

DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE ABSORCIÓN EDÁFICA DE NUTRIENTES A INTEMPERIE PARA EL CULTIVO DE ENELDO (*Anethum graveolens* L.).

Wileiner Estiben Tobón Henao¹

Rubén Darío David Giraldo²

RESUMEN

Para el cultivo comercial de *Anethum graveolens* L., se evaluó la absorción de elementos nutritivos y su relación en la acumulación de masa seca del órgano foliar bajo el sistema convencional, durante un ciclo de 13 semanas comprendido en 86 días después de germinación (ddg). En una parcela de 45 m² para 428 semillas comerciales, de las cuales se tomaron muestras al azar de las plantas para analizar los contenidos nutricionales en tejido y determinar la biomasa a los 14, 28, 42, 57, 69 y 86 ddg. Se analizaron los datos a través de paquete estadístico en modelos de regresión siendo ajustados al Logístico los elementos N, K, Mg y para P, Ca, S con el modelo Gaussiano, con los cuales se encontró muy baja y lenta absorción de nutrientes los primeros 30 ddg del ciclo, luego se incrementó a partir de los 31, con mayor absorción a los 64 días (décima semana producción), lo cual se correlacionó con mayor acumulación de masa seca. Los elementos que más extrajo el cultivo en g.planta⁻¹ ciclo⁻¹ fueron: N>K>Ca, seguido de P>S>Mg, en proporciones en g.planta⁻¹ de: N 1,808 > k 0,866 > Ca 0,171 > P 0,118 > S 0,091 y Mg 0,070, lo cual corresponde a una biomasa de 88,7% de humedad del tejido vegetal que relaciona el 11,3% de masa seca por kg ha⁻¹.

Palabras clave: Extracción, absorción, biomasa, elementos nutritivos.

ABSTRACT

For the commercial cultivation of *Anethum graveolens* L., the absorption of nutritive elements and their relationship in the accumulation of dry mass of the foliar organ under the conventional system were evaluated, during a cycle of 13 weeks comprised of 86 days after germination (ddg). In a 45 m² plot for 428 commercial seeds, from which random samples of the plants were taken to analyze the nutritional contents in tissue and determine the biomass at 14,

¹ Candidato a grado en agronomía, Universidad Católica de Oriente.

² Asesor trabajo de grado, Ingeniero agrónomo, magister en Geomorfología y Suelos, docente Ciencias del Suelo y Agronomía, Universidad Católica de Oriente.

28, 42, 57, 69 and 86 ddg. The data were analyzed through a statistical package in regression models, the elements N, K, Mg and for P, Ca, S being adjusted to the logistic with the Gaussian model, with which the first ones were found to be very low and slow absorption of nutrients. 30 ddg of the cycle, then increased from 31, with greater absorption at 64 days (tenth week of production), which was correlated with greater accumulation of dry mass. The elements that the culture extracted the most in $\text{g.plant}^{-1} \text{ cycle}^{-1}$ were: $\text{N}>\text{K}>\text{Ca}$, followed by $\text{P}>\text{S}>\text{Mg}$, in proportions in g.plant^{-1} of: $\text{N } 1.808 > \text{k } 0.866 > \text{Ca } 0.171 > \text{P } 0.118 > \text{S } 0.091$ and $\text{Mg } 0.070$, which corresponds to a biomass of 88.7% of moisture of the plant tissue that relates to 11.3% of dry mass per kg ha^{-1} .

Keywords: Extraction, absorption, biomass, nutritive elements.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, a nivel nacional se reportó una producción de hierbas aromáticas destinadas principalmente al mercado de exportación concentrada en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Valle del Cauca representando el 28,1%, 16,2% y 12,5% del área sembrada y otros el 44,4% de la producción nacional respetivamente (Ministerio de Agricultura, 2017). Colombia exporta el 75% a Estados Unidos, Canadá 10%, Unión Europea 10% y 5% otros países, a nivel mundial el 40% de lo producido se destina a la industria de alimentos, 30% a la industria farmacéutica y otro 30% para elaboración en productos cosméticos, esto como respuesta a nuevas especies aromáticas cultivadas, convirtiéndose en un importante componente de ingreso a la población rural, generando alrededor de 40.000 empleos directos e indirectos al año; impulsado por productores, transformadores, comercializadores, áreas de investigación, centros universitarios y políticos (Ministerio de Agricultura, 2019).

Los cultivos de plantas aromáticas se ha convertido a nivel exportación en nuevas alternativas para comunidades agrícolas en la generación de ingresos económicos de mano de obra familiar campesina, gracias a la biodiversidad de plantas y pisos térmicos que se encuentran en las regiones de Colombia (Palomino, 2012). Por tanto la falta de conocimiento en la producción de algunas especies aromáticas han ocasionado pérdidas económicas, donde la relación costo beneficio no es eficientemente buena para los agricultores (Andrade, 2015). Uno de ellos debido a los aportes nutricionales necesarios que no son suministrados en los tiempos

óptimos en donde la planta extrae del suelo los elementos que requiere para su óptimo desarrollo, como dato imprescindible para establecer un balance aproximado de las exigencias reales de elementos nutritivos de acuerdo al cultivo y acorde a las distintas especies de plantas aromáticas de importancia económica (Ganchozo, 2005).

