos nitrogenados son importantes en la producción agrícola, no obstante, producen ciertos impactos ambientales. En el cultivo de “culantro coyote” (*Eryngium foetidum* L.), la cantidad de nitrógeno (N) disponible es relevante para la formación de la parte comercializable, sus hojas. Por este motivo, se investigó el uso de diferentes fuentes de N. Se buscó identificar y proponer programas de fertilización, determinar la productividad al reemplazar las fuentes de N tradicionales para reducir el impacto ambiental por emisión de CO₂, empleando los tratamientos: T1- Fertilización convencional, T2- Urea adicionada con el inhibidor de la enzima Ureasa (Agrotain 15% N), T3- Urea Formaldehído 10% N, y T4- Sin fertilización. Se evaluó semanalmente por 46 días el número total de hojas, largo y ancho de la hoja 3 y área foliar, junto a análisis químico de suelo y foliar. A la cosecha, se determinó producción, evaluación nutricional (foliar) de rollos completos y biomasa de cada tratamiento. Se confirmó que el “culantro coyote” requiere



fertilización constante y oportuna, ya que el T4 (sin fertilización) fue el de menor cantidad de rollos y de tamaño de hojas; el T1 (manejo convencional) fue superior en productividad, seguido de T2 (Agrotain) y T3 (urea formaldehído). A nivel foliar, este último mantuvo valores constantes superiores de N, P, K, Mg, S, Zn y Mn, con respecto a los otros tratamientos.

Palabras claves: Costo/Beneficio; Productividad; Impacto ambiental, Agrotain; Urea Formaldehído.

Abstract

Synthetic nitrogen fertilizers are important in agricultural production; however, they produce certain environmental impacts. In the cultivation of “coyote cilantro” (*Eryngium foetidum* L.), the amount of nitrogen (N) available is relevant for the formation of the marketable part, its leaves. For this reason, the use of different N sources was investigated. We sought to identify and propose fertilization programs, determine the productivity when replacing traditional N sources to reduce the environmental impact due to CO₂ emissions, using the treatments: T1- Fertilization conventional, T2- Urea added with the Urease enzyme inhibitor (Agrotain 15% N), T3- Urea Formaldehyde 10% N, and T4- Without fertilization. The total number of leaves, length and width of leaf 3 and leaf area were evaluated weekly for 46 days, along with soil and foliar chemical analysis. At harvest, production, nutritional evaluation (foliar) of complete rolls and biomass of each treatment were determined. It was confirmed that “coyote cilantro” requires constant and timely fertilization, since T4 (without fertilization) was the one with the smallest number of rolls and leaf size; T1 (conventional management) was superior in productivity, followed by T2 (Agrotain) and T3 (urea formaldehyde). At the foliar level, the latter maintained constant higher values of N, P, K, Mg, S, Zn and Mn, with respect to the other treatments.

Key words: Cost/Benefit; Productivity; Environmental impact; Agrotain; Urea-formaldehyde.

Introducción

El “culantro coyote” (*Eryngium foetidum* L.) es una planta que se emplea como ornamental, en la cocina y en medicina natural como antiinflamatorio y analgésico (Fonseca, 2010), e incluso con propiedades en investigación para la salud humana (Rojas, 2014). De acuerdo a lo reportado por Rodríguez (2018), esta hortaliza es cultivada en Puerto Rico, República Dominicana, Cuba, Islas de las Antillas, América Central, México, Brasil, Tailandia, Vietnam, Bangladesh y en India. La actividad como cultivo agrícola en Costa Rica ha sido desarrollada en varias partes del territorio nacional. Según lo reportado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (Servicio Fitosanitario del Estado, 2014), la producción se ha centrado en los distritos del Cantón de Turrialba y Siquirres, en comunidades como Tres Equis, Pilon de Azúcar, La Flor, El Sol y Chitaría, todos de Turrialba, y Guayacán, Santa Marta, Los Ángeles, Morazán, Linda Vista y 52 Millas, del cantón de Siquirres.

Dentro de los requerimientos para la producción de culantro coyote, los aportes de nitrógeno son necesarios para su buen desarrollo, ya que este elemento es clave para el crecimiento de su follaje, que es la parte comercializable. Las fuentes sintéticas de nitrógeno se consideran importantes en las cuantificaciones de emisiones de CO₂, por la relación que tiene sobre el efecto invernadero y su relación con el cambio climático. En aras de procurar una producción de menor impacto ambiental, se deben buscar productos fertilizantes con propiedades diferenciadas, que permitan reducir la cantidad total de nitrógeno empleado en cada ciclo de cultivo. De acuerdo con el Sistema Español de Inventario de Emisiones (2018), la aplicación de la fuente de nitrógeno urea, tiene un factor de emisión de CO₂ de 0.2. Lo anterior significa que, por cada kg de urea aplicado, se emiten 0,2 kg de CO₂ al ambiente; por lo que se considera un factor promotor de la problemática del cambio climático (Montenegro, 2020). La problemática ha sido discutida en diferentes foros, pero con acciones parciales en resultados, por todas las aristas que conlleva los cambios productivos en los países. Se tiene el reto de poder alimentar cada día a más personas en el mundo, pero con menos recursos como agua y tierras aptas para la agricultura.



El presente estudio tuvo como objetivo, determinar el efecto en el suelo de fertilizantes nitrogenados y la productividad del “culantro coyote”, al reemplazar las fuentes de nitrógeno tradicionales.

