

# 03

Fecha de presentación: septiembre, 2016

Fecha de aceptación: noviembre, 2016

Fecha de publicación: enero, 2017

## FRACCIONAMIENTO

DE LA ABSORCIÓN DE NUTRIENTES EN CUATRO ETAPAS FENOLÓGICAS DEL CULTIVO DE FRÉJOL

### FRACTIONING OF NUTRIENTS ABSORTION IN FOUR PHENOLOGICAL STAGES OF BEAN CROP

MSc. Luis Lata-Tenesaca<sup>1</sup>

E-mail: [dvillasenor@utmachala.edu.ec](mailto:dvillasenor@utmachala.edu.ec)

MSc. Diego Villaseñor-Ortiz<sup>1</sup>

MSc. Julio Chabla-Carrillo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica de Machala. República del Ecuador.

#### ¿Cómo referenciar este artículo?

Lata-Tenesaca, L., Villaseñor-Ortiz, D., & Chabla-Carrillo, J. (2017). Fraccionamiento de la absorción de nutrientes en cuatro etapas fenológicas del cultivo de fréjol. *Universidad y Sociedad* [seriada en línea], 9 (1), pp. 20-27. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/>

#### RESUMEN

Esta investigación evaluó el fraccionamiento de la absorción de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg), en cuatro etapas fenológicas del desarrollo del cultivo de fréjol variedad seda. Se sembraron 150 plantas que fueron manejadas en condiciones agronómicas óptimas. Se efectuó un muestreo en las etapas de desarrollo del cultivo, previamente identificadas. Luego se colectaron 30 plantas por época de muestreo y se determinó la materia seca (MS) de cada uno de los órganos de la planta por medio de muestreos destructivos, la concentración de nutrientes por espectrofotometría de absorción atómica, se calculó la extracción de nutrientes con la MS y la concentración de elementos en cada uno de los tejidos evaluados, para un rendimiento de 2.91 Mg ha<sup>-1</sup>, con un peso seco de 1938.6 kg ha<sup>-1</sup> en grano. El fraccionamiento de nutrientes presentó una extracción máxima total de 221 kg ha<sup>-1</sup> N, 24 kg ha<sup>-1</sup> P, 186 kg ha<sup>-1</sup> K, 163 kg ha<sup>-1</sup> Ca y 29 kg ha<sup>-1</sup> Mg. Los resultados indican que la remoción de nutrientes por el cultivo sigue el siguiente orden N>K>Ca>Mg>P, son las hojas el órgano que presenta la mayor concentración de nutrientes, seguido por el grano seco.

**Palabras clave:** Extracción de nutrientes, etapa fenológica, materia seca.

#### ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the nutrients uptake of N, P, K, Ca, and Mg in four phenological stages of the bean crop, variety "seda". A number of 150 plants were planted, handled in good agronomical conditions. Four samplings were conducted in each phenological stages, previously determined. Then, 30 samples were collected in each sampling process for the dry matter (DM) determination for each plant organs through destructive sampling. Then the concentration of nutrients by atomic absorption spectrophotometry was determined. Finally nutrient extraction with MS and the concentration of elements in each tested tissues was calculated. For a yield of 2.91 Mg ha<sup>-1</sup>, with a dry weight of 1938.6 kg ha<sup>-1</sup> grain, fractionation of nutrients presented a total of 221 kg maximum extraction ha<sup>-1</sup> N, 24 kg ha<sup>-1</sup> P, 186 kg ha<sup>-1</sup> K, 163 kg ha<sup>-1</sup> Ca and 29 kg Mg ha<sup>-1</sup>. The results indicate that nutrient removal by the crop follows the following order N> K> Ca> Mg> P, still leaves that has the highest concentration of nutrients, followed by dry grain.

**Keywords:** Absorption of nutrients, phenological stages, dry matter.

## INTRODUCCIÓN

El fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) es un componente básico de la alimentación latinoamericana por su bajo precio y por ser una fuente de proteínas vegetales (Garcés, 2011). En algunos países de Suramérica, particularmente en el Ecuador, es una de las principales leguminosas comestibles cultivadas, ya que contiene un 23% de proteína y 56% de carbohidratos, lípidos, fibra, minerales y vitaminas (Sgarbieri, Antunes & Almeida, 1979), que lo convierten en una alternativa nutricional para el desarrollo fisiológico, cognitivo, intelectual y físico de los consumidores (De Gouveia, Bolívar, López, Salih, & Pérez, 2005).

Según el INEC (2013), en los cinco últimos años en el Ecuador la superficie promedio total cosechada de fréjol, ha sido de 38858 has, entre cultivo solo y asociado; mientras que el rendimiento promedio para fréjol seco ha sido de 0.57 Mg ha<sup>-1</sup> y para legumbre verde de 1.07 Mg ha<sup>-1</sup> (INEC, 2013) que, comparándola con los rendimientos de Colombia y Perú, 1.03 y 1.13 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, representa un rendimiento relativamente menor a los dos países mencionados.