En condiciones técnicas, respecto al cultivo de eneldo *Anethum graveolens* L., no se halla información concreta de cantidades nutricionales de mínima y máxima absorción por planta, por tanto sus programas de fertilización se han realizado de manera empírica, a prueba y error, lo que podría encarecer los costos, causar daños a la planta, salinizar suelos, entre otras; por su parte autores como Bertsch & Ramírez (1997); Toro & Morales (2012) determinan que una evaluación agronómica de fertilización se basa en un análisis, demostrando los niveles nutritivos del suelo y no solo el mismo, sino también analizando los contenidos nutricionales que extraen y absorben los tejidos de la planta, midiendo en una curva de extracción los elementos durante un periodo del ciclo del cultivo que se desea evaluar, el momento de mínimo y máximo de nutrientes tomados por la planta en condiciones óptimas. No obstante las etapas fenológicas de los cultivos pueden ser similares entre familias, variedades y eco-tipos. Además, esto puede variar por factores de localidad, clima, tiempo de siembra, características genéticas entre otros (Corrales, Bertsch, Echandi, & Henríquez, 2010).

Los niveles de extracción-absorción de nutrientes son conocidos para muchos cultivos en ámbito comercial como arroz, soja, girasol, maíz, trigo, cacao, caña de azúcar entre otros, para aromáticas es poca información por la cantidad de especies de importancia económica cultivadas (Ospina, Menjivar, Sánchez, & Bonilla, 2012). Por tanto se hace necesario evaluar cada especie en el país, en función del tipo de suelo y agroecología, con fin de conocer la distribución de nutrientes a lo largo de cada ciclo, planteando técnicas de precisión a la nutrición del cultivo (Páramo, Menjivar, Gómez, & Aranzazu, 2014).

Tomando como instrumento las curvas de absorción, estas permiten obtener datos con más precisión a la extracción nutricional desde el suelo a la planta en su ciclo vegetativo y ajustar un programa de fertilización tendiente a la optimización y cuantificación de rendimientos. El objetivo de esta investigación se basó en la construcción de información acerca de absorción de elementos nutricionales del eneldo *A. graveolens* L., durante un ciclo de 13 semanas que comprende 86 días después de la germinación (ddg) a inicio de su etapa de prefloración.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el municipio de Copacabana – Antioquia, Colombia, localizada el área de estudio en las coordenadas 6° 20'33,815'' de latitud Norte y 75° 29'26,362'' de longitud al oeste del meridiano de Greenwich, a 1.741 msnm. Según Alcaldía de Copacabana (2021) con unas condiciones agroecológicas de temperatura promedio anual de 18°C a 24°C, precipitación anual entre 1.000 y 2.000 mm.

En una parcela de 690 m² a campo abierto, se realizó a un área de 45 m² un muestreo de suelo donde se tomó cinco sitios en total a una profundidad de 20 centímetros (cm), y de manera homogénea se mezcló las muestras, tomando un kilogramo (kg) de la misma mezcla para análisis de laboratorio en caracterización de sus propiedades físico-químicas previo a la siembra, en cuanto a su caracterización se emplearon para un ciclo de 13 semanas comprendido en 86 días después de germinación de semillas (ddg), con base a una densidad de siembra de 9,2 plantas m² para 59800 plantas ha⁻¹ en un área efectiva de 6500 m² y asumiendo un 85% de prendimiento de semilla, y tomado en cuenta el estado nutricional del suelo presentado en su análisis de laboratorio (Tabla 1). Se ajustó los elementos nutricionales con fuentes comerciales correspondientes al ciclo evaluado y contrarrestando inicialmente antes de siembra el Aluminio (Al) de 0,2Cmolc/Kg (+) a cero (0), obteniendo finalmente un pH de 5,3 (extremadamente ácido) a 6,0 (ligeramente ácido) con fuentes comerciales de Carbonato de Calcio y Magnesio una cantidad total de 1914,8 Kg ha⁻¹ de (CaCO₃) al 70% y (MgCO₃) al 25%. Posteriormente en las semanas de siembra se ajustó con fuentes nutricionales fraccionadas a las plantas en desarrollo entre 46 – 92 g.m² durante las semanas que fueron evaluadas ver (Tabla 2).

Tabla 1. Resultado físico-químico análisis de suelo área de estudio.

Textura			Clase	pH	C.E	M.O	N	Al	Ca	Mg	K	CIC	P	S
A%	L%	Ar%												
						(%)			(Cmolc/Kg (+))			mg/Kg (ppm)		
48	20	32	F. Arcilloso Arenoso	5,3	7,39	6	0,2	5,12	1,67	0,39	7,39	9,81	25,35	

Tabla 2. Fertilización edáfica con fuentes comerciales semana ciclo⁻¹ para *A. graveolens* L.