Metodología

A continuación, se detalla cómo se procedió a evaluar las variables de suelo, follaje y las mediciones biométricas de las plantas de “culantro coyote”. Por otro lado, se especifican los procedimientos, equipos empleados y tamaño de muestra en la toma de datos.

Variables

Para cuantificar la respuesta de las fertilizaciones se establecieron las siguientes variables que consideraron el contenido nutricional del suelo, monitoreo nutricional del follaje y de crecimiento de las plantas:

1. Cuantificación del contenido de nutrientes en el suelo al inicio y al final del proyecto.
2. Cuantificación del contenido de nutrientes de la tercera hoja en diferentes etapas de crecimiento del cultivo, 25, 46 y 53 días después de la brotación.
3. Conteo total de hojas.
4. Medición de largo y ancho (cm) de la tercera hoja de manera semanal.
5. Medición del área foliar (cm²).
6. Medición biomasa fresca y seca (g/planta, kg/ha) a la cosecha.
7. Conteo/cálculo de días a floración y cosecha.
8. Peso/medición de kg/ha de producto fresco para comercialización.

Área experimental

El área de estudio presentaba una topografía semi ondulada, menos de 15% de pendiente, en dos bloques de tratamientos, mientras que los otros tres bloques presentaron topografía plana, menor a 5% de pendiente. El terreno se encontraba rodeado de arbustos y pastos, ninguna afectación de sombra a las parcelas de culantro, cuya clasificación a nivel de orden suelos se categoriza dentro de los Ultisoles y del Suborden Humults y se ubicó en Santa Marta, Siquirres, Limón, Costa Rica, con las coordenadas geográficas 10.003825990000001, - 83.57600309; finca administrada por don Franklin “Gatico” Abarca. La población estudio fue una plantación de “culantro coyote” posterior a la primera cosecha, con una densidad de 56 000 plantas/ha. Cada parcela o tratamiento, tuvo un área de 2 m².

Procedimientos y muestreos

Para la ejecución del proyecto se realizaron los siguientes procedimientos:

Modificación del programa de fertilización con la reducción de aportes de N entre 10 y 15%. Se partió de la toma de muestras de suelo previo a la brotación de la segunda generación de la plantación, con barreno de tornillo de 0 a 20 cm y otro muestreo de suelos al llegar a cosecha. Se monitoreó el contenido nutricional foliar, cortando con tijeras la tercera hoja de arriba hacia abajo de 10 plantas por parcela, a 25, 46 y 53 días.

Las muestras se analizaron en el Laboratorio de suelos y foliares de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA), ubicado en La Rita, Pococí, Costa Rica. La materia orgánica de las muestras de suelos fue calculada a partir del valor de carbono total por combustión seca, pH por medio de extracción en agua (1:2.5), la acidez por medio de extracción en KCl 1 M; y la titulación Ca, Mg, K, P, Fe, Cu, Zn, Mn y B, extracción con disolución Mehlich 3 y lectura en ICP-OES.

Las muestras foliares se secaron a 70° C en horno de CORBANA, determinando el N por medio de combustión seca, mientras que P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn y B por medio de digestión en microondas con las soluciones de HNO₃ y H₂O₂ y la lectura en ICP-OES.

Para el primer ciclo de fertilización los tratamientos 1, 2 y 3 recibieron una fertilización similar y el tratamiento 4, testigo absoluto o sin fertilizante, se mantuvo todo el proyecto sin fertilización. Se establecieron tratamientos para el segundo ciclo de fertilización, los cuales se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 1.

Detalle de los tratamientos (fertilizantes) aplicados en culantro coyote

Tratamiento	DDC*	Ciclo	Producto	Kg fertilizante/ha	Kg N por ciclo/ha
T1-SOP	8	1	10-30-10	225.0	22.5
	32	2	38-0-0-7.7(S)	272.3	103.5
T2-Urea con Agrotain	8	1	10-30-10	225.0	22.5
	32	2	Urea con Agrotain	204.6	88.6

T3-Urea Formaldehído	8	1	10-30-10	225.0	22.5
	32	2	Urea Formaldehído	310.5	93.2
T4- Sin Fertilización	8	1	-	0.0	0.0
	32	2	-	0.0	0.0

*DDC: Días después de cosecha, en este caso, la primera cosecha posterior a la siembra del almácigo

Fuente: elaboración propia.

Se midieron las emisiones de CO₂ (ton CO₂/año) empleando el Sistema Español, con la fórmula:

$$\text{ton Urea/año} \times (60.06/280134) \times 0.2 \text{ EF} \times (44.01/12.0107) = \text{ton CO}_2/\text{ha/año}$$

Así mismo, se obtuvieron las emisiones directas de gases de efecto invernadero N₂O, por medio de la categoría de fertilizantes sintéticos, empleando el consumo de N total (kg de nutrientes) que propone la FAO, se aplicó la fórmula (**Figura 1**):

$$\text{Kg N/año} \times \text{factor de emisión kg N}_2\text{O-N / kg N año}^{-1}$$



Figura 1. Fertilizantes evaluados en T1, T2 y T3, aplicados a los 32 días del inicio del estudio. Fuente: elaboración propia.

Se midieron las siguientes variables biométricas: conteo total de hojas por planta, medición (cm) semanal del tamaño de la tercera hoja de 25 plantas, largo (del peciolo a la punta del ápice) y ancho (centro de la hoja transversal a la vena foliar) (**Figura 2**). Se aplicó la fórmula del área largo x ancho para obtener una aproximación del área foliar en cm². Se realizaron cinco mediciones, una cada semana.