En la última década la superficie cultivada ha tenido un incremento de un 42%, no obstante, pese a esta importancia económica y nutricional, son pocos los trabajos relacionados con la nutrición o fertilización del cultivo, con miras a incrementar su productividad. El conocimiento de la variación de la composición química de la planta durante su ciclo vegetativo constituye un juicio de valor en el esclarecimiento de problemas básicos de nutrición y fertilización. La interacción de los nutrientes en las plantas es probablemente uno de los factores más importantes que afectan a los cultivos (Fageria & Baligar, 1997).

Esta puede ser medida en términos de crecimiento de cultivo y concentración de nutrientes en los diferentes tejidos de la planta (Fageria, 2000; Fageria, Baligar & Clark, 2002) y producción de Materia Seca (Andrade, Silva, Carvalho, Vieira & Alves, 2005), indicaron que las necesidades nutricionales del cultivo, según su etapa fenológica entregan la información básica que permite determinar la dosis y épocas apropiadas para la aplicación de fertilizantes. Para ofrecer al cultivo las condiciones óptimas y obtener rendimientos adecuados es importante conocer el desarrollo del mismo y las etapas de mayor demanda de nutrientes (Fallas, Bertsch, Echandi & Henríquez, 2010).

Al respecto, Haag, Adams & Wiersma (1978), en un experimento en invernadero encontraron que la máxima tasa de absorción de nutrientes del fréjol corresponde a los 50 días después de la siembra para el nitrógeno (N),

potasio (K) y calcio (Ca) y a los 60 días para magnesio (Mg) y azufre (S). La absorción y acumulación de nutrientes por el cultivo de fréjol, permite conocer la cantidad e intensidad de absorción nutrimental durante todo el ciclo vegetativo. A través de los patrones de acumulación y absorción de nutrientes se obtendrá información básica del tiempo más apropiado para la fertilización (Andrade, et al., 2005).

Con el objetivo de caracterizar el patrón de fraccionamiento en la extracción nutricional (N-P-K-Ca-Mg) y relacionarla con el desarrollo fenológico del cultivar fréjol variedad seda, se llevó a cabo este experimento de campo bajo condiciones de invernadero en un Typic Udipsamments (Villaseñor, Chabla & Luna, 2015), en el campus experimental Santa Inés de la Universidad Técnica de Machala (UTMach), Machala-Provincia de El Oro, Ecuador.

## DESARROLLO

El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental del Campus Santa Inés, de la Universidad Técnica de Machala, localizada en el sector El Cambio, provincia de El Oro, Ecuador a 6 msnm. El clima de la zona es megatérmico con períodos lluviosos cortos y parte del año presenta déficit hídrico (Moya, Carvajal & Carvajal, 2005). Tiene un clima cálido-tropical, influenciado por la corriente fría de Humboldt y la presencia de la corriente cálida de El Niño que en ocasiones varía, la temperatura promedio es variable de 22° a 35° C (INAMHI, 2013).

Se sembraron 150 plantas de fréjol variedad seda, en tres repeticiones o bloques, con 50 plantas por bloque. Se siguió un patrón convencional de densidad de siembra de 74074 plantas ha<sup>-1</sup>, espaciadas a 0.45 m entre hileras y 0.3 m entre planta. Las condiciones físico-químicas del suelo fueron evaluadas al inicio del experimento (Tabla 1). La fertilización utilizada fue de 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, 13,7 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 10 kg ha<sup>-1</sup> de MgO y 15 kg ha<sup>-1</sup> de CaO (Vidal, 2007), de acuerdo con las condiciones generales del suelo y un proyecto de rendimiento objetivo de 3000 kg ha<sup>-1</sup>. Adicionalmente, se aplicó una dosis equivalente a 1520 kg ha<sup>-1</sup> de materia orgánica de fuente mineral.

Tabla 1. Características químicas y físicas del suelo.

Parámetros	Valores
Arcilla, %	3.6
Limo, %	40.2
Arena, %	56.2
Clase textural	FAr
Densidad aparente, g cm <sup>-3</sup>	1.59

pH	6.9
Materia orgánica, %	0.71
K intercambiable meq 100 mL <sup>-1</sup>	0.91
Ca intercambiable meq 100 mL <sup>-1</sup>	15.49
Mg intercambiable meq 100 mL <sup>-1</sup>	3.67
P disponible, ug mL <sup>-1</sup>	39
NH <sub>4</sub> disponible, ug mL <sup>-1</sup>	37
K disponible, ug mL <sup>-1</sup>	353
Ca disponible, ug mL <sup>-1</sup>	3097
Mg disponible, ug mL <sup>-1</sup>	446
S disponible, ug mL <sup>-1</sup>	25
Zn disponible, ug mL <sup>-1</sup>	2.2
Cu disponible, ug mL <sup>-1</sup>	4.1
Fe disponible, ug mL <sup>-1</sup>	57
Mn disponible, ug mL <sup>-1</sup>	9
B disponible, ug mL <sup>-1</sup>	0.71

Las evaluaciones se realizaron en 4 diferentes épocas del ciclo de desarrollo del cultivo, inició a los 19 días después de la siembra (dds). En cada evaluación se identificó la etapa fenológica en la que se hallaba la plantación, para lo cual se utilizó el patrón establecido por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 1982) (Tabla 2).

