



EL ANALISIS FOLIAR: UN PODEROSA HERRAMIENTA PARA DIAGNOSTICAR EL ESTADO NUTRICIONAL DE LOS CULTIVOS, PASTURAS Y PLANTACIONES

N.W. Osorio

Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Profesor Asociado de la Universidad Nacional de Colombia
Calle 59A No. 63-20, Of. 14-216, Código Postal 050034, Medellín, Colombia (e-mail: nwsosorio@unal.edu.co)

RESUMEN. EL propósito de este documento es discutir sobre la importancia del análisis foliar como herramienta para diagnosticar el estado nutricional de las plantas cultivadas. A pesar de su importancia y amplio uso en otros países, en muchos cultivos tecnificados de Colombia no se emplea en análisis foliar. En principio existe mucha incertidumbre sobre el tipo de hoja que se debe muestrear y, luego, lo mismo se repite frente a la interpretación de los resultados y las decisiones que se pueden tomar. Por lo anterior, se darán algunas recomendaciones sobre como tomar la muestra foliar adecuada y se darán guías sobre cómo interpretar los resultados. **Palabras claves:** muestreo de hojas, nutrientes, fertilización.

FOLIAR ANALYSIS: A POWERFULL TOOL FOR DIAGNOSING NUTRITIONAL STATUS OF CROPS, PASTURES AND FORESTRY PLANTATIONS

ABSTRACT. The objective of this document it is to discuss about the importance of foliar analysis to diagnose the nutritional status of cultivated plants. Despite the wide use of foliar analysis in other countries, in Colombia little is used in crops. In general, there is a high level of uncertainty about what is the leaf to collect for further analysis. Also, the same happens on the interpretation of the foliar analysis and what decisions can be made. For these reasons, in this document there are some instructions about the leaf sampling procedure and the way the interpretation of the results. **Keywords:** leaf sampling, nutrients, fertilization.

INTRODUCCIÓN

Es posible diagnosticar el estado nutricional de una planta a través de la medición de la concentración de los diferentes nutrientes en sus hojas. Esta herramienta permite hacer monitoreos no-destructivos de la planta y determinar la concentración de nutrientes en hojas o porciones de éstas. Las hojas o porciones de hojas que se muestrean normalmente están ubicadas en el tercio superior de la planta o de una rama productiva. Las hojas deben ser jóvenes pero completamente desarrolladas, libres de plagas y enfermedades y sin residuos de pesticidas o fertilizantes foliares.

Existe una relación muy estrecha entre la concentración de nutrientes en el tejido vegetal y el crecimiento o rendimiento de las plantas cultivadas (Fig. 1). Se pueden detectar con diferentes rangos de concentración situaciones en las plantas: deficiencia, suficiencia, consumo de lujo y toxicidad. Dentro del rango de deficiencia se puede tener dos situaciones: (i) deficiencia severa en la que se manifiestan síntomas visuales (clorosis, malformación de hojas, caída de flores, entre otras) y (ii) deficiencia moderada en la que no son visibles los síntomas y por eso se llama "hambre escondida". Por otro lado, el intervalo de la suficiencia puede ser relativamente amplio para los

macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) o muy estrecho para los micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn, B). Con los macronutrientes una vez se alcanza el máximo crecimiento o rendimiento, no se detectan más incrementos a pesar del aumento en la concentración de un nutriente dado. Algunos autores llaman a esta condición "consumo de lujo". El aumento innecesario de la concentración de nutrientes en las hojas sin un beneficio en el crecimiento vegetal o sobre el rendimiento del cultivo reduce la relación costo: beneficio de la fertilización. Por tal razón, se ha establecido el concepto del "nivel crítico", el cual indica la concentración foliar que permite obtener un rendimiento relativamente alto, dentro del rango de la suficiencia (80-95%). Por debajo de este nivel se tiene el rango de deficiencia y se requiere adicionar el nutrientes(s) que sea(n) deficiente(s) vía fertilización. Por encima del nivel crítico la cantidad a aplicar es muy baja o nula, pues la probabilidad de respuesta a la aplicación es muy baja.