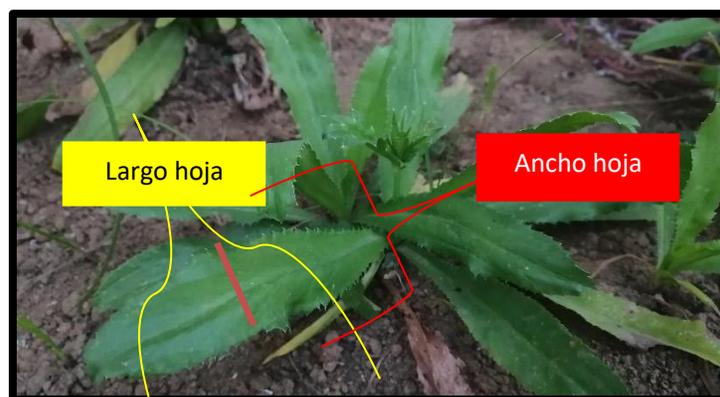


Figura 2. Ilustración de largo y ancho de hoja en planta de culantro coyote.
Fuente: elaboración propia.

Al momento de la cosecha, se realizó la medición de biomasa fresca o peso del tejido en el campo, y la materia seca al colocar las muestras anteriores en un horno hasta peso constante por 24 horas a 70 °C. Se registraron las fechas de floración, considerando cuando el 50% de las plantas presentaron inflorescencia. La cosecha de todos los tratamientos fue el mismo día. Para el análisis de datos se realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA) por la prueba de Duncan de cada variable, con un grado de confianza del 95%, por medio del programa Infostat.

Resultados y discusión

Crecimiento y desarrollo del cultivo

A nivel de crecimiento, todas las parcelas que se mantuvieron sin aportes adicionales de fertilizantes (T4- Sin fertilización), mostraron menor cantidad de hojas (**Figura 3**), largo y ancho de las mismas y, por ende, menor área foliar.

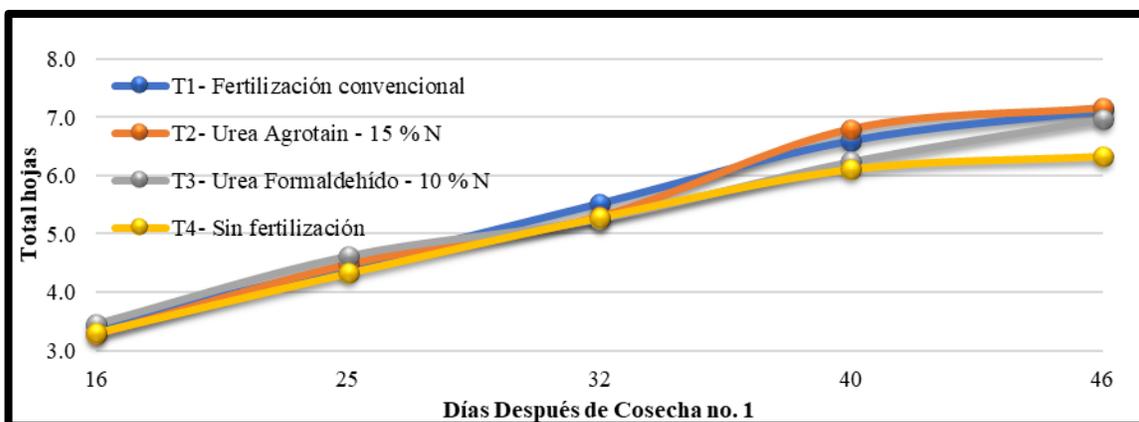


Figura 3. Total de hojas/semana en culantro coyote (*Eryngium foetidum*) de exportación al emplear diferentes fuentes fertilizantes de nitrógeno. Fuente: elaboración propia.

La cantidad de hojas fue similar entre tratamientos, sin embargo, el incremento en número de hojas fue mayor en los tratamientos fertilizados (**Figura 3**), siendo clara la necesidad de nutrientes adicionales a los que se puedan encontrar en el suelo. Tanto el largo como el ancho de las hojas se vieron afectadas por la omisión de la fertilización (**Figura 4**), pero entre fuentes y dosis de fertilizante, las diferencias visualmente fueron poco evidentes.

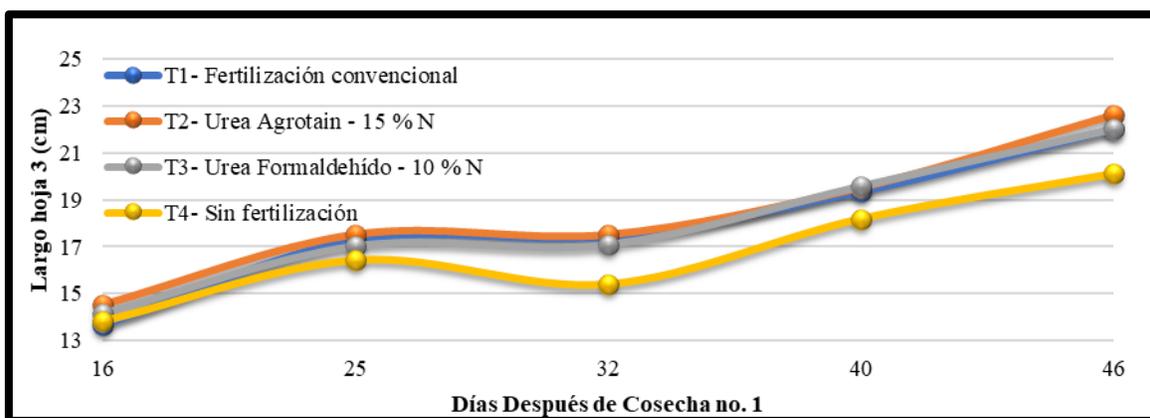


Figura 4. Largo de hoja 3 (cm) / semana en culantro coyote (*Eryngium foetidum*) al emplear diferentes fuentes fertilizantes de nitrógeno. Fuente: elaboración propia.