Tabla 2. Etapas fenológicas del cultivo definidas en el ensayo.

Etapa	Período	Descripción	D í a s después de la siembra
Primera	V0 – V4	Germinación – 3ra hoja trifoliada	19
Segunda	R5 – R6	Prefloración – Floración	37
Tercera	R7 – R9	Formación de vainas – Llenado de vainas (grano fresco)	58
Cuarta	R10	Maduración (grano seco)	76

Fuente: Fernández, Gepts & López (1982).

El muestreo consistió en recolectar 10 plantas por bloque en cada etapa fenológica identificadas para el efecto. Posteriormente, cada planta se dividió en raíz, tallo, follaje, flores y vainas, tejidos que fueron secados en estufa a 70°C por 72 horas (Sadzawka, et al., 2007), para después determinar el peso de materia seca (MS) de cada parte. Para estimar la concentración de nutrientes presentes en los tejidos, las muestras de MS se analizaron por espectrofotometría de absorción atómica en el Laboratorio de Suelos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP-E.E. Santa Catalina). Finalmente, la

extracción de nutrientes se obtuvo mediante el producto entre el valor de MS y la concentración de nutrientes en cada tejido evaluado para etapa fenológica y de esta manera generar la tasa de extracción de nutrientes de forma fraccionada en cuatro etapas fenológicas del cultivo.

### Acumulación de materia seca

En la figura 1 se presenta el patrón de acumulación de MS en cada tejido evaluado, por etapa fenológica identificada. El cultivo presenta una etapa de crecimiento vegetativo que se extiende desde la etapa inicial hasta los 76 días, mostró una estabilización en la producción de MS en la etapa final de madurez de vaina, la que se caracterizó por un aumento de su peso desde el final de la tercera etapa, hasta el final del ciclo de desarrollo del cultivo, fase denominada como madurez fisiológica (Fallas, et al., 2010).

En cuanto a la cuantificación de MS de la raíz se considera que, en proporción al trabajo que representa, es una variable que aporta poca información al estudio, ya que el procedimiento de medición, durante el proceso de extracción y durante la remoción del suelo adherida a las mismas a la hora del lavado, permite recomendar para futuros trabajos, la posibilidad de prescindir de este tejido.

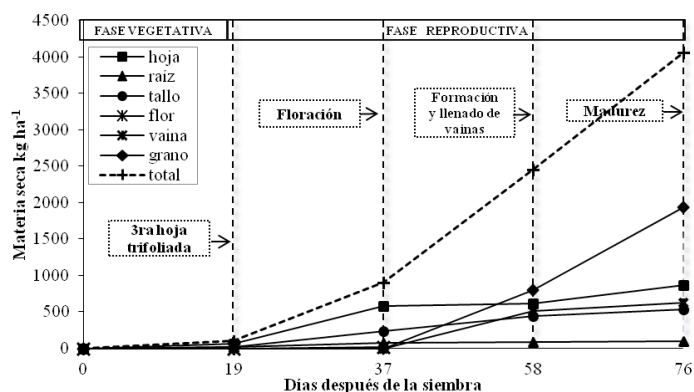


Figura 1. Curva de acumulación de materia seca por etapa fenológica en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

### Fraccionamiento de la extracción de nutrientes por etapa fenológica

#### Nitrógeno

El fréjol es una planta que presenta altas concentraciones de nitrógeno (N) en sus tejidos y granos (Urzúa, 2005). En la figura 2 se observa la extracción de N en el cultivo de fréjol en sus diferentes órganos y momentos del ciclo de desarrollo. Para la primera fase, donde se hacen diferenciables las estructuras vegetativas del fréjol (Fernández, et al., 1982), el N se acumula principalmente en la hoja

(incluidas ramas), lo que explica su capacidad de movilidad dentro de la planta, por su parte la raíz y tallo mantienen niveles semejantes de extracción. El N aumenta de manera significativa a los 37 días del cultivo, y se distribuye en mayor cantidad en la hoja, con  $29.0 \text{ kg ha}^{-1}$ , seguido del tallo, con  $6.1 \text{ kg ha}^{-1}$ .