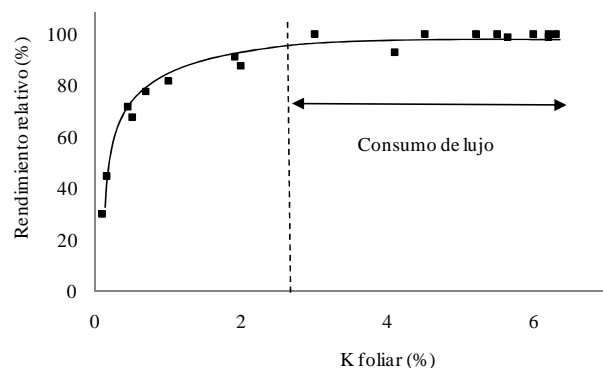


Fig. 1. Relación entre el rendimiento relativo de maíz y la concentración de K foliar. Suelo: Andisol del Oriente Antioqueño. Concentraciones foliares >2.5% corresponden al consumo de lujo. Ensayo de invernadero. Fuente: N.W. Osorio.

La curva presentada es conocida como de "crecimiento decreciente", debido a que la adición de una cantidad del nutriente provoca incrementos cada vez más pequeños. Por lo anterior, alcanzar el máximo rendimiento (100%) se logra con concentraciones altas de los nutrientes para lo cual se requiere aplicar cantidades muy altas de fertilizantes. Esto hace que la relación entre el costo de dicha aplicación y el beneficio derivado de ésta sea baja.

Por otro lado, los excesos de algunos elementos pueden generar desbalance nutricional en la planta (p.e., un exceso de fosfato puede inducir deficiencia de zinc). En consecuencia, el crecimiento, rendimiento o la calidad del producto decrece.

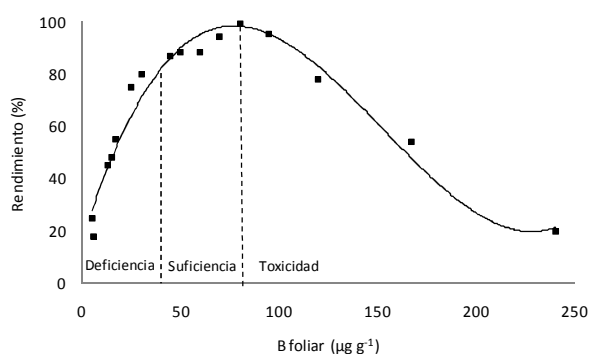


Fig.2. Relación entre rendimiento relativo de masa seca de plántulas de leucaena y la concentración foliar de B. Note que la deficiencia ocurre a $>45 \mu g^{-1}$ (ppm), la suficiencia entre $45-90 \mu g^{-1}$ y la toxicidad $>90 \mu g^{-1}$.

El análisis foliar debe ser calibrado a través de experimentos con curvas de respuesta como la mencionada. La concentración de nutrientes varía entre las hojas; algunos elementos tienden a moverse más fácilmente a los sitios de crecimiento (N, P, K, Mg), mientras que otros tienen una movilidad restringida y su transporte a las hojas jóvenes es muy limitado (Ca, Fe, Mn, Cu, Zn). En el caso del S la movilidad es intermedia. El B tiene movilidad restringida en la mayoría de los casos, pero puede comportarse como de alta movilidad en el caso de que haya una intensa corriente de transpiración. Por lo anterior es necesario saber cual hoja es la que se debe tomar, para algunos cultivos se ilustra en la tabla 1.

MUESTREO

La época de muestreo debe ser claramente definida, pues la planta tiene cambios fenológicos que provocan que los nutrientes se movilicen dentro de la planta. Por ejemplo, en la floración y particularmente en la formación de frutos o en el llenado de granos, los nutrientes se mueven desde las hojas viejas hacia estos tejidos en formación. Normalmente, el muestreo foliar se hace previo a la floración, pero esto debe ser claramente establecido.



Fig. 3. En café se recomienda tomar la 4ª hoja, contando desde el ápice de la rama a partir de la hoja 1ª hoja madura.



Fig. 4. En crisantemo e recomienda tomar la 5ª hoja, contando desde el ápice del tallo y a partir de la hoja 1ª hoja madura.