Por lo visualizado en la figura anterior, en las parcelas fertilizadas (T1, T2 y T3) el largo de la hoja fue similar, sin diferencias estadísticas significativas entre ellas, pero sí con respecto al tratamiento sin fertilización (T4).

La combinación de largo y ancho de la tercera hoja mostró resultados similares a los anteriores, con diferencias significativas solamente entre los tratamientos aplicados con respecto al testigo sin fertilización (T4) (**Tabla 2**). En la evaluación de los 14 días, el testigo

sin fertilización y los fertilizantes alternativos mostraron mayor similitud en largo y ancho de la hoja 3, sin embargo, existieron diferencias significativas entre el tratamiento convencional (T1) y testigo sin fertilización (T4) ($p > 0.05$).

En cuanto a la medición de área foliar, los resultados fueron muy similares a los de largo y ancho de hoja por razones obvias. El tratamiento convencional (T1) fue el de mayor área, muy similar a los otros dos fertilizados, pero estadísticamente diferentes ($p > 0.05$); y el tratamiento de menor área fue el T4 (sin fuente de N) (**Tabla 2**).

Tabla 2.

Resultados de la prueba de Duncan para las variables de crecimiento a 46 días de la primera cosecha, correspondiendo a 14 días posterior a la fertilización evaluada

Tratamiento	Total hojas	Largo hoja 3 (cm)	Ancho hoja 3 (cm)	Área foliar (cm ²)
T1- Fertilización convencional	7.12 A	22.01 AB	4.46 A	98.99 A
T2- Urea Agrotain - 15% N	7.16 A	22.65 A	4.25 AB	97.45 AB
T3- Urea Formaldehído - 10% N	6.96 A	22.02 AB	4.34 AB	96.23 AB
T4- Sin fertilización	6.32 B	20.11 B	4.00 B	82.01 B
P-valor	0.0117	0.0103	0.1187	0.0355

Nota: * $p > 0.05$; Fuente: elaboración propia.

Determinaciones de laboratorio a nivel de suelo y foliares

De la **Tabla 3** se puede evidenciar que los elementos P, S, Cu y B mantuvieron valores relativamente constantes en cada muestreo y para cada tratamiento, mientras que el K, Ca, Zn y Mn presentaron una disminución en su contenido conforme creció el cultivo. Por otro lado, el N y el Mg fueron aumentando su contenido conforme creció el cultivo, en especial posterior a los 32 días, momento de la aplicación de los fertilizantes evaluados; a los 53 días el tratamiento testigo absoluto (T4) también aumentó, pero no al mismo contenido que los otros tratamientos.

Tabla 3.

Resultados del contenido foliar de nutrientes en el muestreo de la tercera hoja de “culantro coyote” (*Eryngium foetidum*), a 25, 46 y 53 días de la primera cosecha

Tratamiento	DDI	%		cmo(+)/L				mg/L					
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	
T1- Fertilización convencional	25	3.90	0.38	5.10	1.09	0.12	0.29	137	12	58	108	20	
	46	3.43	0.32	4.51	0.73	0.20	0.22	152	11	47	53	23	
	53	4.00	0.38	4.34	0.74	0.21	0.27	186	11	50	64	21	
T2- Urea Agrotain - 15% N	25	3.87	0.4	5.15	1.22	0.13	0.29	177	12	57	89	21	
	46	3.53	0.33	4.08	0.76	0.19	0.22	178	11	48	54	23	
	53	3.77	0.35	3.87	0.74	0.20	0.25	236	10	49	55	21	
T3- Urea Formaldehído - 10% N	25	3.93	0.37	5.15	1.17	0.14	0.26	155	11	61	78	20	
	46	3.72	0.37	4.32	0.77	0.18	0.23	143	11	50	45	23	
	53	3.82	0.37	4.09	0.76	0.20	0.25	194	10	49	48	20	
T4- Sin fertilización	25	3.57	0.37	5.04	1.08	0.14	0.29	161	12	57	88	20	
	46	2.86	0.35	3.82	0.76	0.19	0.21	171	11	44	37	22	
	53	3.13	0.35	3.74	0.71	0.20	0.23	215	10	41	44	20	

DDI: Días después del inicio. Fuente: elaboración propia.