La etapa reproductiva empieza cuando el 50% del cultivo produce racimos en los nudos inferiores (Fernández, et al., 1982), aproximadamente a los 31 días, por lo que en el segundo muestreo se evaluó la presencia de N en las flores, la cual fue en cantidades mínimas, con  $0.7 \text{ kg ha}^{-1}$ , fue la menor de todos los órganos. Entre los 36 y 37 días después de la siembra comenzó la formación de vainas, analizadas para la tercera fase. El cultivo concentra el elemento en el grano fresco y disminuye para el follaje. La vaina presentó una concentración relevante del nutriente, con  $11.2 \text{ kg ha}^{-1}$ , al contrario del follaje en el que la presencia del elemento es el doble de la vaina.

En la última etapa la acumulación del N continúa creciendo en la planta. Un aumento desmedido se da en el grano seco en el que se evidencia la mayor distribución (Figura 2), de lo que se puede deducir el alto contenido de proteínas en el fréjol y su importancia en la alimentación (Bitocchi, et al., 2012). La concentración final del nutriente disminuye en la hoja, tallo y vaina y tiene un ligero aumento en la raíz, respecto a la etapa anterior. En la Figura 2 se señala la tendencia que mantiene el comportamiento de la extracción de N a lo largo del ciclo de cultivo, responde a una ecuación tipo lineal, con un  $R^2=0.96$  lo que se traduce como correlación positiva muy alta (Pearson, 1897), se deduce así que existe relación entre la cantidad extraída con el tiempo transcurrido.

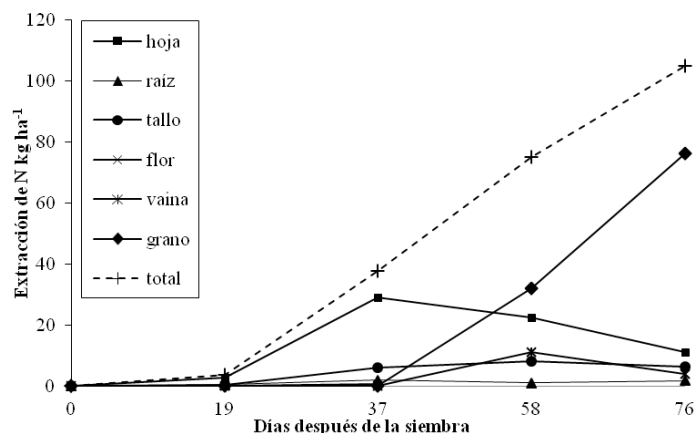


Figura 2. Fraccionamiento de la extracción de N por etapa fenológica del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

## Fósforo

En general, los suelos más utilizados en la producción de fréjol poseen baja disponibilidad de fósforo (P) y una alta capacidad de fijación del nutriente por parte de la planta (Hirzel, 2011). Durante la primera fase la extracción de P por la planta es mínima, expresa cantidades de  $0.2 \text{ kg ha}^{-1}$  para la hoja, y  $0.04 \text{ kg ha}^{-1}$  para raíz y tallo. Transcurridos los 37 días del cultivo, se observa que la concentración de P por tejido incrementa, pero no de manera considerable ya que no sobrepasan ni los  $3 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 3).

La menor distribución de P es en la flor, con  $0.1 \text{ kg ha}^{-1}$ , mientras tanto, la hoja tiene la mayor, con  $1.7 \text{ kg ha}^{-1}$ . El fraccionamiento de la extracción de P obedece a una ecuación de primer grado con un valor de correlación de  $R^2=0.90$ , expresa la relación entre las dos variables. Considerando solo las partes vegetativas de la planta, en la siguiente evaluación, existe una disminución del contenido de P en hoja y raíz y un ligero aumento en el tallo (Figura 3). Los contenidos de P de las partes vegetativas, pasaron a concentrarse especialmente en el futuro órgano de cosecha y su cubrimiento, se aprecian cantidades entre  $4.6 \text{ kg ha}^{-1}$  para grano fresco, y  $1.5 \text{ kg ha}^{-1}$  para vaina. La última fase indica un incremento final del P en la planta que logra los  $13.2 \text{ kg ha}^{-1}$ . El P en la hoja y raíz tiende a subir en la cuarta etapa, son los valores más altos de consumo de todo el ciclo de cultivo. Por su parte, el tallo revela un aumento mínimo y poco significativo, similar al valor de extracción a los 58 días. En el grano seco se da la mayor acumulación del elemento, con  $9.8 \text{ kg ha}^{-1}$ , y el contenido en vaina disminuye, pasa a formar parte posiblemente del grano.