Semana (1-13) ciclo ⁻¹	Fuente comercial nutricional (%)	Dosis (g.m ²)
3	10-30-10	46
4	46-0-0	46
5	8-5-0-6	46
6	10-30-11	92
8	46-0-0	92
9	8-5-0-6	92
10	10-30-11	92

El material vegetal se obtuvo por medio de semillas comerciales y a partir de su germinación, cada dos semanas se tomaron las muestras del tejido vegetal completo de la planta durante un tiempo fraccionado completando las seis veces de muestreo para el ciclo evaluado del cultivo y con la finalidad de garantizar suficiente material a la toma de muestras de tejidos vegetales, en 45 m² de suelo preparado a campo abierto, se realizó una siembra de 0,30 m x 0,35 m entre planta y surco para 428 plantas de *A. graveolens* L., en un ciclo vegetativo a los primeros 86 días ddg antes de prefloración y durante cada toma de muestras se cosecho plantas completas al azar a los 14, 28, 42, 57, 69 y 86 días, para cada recolección se tomaron dos muestras en acumulación de biomasa y elementos nutritivos que fue extraído-absorbido del suelo a los tejidos vegetales de la planta, para las variables de elementos N, P, K, Ca, Mg y S, representados en g.planta⁻¹.

Para la concentración de nutrientes del tejido vegetal de la planta fueron enviadas a un laboratorio especializado cada dos semanas un muestreo con tres sub-muestras, un total de seis análisis de niveles de concentración de elementos nutritivos del tejido para un ciclo vegetativo de evaluación de 13 semanas, y siendo analizados mediante el método de análisis de tejidos de extracción para cuantificación en vía digestión acida los elementos Nitrógeno (N), Potasio (K), Calcio (Ca), y Magnesio (Mg) y por absorción atómica los elementos Fosforo (P) y Azufre (S).

Posteriormente para la acumulación de biomasa. Masa seca (Ms), se tomó durante el mismo tiempo el número de muestras y sub-muestras al azar efectuándose en el laboratorio de la Universidad Católica de Oriente, en un horno a 60°C durante 24 horas, donde se calculó el peso seco de cada muestra en g.planta⁻¹.

Con los datos encontrados de cada nutriente del tejido en porcentaje (%) y/o partes por millón (ppm), del promedio de biomasa de tejido vegetal de todas plantas, se calculó la biomasa concentrada y la cantidad de extracción de cada nutriente al tejido de la planta en g.planta^{-1} empleando la fórmula propuesta por Bertsch & Ramírez (1997) a saber:

$$\text{Cantidad de cada nutriente extraído} = \frac{(\text{Masa seca}) * (\% \text{ Elemento})}{100}$$

Los datos fueron analizados con el software estadístico, Past versión 4.06b., (Hammer, 2021). Probando modelos de regresión en base al criterio de información Akaike (AIC) el mejor modelo descritos como: $\text{AIC} = -2\text{Ln } L + 2K$. En donde **K** corresponde al número de parámetros, **L** al máxima probabilidad y **Ln** logaritmo natural (Schwarz, 1978).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al primer paso en el desarrollo de la curva de absorción de nutrientes a intemperie (campo abierto) para el cultivo de *A. graveolens* L., se obtuvo la concentración de la biomasa de todo el tejido vegetal de la planta (Figura 1), demostrando mínimos y máximos de contenido de masa fresca (Mf) y masa seca (Ms) en un ciclo de 13 semanas expresados en 86 ddg, tiempo en que fue evaluada la planta antes de su desarrollo de prefloración, se contextualizó los resultados para calcular la absorción de elementos nutritivos y la acumulación de (Ms) en kg.ha^{-1} , partiendo desde sus primeros 14 días (ddg), donde se obtuvo una biomasa inicial de (Mf) de $20,3 \text{ kg.ha}^{-1}$ y (Ms) de $3,0 \text{ kg.ha}^{-1}$, el cual ocurre un incremento significativo a partir del día 42 ddg hasta completar su ciclo evaluado de 86 días, obteniéndose una acumulación de (Mf) máxima por ciclo evaluado de $18768,4 \text{ kg.ha}^{-1}$ lo cual corresponde a un 88,7% de humedad promedio del tejido vegetal y $2123,5 \text{ kg.ha}^{-1}$ que relaciona el 11,3% de (Ms), por tanto cada planta ganó peso proporcionalmente al tiempo del ciclo evaluado.