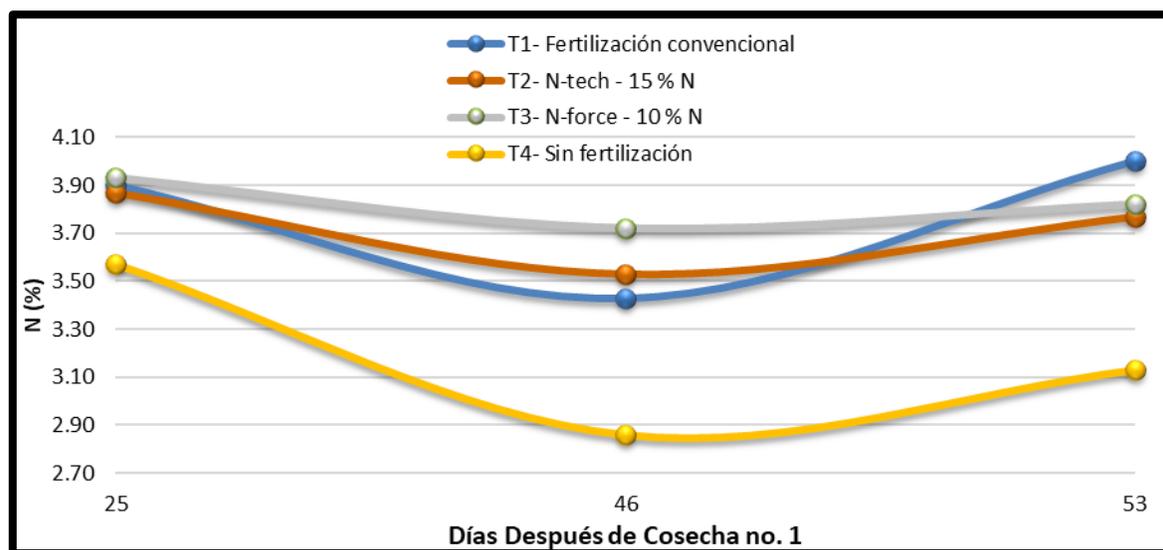


Figura 5. Contenido foliar de N (%) de hoja 3 en “culantro coyote” (*Eryngium foetidum*) al emplear diferentes fuentes fertilizantes de nitrógeno. Fuente: elaboración propia.

En todos los tratamientos el comportamiento fue ascendente en el contenido de N en la hoja 3 (**Figura 5**), en especial el T4 (sin fertilizante). Lo anterior se debe a la alta capacidad de movilidad de N en la planta, pasando de un sector a otro según su necesidad (Molina, 2003). Por otra parte, en estos contenidos a nivel foliar, se evidenció que los aportes de N y S eran necesarios, ya que el omitir la fertilización significó niveles inferiores respecto a los tratamientos fertilizados y cuyo contenido en el suelo fue insuficiente para igualarlos, tal como lo obtuvo en un sistema hidropónico. Rodríguez (2018), partiendo de almácigo, obtuvo en promedio 3.43% N, lo cual representa un valor de referencia o mínimo a considerar en este cultivo. En las parcelas sin fertilizar (T4), se dio un menor crecimiento, conllevando a menor producción de rollos.

Se debe destacar que el resultado foliar de N a los 46 días se puede explicar debido a la precipitación de 30 mm ocurrida a los 5 dda de los fertilizantes, lluvia que acumuló más de 100 mm, entre los 32 a los 40 días de iniciado el proyecto (**Figura 6**), lo que pudo haber interrumpido las pérdidas e incorporado al suelo el nutriente, tal como lo reportó Gambaudo y López (2005), en su estudio sobre el manejo del N en maíz, con el aditivo Agrotain.

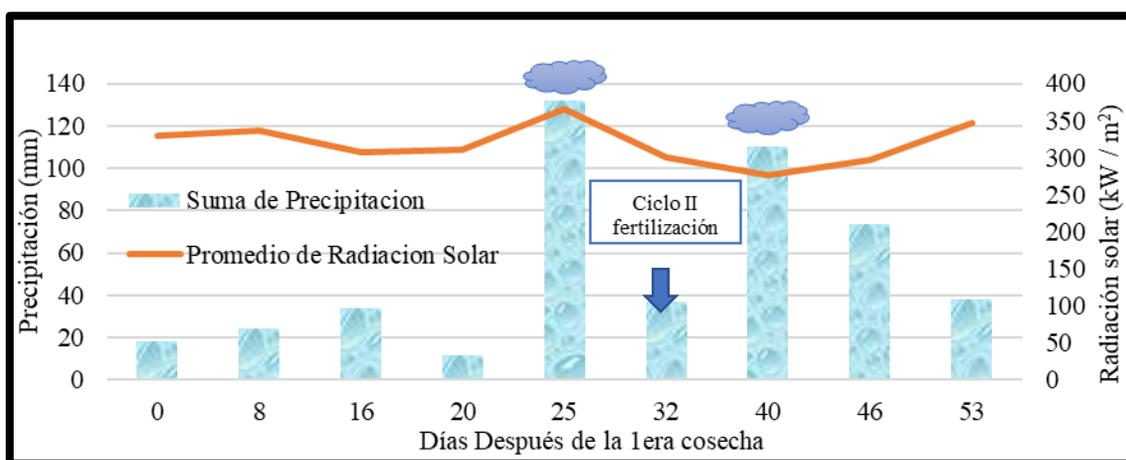


Figura 6. Precipitación acumulada semanal (mm) y radiación solar (kW / m²) en estación climática Siquirres, semana 20 a 28 del año 2020. Fuente: Finca Bananera Siquirres.

Por otra parte, el contenido de Mg en el suelo, presentó valores similares, tanto en el muestreo inicial como final, sin embargo, los valores de la hoja 3 mostró valores ascendentes

conforme se dio el crecimiento de las plantas, lo cual puede ser explicado por el mismo fenómeno del aumento de pH que promueve su disponibilidad (**Figura 7**), aun cuando en ningún tratamiento se dieron aplicaciones adicionales de Mg. La falta de fertilización promovió en menor medida la falta de azufre (S) para el T4, ya que el contenido foliar no aumentó como en los tratamientos aplicados con fertilizante, más bien, estos se mantuvieron constantes, puesto que a valores cercanos de pH 6, la disponibilidad aumenta.