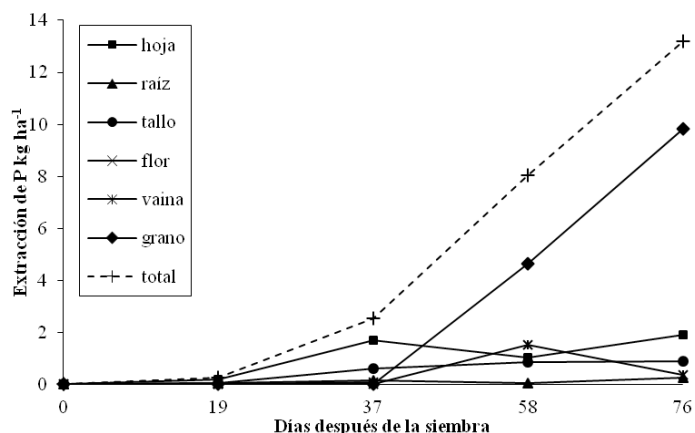


Figura 3. Fraccionamiento de la extracción P por etapa fenológica del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

## Potasio

El potasio (K) en ocasiones se toma más temprano que el N y P y su asimilación se incrementa más rápido que la producción de materia seca (Padilla, 2005). En la primera etapa, el K ocupa espacio principalmente en la hoja, con  $2.5 \text{ kg ha}^{-1}$ , lo que declara su movilidad dentro de la planta (Hirzel, 2011). Sin embargo, la raíz tiene la menor concentración del elemento, el tallo cuenta con un valor intermedio de  $1.1 \text{ kg ha}^{-1}$  de extracción de K. Mientras tanto, para la segunda fase del cultivo, el K continúa ocupando mayor lugar en la hoja (Figura 4).

El sistema radicular se queda con la menor proporción del elemento y el tallo pasa a ocupar el segundo lugar. En este sentido, se observa que en la tendencia de la curva de extracción total de K, es notorio su incremento. La presencia de K en la flor, al igual que en la raíz, es muy baja. El K se acumula temprano en el período de crecimiento y luego es trasladado a otras áreas de la planta (Vargas, 2013).

En el transcurso de la tercera etapa el contenido del nutriente pasó a transportarse desde el follaje hacia el grano y vainas, aunque en mayor proporción en el grano, alcanza el grado máximo de extracción durante esta etapa. Los contenidos de K en hoja y raíz, respecto al ciclo anterior disminuyeron, mientras que para el tallo aumentó. El órgano de cosecha al final es el que logra la máxima extracción de K. La vaina exhibe un bajo aumento de la acumulación del elemento. Se puede indicar, que la extracción de K en el cultivo obedece a una ecuación lineal con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.96$ .

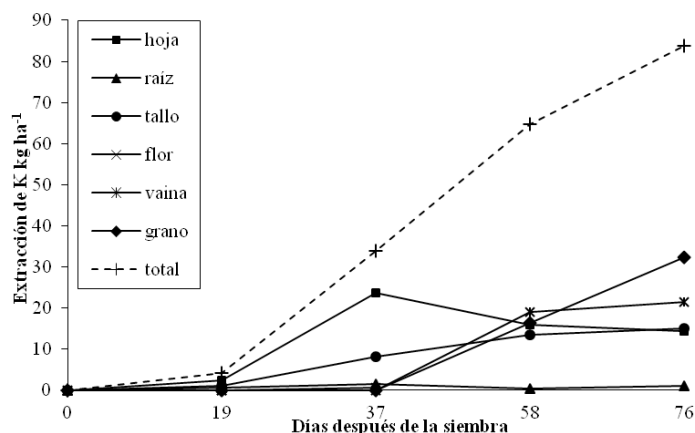


Figura 4. Fraccionamiento de la extracción de K por etapa fenológica del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

## Calcio

Las plantas en general, tienen contenidos variables de calcio (Ca) lo cual depende de sus condiciones de crecimiento, variedad y especie (Padilla, 2005). En la figura 5 se observa que a los 19 días del cultivo, se promueve la mayor distribución de Ca hacia las hojas y una buena cantidad se queda en el sistema radicular, lo que resulta de su inmovilidad dentro de la planta (Hirzel, 2011). En el tallo se concentra una menor cantidad de Ca, con tan solo  $0.3 \text{ kg ha}^{-1}$ . Durante el desarrollo de la fase reproductiva continúa acumulándose mayormente en las hojas, aumenta su contenido, lo que no sucede con las flores que tienen el contenido más bajo de todos los componentes de la planta, una cantidad relativamente grande de calcio está contenida en las hojas (Padilla, 2005).

La presencia de Ca en el tallo y raíz durante la segunda etapa, incrementa en pequeñas proporciones respecto a la fase anterior (Figura 5). La tendencia del Ca en la tercera etapa fenológica es a acumularse principalmente en la hoja, mientras que en la raíz no existe presencia del elemento, presenta el valor más bajo con  $1.5 \text{ kg ha}^{-1}$ . El Ca se concentra más en la vaina que en el grano fresco, extrayendo una cantidad de  $4.1 \text{ kg ha}^{-1}$  frente a  $3 \text{ kg ha}^{-1}$  del grano. Por último, el Ca prefiere acumularse mayormente en la hoja, logra una cantidad considerable de extracción, por debajo se encuentra el tallo que también presenta buen contenido del elemento, con  $11.5 \text{ kg ha}^{-1}$ . La ecuación, como se observa en la figura 5, es de tipo lineal con un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.94$ .