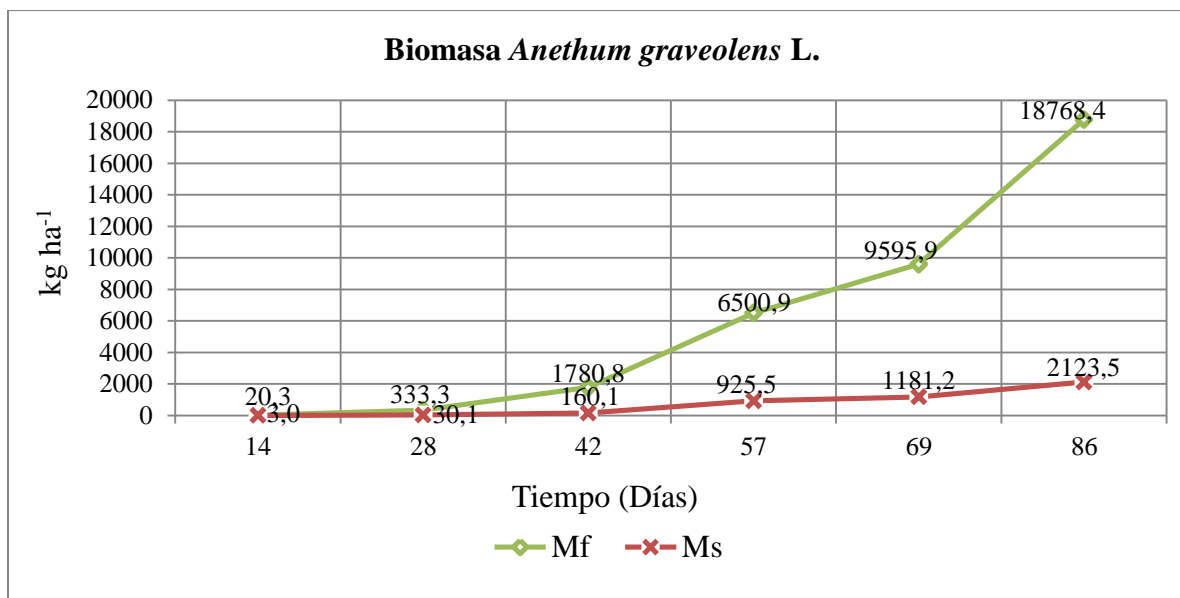


Figura 1. Acumulación diferencial de masa fresca (Mf) y masa seca (Ms) del ciclo evaluado de 86 ddg.

Una vez obtenida la biomasa total y conociendo la concentración de nutrientes en tejido y tomado el mejor modelo que se ajustó a los datos, se encontró que la mejor correlación entre el tiempo y la absorción de cada elemento nutritivo, el modelo de regresión Logístico para los datos del N, K y Mg, seguido del modelo Gaussiano datos del P, Ca y S. Se obtuvo gráficamente a través del modelo en la que se mide la variabilidad de datos siendo eje Y absorción del elemento variable dependiente, eje X extracción-absorción en el tiempo.

Posteriormente se demostró (Figura 2), la curva con cantidades de extracción-absorción de cada elemento nutritivo evaluado del tejido, siendo en un tiempo del ciclo vegetal la parte de interés comercial la productividad de follaje en las primeras 13 semanas del cultivo, lo que permitiría con facilidad determinar las cantidades aproximadas de requerimientos productivos para diferentes densidades de siembra, a lo anterior se permitió analizar generalmente por cada elemento nutritivo lo siguiente:

Nitrógeno (N). Este nutriente mostró un comportamiento de mayor absorción en comparación con los demás elementos evaluados en un ciclo partiendo del día 35 ddg, el cual arrojó una extracción-absorción con un crecimiento proporcional al tiempo de 0,15 g.planta⁻¹entre intervalos de aproximadamente de 10 días consecutivos, hasta alcanzar su máximo de absorción a los 86 ddg con 1,808 g.planta⁻¹, es decir que según la investigación, el N aumentó su absorción en

todo el ciclo, y no se encontró su estabilización en el tiempo evaluado, además presentó correlación con los valores de acumulación de (Ms) durante el ciclo de desarrollo vegetativo, de acuerdo a Villalobos & Salas (2012) este elemento nutritivo tiene gran importancia en el desarrollo fisiológico de cada etapa, donde una deficiencia disminuiría el crecimiento de biomasa hasta en un 25% y de las demás etapas productivas de la planta.

Potasio (K). Este mostró diferencias de absorción entre los 37 y 65 ddg, obteniendo un máximo de concentración de $0,866 \text{ g.planta}^{-1}$ de absorción nutritiva a partir del día 68 ddg, y presentó una estabilización del elemento hasta el final del ciclo de 86 ddg, que equivale a 13 semanas de evaluación del cultivo. Así se encontró que el K fue el segundo elemento nutritivo de mayor extracción-absorción del suelo a la planta ($N 1,808 > k 0,866 \text{ g.planta}^{-1}$), lo cual coincide con lo afirmado por Villalobos & Salas (2012) quien encontró que la importancia de este radica en la circulación de azúcares que son producidos en los tejidos vegetales aéreos del proceso de fotosíntesis, para luego ser transportados a los órganos de floración y fructificación de la especie evaluada.