Las muestras foliares deben corresponder a hojas sanas, sin ataques de insectos o patógenos (bacterias, hongos, virus), ni toxicidades visibles, a no ser que esto quiera ser diagnosticado. Las muestras deben ser remojadas en agua para remover excesos de polvo o pesticidas.

Se deben coleccionar entre 30-50 hojas al azar en diferentes sitios del lote de producción a muestrear. El recorrido se puede hacer en zig-zag. Se debe procurar tomar muestras de lotes homogéneas en cuanto a tipo de suelo, manejo agronómico, y en la medida de lo posible de una sola variedad del cultivo. Si esto último no es posible, por ejemplo en el caso de los cultivos de crisantemo, se puede tomar una muestra compuesta de las diferentes variedades o escoger alguna variedad que sea más abundante o más representativa del cultivo.



Fig. 4. Las muestras foliares se coleccionan en diferentes sitios del lote de producción. El recorrido en el terreno se hace al azar, en cada sitio se colecciona una hoja, tal como se ilustra en este cultivo de flores en Rionegro.

Las hojas coleccionadas se empaquetan en bolsas plásticas; se pueden almacenar en la nevera a $4^{\circ}C$ por un día, pero es preferible llevarlas al laboratorio lo más pronto posible. Por supuesto, es necesario asegurarse de que la bolsa este completamente limpia. No use bolsas que hayan sido usadas previamente para empaquetar fertilizantes, cal, etc. Esto último

puede ser una fuente de contaminación muy grande y se debe evitar.

Una vez que la muestra foliar llega al laboratorio se registra (nombre del usuario, cultivo, ubicación, fertilización, etc.) y luego se seca 45-50°C por 2-3 días o hasta que alcance un peso constante. Luego la muestra se pasa por un molino para obtener partículas < 500 µm. Porciones del material molido se someten a combustión húmeda (HCl, HNO₃) o seca (mufla a 500°C por 5 horas). Posteriormente, se emplean métodos analíticos (absorción atómica, colorimetría) para determinar la cantidad de los elementos presentes en las muestras. La concentración de los macronutrientes en el tejido vegetal se expresa en términos porcentuales (%) ó en g/kg; la de los micronutrientes se expresa en partes por millón (ppm) o en µg/g.



INTERPRETACIÓN

Los resultados de un análisis foliar se deben interpretar con guías que indican si el contenido del nutriente es bajo (deficiente), medio (suficiente), alto (consumo de lujo), excesivo (desbalance nutricional o toxicidad). Para utilizar estas guías es necesario tener la certeza que la muestra de hojas tomada corresponde a la misma con la que se hizo la guía.

Una vez que se haya identificado que un nutriente está en una concentración muy baja se debe programar la aplicación de fertilizante vía foliar y/o a través del suelo. En caso de que el nutriente este en exceso se debe revisar el programa de fertilización y hacer los ajustes necesarios.

Se debe tener en cuenta que las guías de interpretación de análisis foliares han sido formuladas a nivel de especie. Por tanto, algunas variedades dentro de la especie más exigentes que otras pueden requerir ajustes dentro de los rangos de interpretación. Resulta imposible tener rangos para cada variedad, por tanto, los rangos que han sido propuestos deben ser utilizados con un criterio profesional amplio y responsable.

En el caso de las pasturas, los muestreos del forraje se hacen justo antes de que entre los animales al potrero, se debe tratar de coleccionar el forraje que toma ganado al alimentarse o simular el corte. En este caso el análisis foliar no sólo sirve para evaluar el estado nutricional del pasto, sino también para conocer la oferta de nutrientes del forraje al animal y así balancear la dieta del animal.

Cuando no se conoce cuál es el nivel crítico o el rango adecuado de un nutriente para un cultivo particular ha resultado de mucho valor hacer análisis comparativos entre plantas que exhiben problemas de crecimiento con plantas de buen crecimiento o productividad. Este tipo de comparación puede revelar si existe una diferencia notoria entre el contenido de nutrientes de las plantas sanas y afectadas. De esta manera el interesado puede tener un elemento de diagnóstico adicional al análisis del suelo y a la historia de manejo del suelo y el cultivo, lo que le permitirá conocer el origen del problema y tomar decisiones para manejarlo.