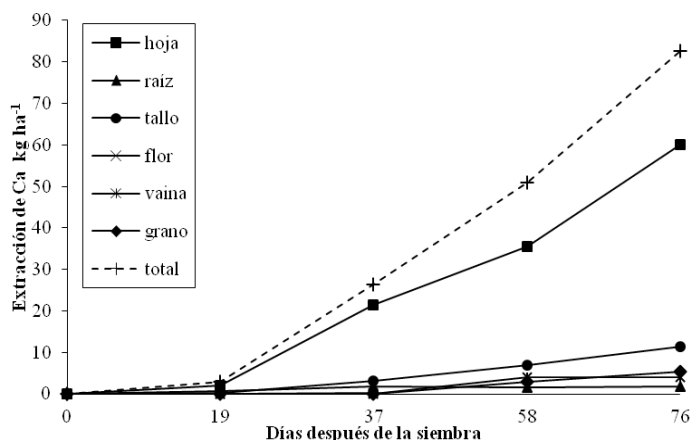


Figura 5. Fraccionamiento de la extracción Ca por etapa fenológica del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

## Magnesio

El contenido de magnesio (Mg) en la planta puede variar si se trata de especies, variedades o etapas fenológicas



(Padilla, 2005). En la primera fase de desarrollo del cultivo no hay mucha dinámica de acumulación de Mg en los tejidos (Figura 6), sin embargo existe mayor extracción en la hoja, con  $0.3 \text{ kg ha}^{-1}$ , seguido de la raíz, con  $0.1 \text{ kg ha}^{-1}$  y el tallo,  $0.04 \text{ kg ha}^{-1}$ . El Mg al ser un elemento muy móvil dentro de la planta (Hirzel, 2011), pasa a distribuirse en mayor cantidad hacia la hoja, quedan proporciones poco expresivas del elemento en los demás tejidos de la planta. A los 58 días del cultivo se observa un ligero incremento del nutriente en la hoja.

El apareamiento y desarrollo de vainas y granos requieren de Mg, en este sentido, se indica que el grano absorbe mayor cantidad que la vaina (Figura 6). A vista general, se contempla que los niveles de Mg en tallo y raíz continúan siendo relativamente bajos, los cuales no llegan ni a  $1 \text{ kg ha}^{-1}$ .

En la fase final la dinámica de extracción de Mg en la hoja experimenta un leve aumento, los valores foliares de Mg incrementan ligeramente con la edad (Parker, 1999), se verifican aumentos mínimos de extracción durante el desarrollo del cultivo. El grano seco y vaina terminan acumulando mayor cantidad del elemento. La ecuación que corresponde a la extracción de Mg en la planta es de tipo lineal, con un coeficiente de correlación de  $R^2=0.94$ .

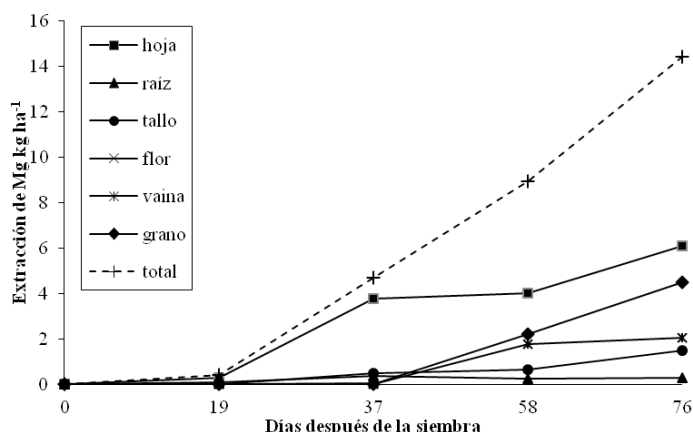


Figura 6. Fraccionamiento de la extracción de Mg por etapa fenológica del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

### Consumo total de nutrientes en la planta

El fréjol es una planta que presenta extracciones moderadas de nutrientes en relación con otros cultivos. Sin

embargo, cuando algún nutriente se encuentra deficiente, esta carencia se expresa en un menor crecimiento o posible muerte de los tejidos de la planta (Hirzel, 2011). A vista general, como se observa en la figura 7, el fréjol extrae en mayores cantidades N,  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{CaO}$ , definidos en ese orden, y en menores proporciones se presenta la extracción de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{MgO}$ , lo que coincide con el estudio realizado por Arias, Rengifo & Jaramillo (2007), que indica que el fréjol extrae cantidades altas de N, K y Ca y en menor cantidad S, Mg y P.