Calcio (Ca). La absorción del elemento presentó un comportamiento desde los 22 ddg de desarrollo vegetal un crecimiento ascendente, hasta llegar al día de mayor absorción con un máximo de $0,171 \text{ g.planta}^{-1}$ a los 77 ddg, punto referente donde decrece gradualmente al día del ciclo evaluado de 86 ddg a $0,155 \text{ g.planta}^{-1}$, etapa próxima a la maduración vegetativa y como tercer elemento de mayor demanda de extracción-absorción a los tejidos de la planta, la cual se obtuvo los datos en el orden de mayor adsorción de elementos ($N 1,808 > k 0,866 > Ca 0,171 \text{ g.planta}^{-1}$) del ciclo evaluado para la especie vegetal.

Fosforo (P). La concentración de este elemento nutritivo demostró aproximadamente valor máximo de absorción a los 76 ddg con $0,118 \text{ g.planta}^{-1}$, a partir de ello comienza un descenso al llegar a $0,097 \text{ g.planta}^{-1}$ a los 86 días del ciclo evaluado, lo cual se puede deber a que la planta ya había absorbido lo necesario para sus funciones energéticas como la floración, y debido a que el órgano de interés de la planta es tejido vegetal aéreo, mas no flores, posiblemente ya había tomado lo necesario para florecer (pre floración), ya que si se dejaba una semana más se florecía, de aquí la investigación permitió encontrar que el eneldo disminuye la toma de P al día 76 y a partir de allí se florece.

Azufre (S). La concentración del elemento presento en la curva un valor máximo de absorción de $0,091 \text{ g.planta}^{-1}$, presentándose un descenso leve a $0,090 \text{ g.planta}^{-1}$ a partir de los 81 ddg máximos de absorción hasta el día evaluado de 86 días, etapa en la que se empieza el desarrollo de madurez de la planta a prefloración, por tanto la concentración del elemento es menor a la curva de absorción del Calcio en relación al tiempo, presentándose ambos elementos en el día de mayor absorción del S a 81 y Ca 77 ddg, partiendo desde sus días máximos a un decrecimiento hasta los 86 ddg del ciclo evaluado y de acuerdo a Villalobos & Salas (2012) en otros estudios en curva de absorción la deficiencia de este elemento, podría generar una disminución en regulación del agua en la planta afectando los otros elementos y en especial el Calcio , siendo el Azufre importante en el desarrollo de raíces, la conductividad hidráulica, apertura de estomas y el proceso fotosintético.

Magnesio (Mg). Se encontró el comportamiento del elemento en el tiempo evaluado una absorción inferior a los demás elementos estudiados, con una concentración máxima al día 77 ddg de $0,070 \text{ g.planta}^{-1}$, partiendo del día máximo de absorción una estabilidad del elemento en el tiempo al día 86 del ciclo evaluado del cultivo.