A nivel de suelo, los tratamientos presentaron valores de pH similares al inicio, con cambios en los contenidos al finalizar la evaluación, en especial, un incremento del pH y reducción de la acidez, esto para las áreas de T2 y T3 y en áreas sin fertilizante (**Tabla 4**). En cuanto a la materia orgánica, esta se presentó en la mayoría de muestras sobre el nivel crítico de 5%, previo al inicio del ensayo.

Tabla 4.

Resultados del contenido de nutrientes en el muestreo de suelos al inicio del proyecto y a la cosecha

Tratamiento	DDI	-		cmo(+)/L					mg/L				%
		pH	Acid	Ca	Mg	K	P	Fe	Cu	Zn	Mn	B	M.O.
T1- Fertilización convencional	4	5.05	1.19	10.7	1.7	0.51	22	147	1.5	2.1	15	0.22	7.44
	53	5.33	0.65	11.3	1.7	0.38	30	182	1.8	2.4	22	0.17	7.24
T2- Urea Agrotain - 15% N	4	5.08	1.11	13.3	1.9	0.61	22	181	1.9	3.8	22	0.25	7.74
	53	5.71	0.25	14.6	1.6	0.33	41	215	2.6	4.2	30	0.17	4.58
T3- Urea Formaldehído - 10% N	4	5.28	0.67	12.1	1.8	0.50	25	186	1.9	2.9	17	0.22	6.8
	53	5.47	0.51	14.8	1.9	0.50	31	178	2.2	4.5	27	0.25	6.92
T4- Sin fertilización	4	5.26	0.83	11.7	1.7	0.49	22	172	1.9	2.7	20	0.2	5.12
	53	5.88	0.22	16.7	1.8	0.53	31	197	2.7	5.5	31	0.23	6.44
Niveles críticos		5.50	0.50	4.0	1.0	0.20	10	10	1.00	3.00	5	0.20	5.00

DDI: Días después de iniciado el proyecto (brotación). Fuente: elaboración propia.

El contenido de Mg en el suelo se mantuvo con pocas variaciones, mientras que K y B disminuyeron. Lo contrario ocurrió con Ca, P, Zn, Mn y Fe en casi todos los tratamientos,

excepto en T3, no obstante, valores fueron superiores al nivel crítico. Sobre el contenido de P, este mostró un incremento, favorecido por la aplicación de este elemento en el fertilizante del ciclo I de fertilización, a los 18 días.

Para el caso del pH y acidez intercambiable, se presentó una reducción en la acidez, en mayor medida en los tratamientos T3 y T4. Al inicio del proyecto se partió de valores de pH inferiores a 5.28, mientras que al finalizar, los valores fueron superiores o cercanos a 5.5, por lo que sin aplicar los elementos Fe, Cu, Zn y Mn, estos mostraron valores mayores respecto al inicio en la mayoría de los tratamientos, explicado por el incremento en el pH del suelo. La **Figura 7** representa en verde el rango de pH con mayor disponibilidad para cada nutriente.

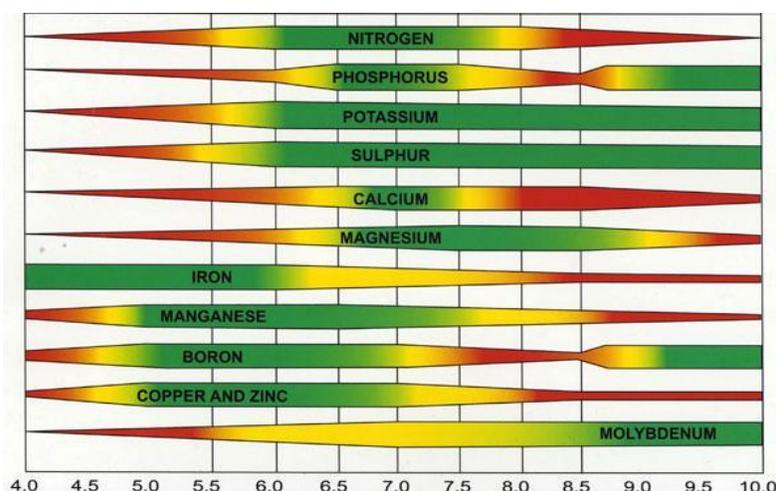


Figura 7. Disponibilidad de nutrientes para las plantas en el suelo de acuerdo al pH. Fuente: AEFA, s.f.).

Biomasa

Sobre la respuesta en tejido seco de la hoja 3 (**Tabla 5**), la fertilización convencional (T1) produjo el mayor peso seco por cada hoja, tanto a los 46 días después de la primera cosecha (14 días de la fertilización) como a los 53 días de esa cosecha (21 días de la fertilización evaluada).

Tabla 5.

Peso seco (g) de hoja 3 posterior a 14 y 21 días de la fertilización evaluada, 46 y 53 días de la cosecha anterior

Tratamiento	Peso seco de hoja 3 (g/hoja)	
	46 días	53 días
T1- Fertilización convencional	0.486	0.656
T2- Urea Agrotain reducción 15% N	0.484	0.573
T3- Urea Formaldehído reducción 10% N	0.472	0.546
T4- Sin fertilización	0.397	0.538

Fuente: elaboración propia.