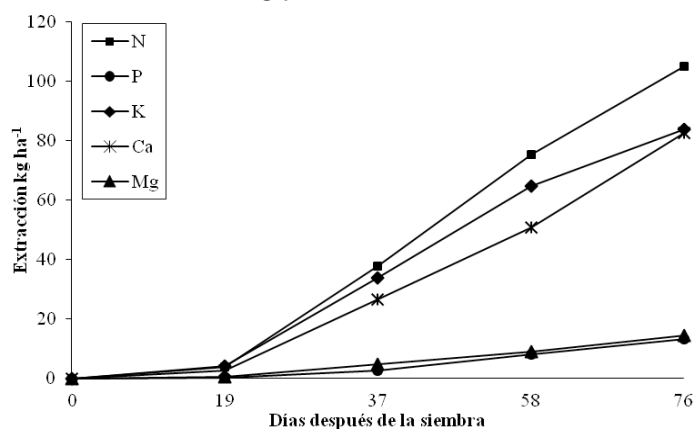


Figura 7. Fraccionamiento de la extracción total de nutrientes en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.), por etapa fenológica.

Generalmente se indica que la extracción de todos los nutrientes mantiene un continuo crecimiento y el incremento empieza a partir de los 19 días (3ra hoja trifoliada), etapa en la cual se hacen diferenciables las estructuras vegetativas como tallo, ramas y otras hojas trifoliadas (Fernández, et al., 1982; Haag, et al., 1967), en un experimento en invernadero manifiestan que la máxima tasa de extracción de nutrientes en el fréjol corresponde a los 50 días después de la siembra para el N, K y Ca, y a los 60 días para Mg y S.

En el presente ensayo se logró determinar que la máxima extracción de los elementos sucedió al final del ciclo fenológico del cultivo, aproximadamente entre los 65 y 80 días, se ubica en primer orden el N, seguido por el K y Ca, en cantidades casi semejantes y por último el Mg y P. El P es sin duda el nutriente menos absorbido por el fréjol (Tabla 4), lo que refleja su baja distribución en los órganos de la planta, no llega a alcanzar ni los  $15 \text{ kg ha}^{-1}$ , durante la fase final, en contraste con el N que sobrepasa los  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Tabla 4. Extracción de nutrientes en el cultivo de fréjol para alcanzar un rendimiento de 2.90 Mg ha<sup>-1</sup>.

Nut.	Etapas fenológicas (kg ha <sup>-1</sup> )				Total (kg ha <sup>-1</sup> )	Ecuación de extracción	Coeficiente de determinación
	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta			
N	3.8	37.8	75.6	105.0	221.8	y= 28.145x - 40-083	R2=0.96
P	0.3	2.5	8.0	13.2	24.0	y= 3.4206x - 5.4546	R2=0.90
K	4.1	33.9	64.6	83.8	186.5	y= 22.818x - 31.156	R2=0.96
Ca	2.8	26.5	50.9	82.6	162.8	y= 21.325x - 31.424	R2=0.94
Mg	0.4	4.7	8.9	14.5	28.5	y= 3.742x - 5.5218	R2=0.94

Como se demuestra en la tabla 4, la mayor cantidad extraída de nutrientes en el cultivo de fréjol es para el N, seguido del K y el Ca, para los tres casos es en la última fase del cultivo donde ocurre la mayor acumulación de los elementos. Muy por debajo se encuentran el Mg y el P con cantidades inferiores de extracción, indica que la planta probablemente no necesita grandes cantidades estos nutrientes para su desarrollo.

## CONCLUSIONES

La acumulación de la materia seca en fréjol, indica su dinámica de distribución en cada órgano de la planta, lo cual permitió conocer que la producción de MS mantiene un continuo incremento hasta conseguir los valores máximos de acumulación de biomasa en su etapa final, es mayor para la parte aérea de la planta y se encuentra una alta partición de biomasa hacia el grano en la etapa final.

La extracción de nutrientes en fréjol señala las diferencias que existen en cuanto a la acumulación de elemento en cada órgano de la planta, a lo largo del ciclo de cultivo la hoja extrae el mayor contenido de nutrientes, seguido del grano en el período productivo y quedan las menores cantidades en el sistema radicular.

El orden de extracción de los nutrientes en el cultivo de fréjol es de N>K>Ca>Mg>P. El nutriente más extraído por el cultivo es el N, mientras el de menor proporción es el P. La extracción de elementos alcanza su punto máximo en la etapa final, entre los 65 y 80 días.