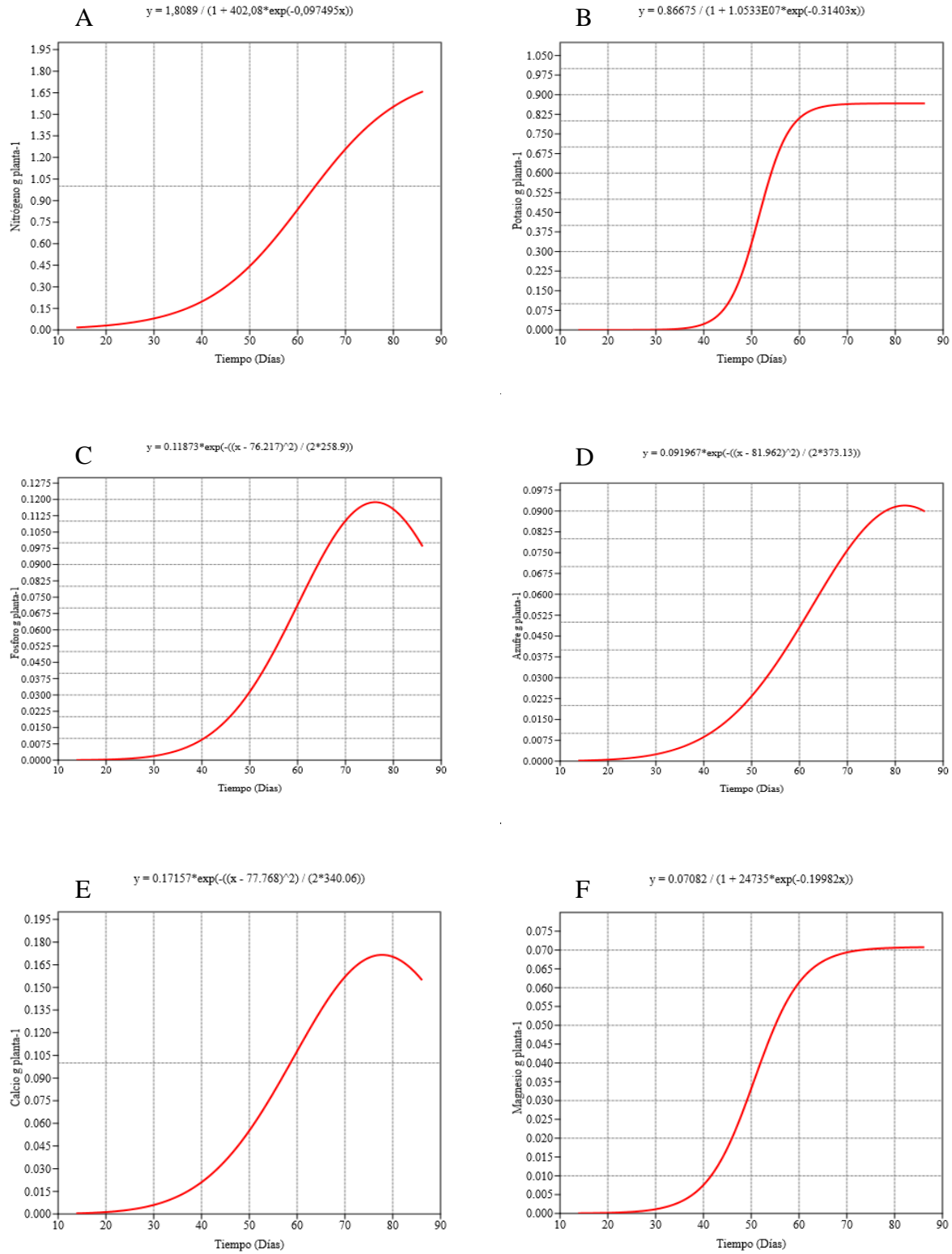


Figura 2. Curva extracción-absorción elementos nutritivos de: A= Nitrógeno, B= Potasio, C= Fosforo, D= Azufre, E= Calcio & F= Magnesio, g.planta⁻¹ ciclo⁻¹ evaluado de 86 ddg comprendido en 13 semanas.

A partir de los datos representados en la (Figura 2), se hizo posible determinar la cantidad de absorción a los elementos N, P, K, Ca, Mg y S a través de un ciclo evaluado para cultivo de *A. graveolens* L., a campo abierto a 1.741 msnm, donde se encontró que el orden de mayor demanda de requerimiento por elemento extraído de suelo-planta fue: (N 1,808 > k 0,866 > Ca 0,171 > P 0,118 > S 0,091 y Mg 0,070 g.planta⁻¹), con picos de máxima absorción y en promedio, para la mayoría de los elementos entre la semana 11 (a los setenta días) de un ciclo evaluado de 13 semanas representados en 86 días (ddg), lo cual coincide parcialmente con los resultados de absorción en elementos nutricionales encontrados por Toro & Morales (2012) para tomillo a campo abierto a 2.200 msnm, siendo los elementos nutricionales con mayor absorción g.planta⁻¹ en el tiempo entre novena y décima semana representando el (N 2,3 > K 2,1 > Mg 0,82 > Ca y S con 0,64 y 0,42 g.planta⁻¹) para un ciclo de 12 semanas. Otro estudio indico para Giraldo & Gutiérrez (2020) bajo condiciones de campo semejantes a lo anterior en menta y cebollín en dos ciclos vegetativos, una absorción promedio de mayor a menor demanda por elemento nutricional Kg.ha⁻¹ ciclo⁻¹ en cultivo de menta (Ca 58,87 > K 36,97 y N 26,96) y cebollín; (N 15,91 > K 11,97 y Ca 3,73) además argumentan nutrientes como Mg y S en proporciones bajas a lo contrario de Ca, K y N durante los dos ciclos estudiados.

Como previamente se mencionó, en algunos estudios realizados en especies aromáticas, el requerimiento nutricional puede variar de acuerdo a la especie vegetal, por tanto es importante determinar las etapas de necesidad nutritiva en el desarrollo de cada cultivo los mayores requerimientos en el tiempo al ciclo a evaluar, pudiendo ofrecer aproximaciones idóneas a los rendimientos esperados y no partiendo desde lo teórico que afirma que los elementos mayores N>P>K son los que en mayor cantidad se toman, mientras que en la especie evaluada (eneldo), los elementos que más se tomaron fueron N>k>Ca y siguientes P>S y Mg.

Tabla 3. Acumulación máxima extracción-absorción en g.planta⁻¹ elementos nutritivos ciclo⁻¹ evaluado.