La venta comercial para exportación de culantro coyote, se hace por medio de rollos de 210 g, agrupando hojas. El experimento mostró mayores valores en el T1 (tratamiento de fertilización convencional) (**Tabla 6**), seguido de la reducción del 15% de dosis de N con Urea Agrotain. Si bien no hubo diferencias significativas entre los tratamientos con reducción de fertilizante, a nivel productivo se observa una disminución de peso fresco y rollos/ha o m² en estos tratamientos con respecto a la fertilización convencional y sobre todo contra el testigo sin fertilización (T4).

Tabla 6.

Resultados de la prueba de Duncan para los valores productivos

Tratamiento	Promedio de Peso total (kg/ha)		Promedio de Peso rollo (g)		Promedio de Rollos de 210 g /ha		Promedio de Rollos de 210 g/m ²	
T1- Fertilización convencional	23362.2	A	222.2	A	111248.6	A	11.1	A
T2- Urea Agrotain – 15% N	19290.5	AB	195.6	AB	91859.5	AB	9.2	AB
T3- Urea Formaldehído – 10% N	18493.1	AB	208.3	AB	88062.4	AB	8.8	AB
T4- Sin fertilización	16320.5	B	160.4	B	77716.7	B	7.8	B
P-valor	0.0004		0.0004		0.0004		0.0004	

Nota: * $p > 0.05$. Fuente: elaboración propia.

Análisis costo/beneficio

Por medio del análisis de costo/beneficio de los resultados productivos, se determinó, con respecto a los fertilizantes alternativos (de mayor costo) y las áreas sin fertilizar, que las diferencias fueron entre 19 000 y 33 000 rollos menos/ha, mientras que al fertilizar, el incremento en producción fue entre 10 000 y 33 000 rollos/ha de 210 g (Tabla 7).

Tabla 7.

Resultados productivos a cosecha (número de rollos)

Tratamiento / Fertilizante empleado	Rollos de 210 g/ha	Costo Beneficio (unid/ha)	Diferencia rollos/ha respecto T1	Diferencia rollos/ha respecto T4
T1- Fertilización convencional 38-0-0-7.7(S)	111 000	367	-	33 000
T2- Fert. reducción 15% (Urea Agrotain) 43.3-0-0-2.9(S)	92 000	352	-19 000	14 000
T3- Fert. reducción 10% (Urea Formaldehído) 30-0-0-10(S)	88 000	1212	-23 000	10 000
T4- Sin Fertilización	78 000	0	-33 000	-

Fuente: elaboración propia.

Estos resultados, pioneros en el cultivo, indican que con la fertilización alternativa o reducida en el cultivo de culantro coyote, la producción se vio disminuida. Por lo anterior, este estudio da pie a ampliar mejoras en el cultivo a nivel de nutrición, aun cuando resultados como los de Pérez-Berges (2004), en el cultivo de maíz en la región de Aragón, España, son similares e indican pocos beneficios de utilizar fertilizantes nitrogenados con inhibidores de la nitrificación, comparándolos con fertilizantes convencionales; es preciso valorar su efecto sobre las pérdidas de N por lavado y no solamente su efecto sobre el rendimiento del cultivo (Andreu, 2006).

Emisiones de CO₂

Dado que los tres fertilizantes poseen N y una parte a base de Urea, son fuentes de impacto para los gases de efecto invernadero (GEI), por lo que una reducción en las dosis significó una disminución en las emisiones de GEI. N₂O y CO₂ (**Tabla 8**).

Tabla 8.

Emisiones de CO₂ y N₂O-N en cada tratamiento

Tratamiento / Fertilizante empleado	Cant. fert. (kg/ha)	Aporte N (Kg/ha)	% Urea	Urea (Kg/ha)	Emisión C-CO ₂ /kg fert. Urea/ha	Emisión N ₂ O- N/kg/ha	Emisión CO ₂ (ton/ha)	% Reducción emisiones CO ₂ /ha
T1- Fert. convencional 38-0-0-7.7(S)	272.2	104	68.01	185.16	37.03	1.04	0.136	0
T2- Fert. reducción 15% (Urea Agrotain) 43.3-0-0-2.9(S)	204.6	88	88.02	180.10	36.02	0.88	0.132	3
T3- Fert. reducción 10% (Urea Formaldehído) 30-0-0-10(S)	310.5	93	24.00	74.52	14.90	0.93	0.055	60
T4- Sin Fertilización	-	-	-	-	-	-	-	-

*Factor de conversión C-CO₂ a C₂ fue 3.6642 =44.01/12.0107- Fuente: elaboración propia.

La fuente Urea Formaldehído, por su menor proporción de Urea, mostró la menor emisión de CO₂, aunque volumétricamente significa emplear dosis altas de fertilizante para poder aportar el N requerido en el cultivo; aun con la reducción de dosis del 10%, se obtuvo la reducción de un 60% de emisiones de CO₂, respecto al T1.

Las fuentes alternativas a la fertilización convencional (T1) tuvieron un costo menor, como se observa en la **Tabla 9**. Si bien se logró el objetivo de reducir emisiones, el aspecto económico de la fuente Urea Formaldehído es muy significativo, ya que representa incrementar los costos de insumos en más de un 300% con respecto a T1 y T2, lo que hace esta alternativa de alto impacto en costos.

Tabla 9.