Para alcanzar un rendimiento de 2.90 Mg ha<sup>-1</sup> durante todo su ciclo fenológico requiere de las siguientes aportaciones de nutrientes: 221 kg ha<sup>-1</sup> N, 24 kg ha<sup>-1</sup> P, 186 kg ha<sup>-1</sup> K, 163 kg ha<sup>-1</sup> Ca y 29 kg ha<sup>-1</sup> Mg.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, M., Silva, V., Carvalho, J., Vieira, N., & Alves, J. (2005). Pattern of nutrients absorption by common bean cv. BRS MG Talisma. Annual report of the Bean Improvement Cooperative, 48, pp. 162-163. Recuperado de [http://s3.amazonaws.com/zanran\\_storage/www.css.msu.edu/ContentPages/50432410.pdf](http://s3.amazonaws.com/zanran_storage/www.css.msu.edu/ContentPages/50432410.pdf)

Arias, J., Rengifo, T., & Jaramillo, M. (2007). Buenas prácticas agrícolas en la producción de frijol voluble. Informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Medellín: CTP Print Ltda. Recuperado de <http://www.fao.org/manualfrijol.pdf>

Bitocchi, E., et al. (2012). Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 109(14), pp. 788-796. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pub-med/22393017>

De Gouveia, M., Bolívar, Á., López, M., Salih, A., & Pérez, H. (2005). Participación de agricultores en la selección de materiales genéticos de frijol (*Vigna unguiculata*) evaluados en suelos ácidos de la Parroquia Espino, estado Guárico. Cuadernos de Desarrollo Rural, 54(1), pp. 113-129. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/117/11705406.pdf>

Fageria, K. (2000). Resposta de arroz de terras altas à correção de acidez em solo de cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 35(11), pp. 2303-2307. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/pab/v35n11/a24v3511.pdf>

Fageria, K., & Baligar C. (1997). Response of common bean, upland rice, corn, wheat and soybean to fertility of an Oxisol. Journal of Plant Nutrition, 20, pp. 1279-1289. Recuperado de <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904169709365335>

Fageria, K., Baligar, C., & Clark, B. (2002). Micronutrients in crop production. Advances in Agronomy, 77, pp. 189-272. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/221995345\\_Micronutrients\\_in\\_Crop\\_Production](https://www.researchgate.net/publication/221995345_Micronutrients_in_Crop_Production)

- Fallas, R., Bertsch, F., Echandi, C., & Henríquez, C. (2010). Caracterización del desarrollo y absorción de nutrientes del híbrido de maíz HC-57. *Agronomía Costarricense*, 35(2), pp. 33-47. Recuperado de [http://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v35n02\\_033.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_agr/v35n02_033.pdf)
- Fernández, F., Gepts, P., & López, M. (1982). Etapas de desarrollo de la planta de frijol común. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical. Recuperado de [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/ciat\\_digital/CIAT/28093.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/ciat_digital/CIAT/28093.pdf)
- Garcés, R. (2011). Modelo de ponto crítico para estimar danos causados pela mela na cultura do feijoeiro. *Revista Ciencia y Tecnología*, 4(1), pp. 1-4. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4130658.pdf>
- Haag, W.L., Adams, M.W., & Wiersma, J.V. (1978). Differential responses of dry bean *genotypes to n and P fertilization of a central american soil*. Recuperado de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302440886>
- Hirzel, J. (2011). Fertilización de Cultivos en Chile. Chillán: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Moya, R., Carvajal, G., & Carvajal, M. (2005). Balance hídrico de varias localidades ecuatorianas. Quito: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Recuperado de [http://www.cridlac.org/cd/CD\\_BivaPaD/pdf/doc591/doc591.htm](http://www.cridlac.org/cd/CD_BivaPaD/pdf/doc591/doc591.htm)
- Padilla, W. (2005). Suelos. Quito: Grupo Clínica agrícola.
- Parker, D. (1999). Advances in solution culture methods for plant mineral nutrient research. *Advances in Agronomy*, 65, pp. 151-313.
- República del Ecuador. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2013). Informe de encuesta de superficie y producción agropecuaria continua. Recuperado de [http://200.110.88.41/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac%202013/Informe-jecutivoESPAC2013.pdf](http://200.110.88.41/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac%202013/Informe-jecutivoESPAC2013.pdf)
- República del Ecuador. Sistema Nacional de Información. (2013). Frejol tierno y seco. Boletín situacional del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Ecuador.
- Sadzawka, A., et al. (2007). Métodos de análisis de tejidos vegetales. Santiago de Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Sgarbieri, C., Antunes, L., & Almeida, D. (1979). Nutritional evaluation of four varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Journal of Food Science*, 44(5), pp.1306-1308. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/230192642\\_Nutritional\\_evaluation\\_of\\_four\\_varieties\\_of\\_dry\\_beans\\_Phaseolus\\_vulgaris\\_L](https://www.researchgate.net/publication/230192642_Nutritional_evaluation_of_four_varieties_of_dry_beans_Phaseolus_vulgaris_L)
- Urzúa, H. (2005). Beneficios de la fijación simbiótica de nitrógeno en Chile. *Ciencia E Investigación Agraria*, 32(2), pp. 133-150. Recuperado de <http://www.rcia.uc.cl/index.php/rcia/article/view/313/239+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>
- Vidal, I. (2007). Fertilización Cultivos y Frutales. Chillán: Trama Impresores.
- Villaseñor, D., Chabla, J., Luna, E. (2015). Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la Provincia de El Oro. *Revista Científica Cumbres*, 1(2), pp. 28-34. Recuperado de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/5121>