Absorción máxima de elementos nutritivos en el cultivo de eneldo <i>Anethum graveolens</i> L.				
Elemento nutritivo	Máxima absorción g.planta ⁻¹	Tiempo - ciclo ⁻¹		
		Día	Semana	
N	1,808	86	13	
P	0,118	76	11	
K	0,866	68	10	
Ca	0,171	77	11	
Mg	0,070	77	11	
S	0,091	81	12	

Al obtener la concentración nutritiva del tejido de la planta, se pudo estimar la absorción de cada elemento nutritivo que requiere la planta en los primeros días del ciclo evaluado de 86 ddg a la prefloración, por tanto el nutriente que más se extrajo fue: N>K>Ca. Y a partir del día 69 ddg se comienza a presentar mayores cantidades de absorción por nutriente en relación a la (Ms) (Figura 1), la cual se da mayor acumulación de (Ms) duplicándose hasta el día evaluado 86 ddg.

Los valores de picos máximos de absorción en nutrientes fueron altos al llegar a etapa próxima de maduración del cultivo, por tanto se podría establecer una distribución de fertilización de forma fraccionada para el caso de un sistema de siembra convencional a intemperie, tomando los valores obtenidos de los nutrientes extraídos del suelo y que fueron absorbidos de forma gradual en el tiempo del ciclo evaluado de 86 días (ddg), lo cual se propuso una fertilización edáfica bajo las condiciones agroecológicas del área de estudio en la especie evaluada:

Tabla 4. Propuesta de fertilización en el ciclo evaluado de 86 ddg para *A. graveolens* L.

Elemento nutritivo	Requerimiento absorción g.planta ⁻¹	Densidad siembra ha ⁻¹	Elemento nutritivo Kg ha ⁻¹	Suministro del elemento fuente comercial	(%) Elemento fuente comercial	Absorción fertilizante kg.ha ⁻¹
N	1,808	59800	107,6	CO(NH ₂) ₂	46	234,0
P	0,118	59800	7,06	(NH ₄) ₂ HPO ₄	46	15,3
K	0,866	59800	51,7	(K ₂ SO ₄)	60	86,3
Ca	0,171	59800	10,2	CaO	27	37,9
Mg	0,070	59800	4,2	(MgSO ₄)	18	23,5
S	0,091	59800	5,4	S	12	45,3

En síntesis, la fertilización del cultivo debe realizarse de acuerdo a los datos obtenidos en la (Figura 2) y lo propuesto en la (Tabla 4), con aplicaciones iniciales en presiembra de las fuentes de enmiendas calcáreas “cales” para corrección de pH, aluminio, equilibrio de bases, entre otras, y aplicaciones después de siembra, aunque el cultivo empezó la extracción a partir del día 31 que corresponde a quinta semana después de germinación de semillas, los nutrientes claves fueron N, P, K, Ca, Mg y S, con aplicaciones fraccionadas semanalmente hasta inicio de decima semana de desarrollo del cultivo, tiempo en que se aprovecharía mayor las concentraciones nutritivas aplicadas al suelo, ya que la especie expresa su máximos picos de absorción, por lo

cual se infiere que se debe de garantizar la disponibilidad de los nutrientes para las semanas (10 a 12), ya que si no se garantiza podría influir en los rendimientos del cultivo, ya que algunas fuentes no son altamente hidrosolubles, algunos son de lenta liberación, los nutrientes no tienen la misma movilidad en el suelo, y además el suelo es una matriz “azarosa” (del azar) que condiciona la disponibilidad de los nutrientes, de aquí para los puntos de máxima extracción, idealmente una semana antes, para los nutrientes diferentes al Calcio (Ca), y para las enmiendas calcáreas, como el yeso agrícola, aplicarlo en presiembra, para que esté disponible para su máxima absorción a los 77 ddg, aunque esto último puede ser afectado por el tipo de suelo (pedogénesis) la química de las fuentes y las condiciones agroecológicas (Figura 2).

Al sumar las fuentes comerciales de fertilizantes, la investigación permitió determinar que este cultivo requiere en kg ha^{-1} , estas cantidades de fertilizantes: 234,0 de Urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$; 15,3 de Fosfato diamónico $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$; 83,3 de Sulfato de Potasio (K_2SO_4) ; 37,9 de (CaO) ; 23,5 de Sulfato de Magnesio (MgSO_4) y 45,3 de azufre (S).

CONCLUSIONES

El cultivo de *A. graveolens* L., presentó una extracción-absorción de suelo-planta de forma progresiva al final de la cuarta semana que comprende 30 ddg hasta llegar su máximo de absorción a partir de la semana 10 siendo para K 68 días, seguido de P 76, Ca y Mg 77, S 81 y N 86 ddg momento que se dio el pico de absorción de cada elemento nutritivo.

En general el cultivo extrajo elementos nutritivos a lo largo del ciclo evaluado nutrientes en el orden de $\text{N } 1,808 > \text{K } 0,866 > \text{Ca } 0,171 > \text{P } 0,118 > \text{S } 0,091$ y $\text{Mg } 0,070 \text{ g.planta}^{-1}$, que correspondieron las cantidades de máxima absorción al tiempo evaluado.