Aporte de N (kg/ha) y costo (\$/ha) de fertilizantes en el ciclo II del cultivo de culantro coyote

Tratamiento	Aporte Kg N en II ciclo/ha	Costo II ciclo (\$/ha)
T1- Fertilización convencional	104	122
T2- Fertilización reducción 15 % (Urea Agrotain)	88	117
T3- Fertilización reducción 10 % (Urea Formaldehído)	93	402
T4- Sin Fertilización	-	-

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, los fertilizantes pueden ser comparados por su costo de unidad de elemento que aportan en función del costo por ton y, en este caso, precio de unidad de N (\$/ton N) (**Tabla 10**), De esta forma, igualmente se obtuvo un menor costo con el fertilizante convencional usado.

Tabla 10.

Análisis de precio unidad de N en el ciclo II según las fuentes aplicadas en cada tratamiento

Tratamiento	Fertilizante empleado	Peso saco (Kg)	Precio (\$/saco)	Precio fertilizante (\$/Kg)	Precio unidad N (\$/ton N)
T1- Fertilización convencional	38-0-0-7.7(S)	45	20.11	0.45	1176.0
T2- Fertilización reducción 15% (Urea Agrotain)	43.3-0-0-2.9(S)	45	25.84	0.57	1326.1
T3- Fertilización reducción 10% (Urea Formaldehído)	30-0-0-10(S)	25	32.36	1.29	4314.7
T4- Sin Fertilización	-	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

De la **Tabla 10**, se desprende que por su costo (\$/kg), la Urea Formaldehído presenta la limitación de precio, lo cual debe ser considerado en otros ciclos de fertilización de manera individual, siendo posible su evaluación según su compatibilidad física y química con otros



fertilizantes, pues los valores de N y S se mantuvieron en niveles satisfactorios con esta materia prima.

Por el costo de los fertilizantes para el ciclo II, se obtuvo que, este se cubre con la producción de más de 352 rollos/ha, de lo que produce sin este ciclo de fertilizante; a su vez, en el T3 por su precio y volumen de fertilizante, el equilibrio costo-beneficio triplicó a los otros tratamientos con fertilizante.

Conclusiones

En el cultivo de culantro coyote debe de haber biodisponible una fuente nitrogenada en el suelo, debe ser fertilizado de manera oportuna, o en caso contrario, la productividad se verá disminuida drásticamente.

Los resultados de esta investigación demuestran que, aun cuando los programas alternativos solo tuvieron la reducción del 10 y 15% en el aporte de N del ciclo II, la productividad del cultivo se vio afectada.

La fuente fertilizante Urea con Agrotain, presentó ser una opción aceptable para reducir las dosis de fertilizante, las emisiones de CO₂, los costos y obtener una productividad relativamente aceptable, respecto al manejo convencional y con el ciclo de Urea a dosis completa y sin el aditivo evaluado.

Por la capacidad de reducir las emisiones de CO₂ de la Urea Formaldehído, pero por su alto costo, este debe ser introducido en cultivos de bajo aporte de N y S y/o combinarlo con otros fertilizantes para aprovechar estos beneficios y bajar el costo.

Según el mercado destino del culantro coyote, se puede modificar la fertilización, reduciendo costos, pero obteniendo hojas de menor tamaño, destinadas al mercado local y no al de exportación.

Referencias

- AEFA (2022). Clasificación del pH, Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes. Valencia, España. <https://aeфа-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/clasificacion-del-ph>
- Andreu, J., Betrán, J., Delgado, I., Espada, J., Gil, M., Gutiérrez, M., Iguácel, F., Isla, R., Muñoz, F., Orús, F., Pérez, M., Quílez, D., Sin, E., & Yagüe, M. (2006). Fertilización Nitrogenada, Guía de actualización. Gobierno de Aragón, Departamento de Agricultura y Alimentación. Aragón, España. https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/868/1/10532-105_11.pdf
- Fonseca, J. (2010). Culantro coyote. Artículo electrónico. <https://www.hortalizas.com/cultivos/culantro-coyote/>
- Gambaudo, S., & López, O. (2005). Eficiencia en el uso de los fertilizantes: efecto del inhibidor de la enzima Ureasa. INTA – Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Rafaela, Argentina. http://rafaela.inta.gov.ar/info/miscelaneas/104/cultivos_p14.pdf
- Molina, E. (2003). Fertilizantes: conceptos básicos y definiciones. Material de estudio del curso: fertilizantes y enmiendas. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Montenegro, J. (2020). Efecto de diferentes fuentes de nitrógeno en la emisión de óxido nítrico en plantaciones de café en Costa Rica. Revista de Ciencias Ambientales 54(2), 111-130. DOI: <https://doi.org/10.15359/rca.54-2.6>
- Pérez-Berges, M. (2004). Abonos estabilizados. Avance de resultados de ensayos en cultivo de maíz. Informaciones Técnicas. Gobierno de Aragón. N° 137. https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/868/1/10532-105_11.pdf
- Rodríguez, G. (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. Tesis de Licenciatura de Ingeniería Agronómica con énfasis en fitotecnia, Universidad de Costa Rica. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/4903/1/42291.pdf>



Rojas-Silva, P. (2014). Leishmanicidal, anti-inflammatory and anti-obesity properties of natural products from common medicinal and edible plants. The State University of New Jersey - New Brunswick, ProQuest Dissertations Publishing. <https://rucore.libraries.rutgers.edu/rutgers-lib/45447/>

Servicio Fitosanitario del Estado (2014). Manual Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de Culantro Coyote. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG-SFE). San José, Costa Rica. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10801.pdf>

Sistema Español de Inventario de Emisiones. (2018). Emisiones de CO₂ debidas a la fertilización con urea. Metodologías de estimación de misiones. España. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/100101-6-emisiones-fertilizacion-urea_tcm30-481947.pdf