La mayor cantidad de masa seca se obtiene a partir de la décima semana día 69 ddg y duplicándose hasta la semana 13 del día 86 ddg, rango en la que se obtuvieron los máximos de absorción de nutrientes con una biomasa de 88,7% de humedad que relaciona el 11,3% de masa seca por kg ha^{-1}

Los datos del cultivo evaluado fueron representados con el mejor modelo de regresión que más se ajustó los datos, siendo el modelo Logístico para datos del N, K y Mg, seguido del modelo Gaussiano para los datos del P, Ca y S.

RECOMENDACIONES

Para la especie evaluada, se recomienda realizar otras investigaciones con otros sistemas de siembra como: cobertizo, ferti-riego o hidroponía, con fertilizantes foliares y granulados.

Realizar el estudio con mayor número de muestras y análisis de órganos vegetales por cada planta del ciclo del cultivo, la cual tiene un desarrollo vegetativo de ciclo corto.

Evaluar la propuesta de fertilización en diferentes condiciones agro-ecológicas con el fraccionamiento de fertilización propuesta.

AGRADECIMIENTOS:

A la universidad Católica de Oriente. En especial a la facultad de Ciencias Agropecuarias por el apoyo recibido, como aspirante al título de Agrónomo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía de Copacabana. (2021). *Información acerca del municipio, Ecología*. Recuperado el 10 de 07 de 2021, de <https://www.copacabana.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Ecologia.aspx>
- Andrade, G. Á. (2015). Comportamiento agronómico de las hortalizas de hoja cilantro (*Coriandrum sativum*) y apio (*Apium graveolens*) con dos fertilizantes orgánicos en el Centro Experimental “La Playita” UTC 2013. Latacunga, Ecuador: LA MANÁ / UTC / 2015.
- Bertsch, F., & Ramírez, F. (1997). Metodologías para afinar los programas de fertilización de los cultivos por medio del uso de curvas de absorción de nutrimentos. *Memoria Jornadas de Investigación, Vicerrectoría de Investigación, San José, Costa Rica*, 183.
- Corrales, R. A., Bertsch Hernández, F., Echandi Gurdíán, C., & Henríquez, C. (21 de 09 de 2010). Caracterización del desarrollo y absorción de nutrimentos del híbrido de maíz HC-57. *Agronomía Costarricense*, 35(2).
- Ganchozo, R. J. (2005). Curvas de absorción de nutrientes en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de campo en Zamorano. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano 2016.
- Giraldo, J. D., & Gutiérrez Henao, S. A. (2020). Modelación de curvas de absorción de nutrientes edáficas para menta (*Mentha spicata* L.) y cebollín (*Allium schoenoprasum*) bajo

- condiciones del Oriente antioqueño. *Revista Universidad Católica de Oriente*, 31(46), 47-69.
- Hammer, Ø. H. (07 de 2021). *PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis*. *Palaeontologia Electronicav* 4, 9 p. Obtenido de <https://www.nhm.uio.no/english/research/infrastructure/past/>
- Ministerio de Agricultura. (30 de 04 de 2017). *SIOC:Sistema de Informacion de Gestion y Desempeño de Organizaciones de Cadenas*. Recuperado el 10 de 08 de 2021, de Cadena de plantas aromaticas, medicinales, condimentarias y afines : <https://sioc.minagricultura.gov.co/PlantasAromaticas/Documentos/2017-04-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio de Agricultura. (30 de 03 de 2019). *SIOC:Sistema de Informacion de Gestion y Desarrollo de Organizaciones de Cadenas*. Recuperado el 10 de 08 de 2021, de Cadena de plantas aromaticas, medicinales, condimentarias y afines: <https://sioc.minagricultura.gov.co/PlantasAromaticas/Pages/Documentos.aspx>
- Ospina, J. D., Menjivar Flores, J. C., Sánchez, M., & Bonilla Correa, C. R. (2012). Efecto de la fertilización en la producción de materia seca y extracción de nutrientes en tres accesiones de *Lippia origanoides* HBK. *Acta Agronómica*, 61(4), 331-338.
- Palomino, A. P. (2012). Fertilización orgánica en el rendimiento de biomasa y aceite esencial de *Menta piperita* Variedad Mitcham - Catalinayocc - Chuschi a 3820 msnm. Ayacucho, Peru.
- Páramo, Y. J., Menjivar Flores, J. C., Gómez Carabalí, A., & Aranzazu Hernández, F. (2014). Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta Agronómica*, 63 (2), 145-152.
- Schwarz, G. (1978). Estimating the Dimension of a Model. *The Annals of Statistics*, 6(2), 461-464.
- Toro, F. C., & Morales, L. M. (2012). Absorción de nutrientes del tomillo (*Thymus vulgaris* L.) a campo abierto en el Oriente antioqueño, Colombia. *Revista Universidad Católica de Oriente*, Vol. 25(Núm. 34).
- Villalobos, E. V., & Salas, R. E. (2012). Curvas de absorción de nutrientes bajo dos métodos de fertilización en sandía, en Guanacaste, Costa Rica. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, 13(26), 19-44.