REFERENCIAS

- AZCÓN-BIETO J, TALÓN M (2000) Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill, Madrid.
- BARBER SA (1995) Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach. John Wiley and Sons, New York.
- BENTON J, WOLF B, MILLS H (1991) Plant analysis handbook. Micro-Macro Publishing, Athens, GA.
- BRADY NC, WEIL RR (1999) The nature and properties of soils. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- BROWN PH, WELCH RM, CARY EE (1987) Nickel: a micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiology* 85:801-803.
- EPSTEIN E (1972) Mineral Nutrition of Plants: principles and perspectives. John Wiley, New York.
- GLASS ADM (1989) Plant Nutrition. An introduction to current concepts. Jones and Bartlett Publishers, Boston.
- HAVLIN JJ, Beaton SL, Tisdale S, Nelson W (1999) Soil Fertility and Fertilizers. An introduction to nutrient management. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.
- HOAGLAND DR (1948) Lectures on the inorganic nutrition of plants. Chronica Botanica Company, Waltham, Mass., USA.
- KOCHIAN LV (1991) Mechanisms of micronutrient uptake and translocation in plants, 229-296 pp. In: Morvedt JJ et al.(ed) Micronutrients in agriculture, Soil Science Soc. Amer., Madison, WI, USA.
- MALAVOLTA E (1994) Diagnóstico foliar En: Silva F (ed.) Fertilidad de Suelos. Diagnóstico y Control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, 57-98 pp.
- MARSCHNER H (1997) Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London.
- NYE PH, TINKER PB (1982) Solute movements in the rhizosphere. Oxford University Press, New York.
- SALISBURY F B, ROSS CW (1994) Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica, México.
- SEPÚLVEDA, Y (2009) Efecto de la iluminación y la fertilización sobre el desarrollo inicial de *Quercus humboldtii* bonpl. en vivero y campo. Tesis M.Sc., Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- TORO LF (1994) Evaluación de los mecanismos que suplen nutrientes a la raíz del rosal bajo condiciones de invernadero. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- ZAPATA R (1993) Un modelo de fertilización para crisantemo con base a la movilidad iónica y al uso consuntivo. En: Memorias del I Simposio Nacional del Crisantemo. Asocoflores. Rionegro, 13-25 pp.
- ZAPATA R (1994) Uso de la termodinámica y la cinética para evaluar la fertilidad del suelo. In: Silva F (ed.) Fertilidad de Suelos. Diagnóstico y Control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, 99-112 pp.

Tabla 1. Concentración foliar adecuada de nutrientes para diferentes cultivos tropicales. Fuente: ¹ Malavolta, (1994); ² Soil & Plant Laboratory, CA, USA; ³ Department of Tropical Plant and Soil Sciences, U. Hawai'i, HI, USA. ⁴ Laboratorio Dr. Calderón.

| Cultivo | N | P | K | Ca | Mg | S | B | Cu | Fe | Mn | Mo | Zn | Hoja y época |
|-----------------------------|---------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|-------|---------|----------|------------------------|---------|---|
| | % | | | | | | µg g ⁻¹ (ppm) | | | | | | |
| Arroz ¹ | 2.5-3.0 | 0.25-0.4 | 2.5-3.5 | 0.75-1.0 | 0.5-7 | 0.15-0.2 | 40-70 | 10-20 | 200-300 | 100-150 | - | 25-35 | Hoja más nueva en la mitad del macollamiento |
| Maíz ¹ | 2.8-3.3 | 0.25-0.35 | 1.8-2.3 | 0.25-0.4 | 2.5-4 | 0.15-0.2 | 15-20 | 6-20 | 50-250 | 50-150 | 0.1-0.2 | 15-50 | Debajo de mazorca cuando aparecen las barbas |
| Trigo ¹ | 3.0-3.3 | 0.2-0.3 | 2.3-2.5 | 0.1-0.14 | 3-4 | 0.2-0.4 | 20-50 | 9-18 | - | 16-28 | 0.1-0.5 | 20-40 | 4ª hoja desde la punta al inicio floración |
| Eucalipto ¹ | 1.4-1.6 | 0.1-0.12 | 1.0-1.2 | 0.8-1.2 | 4-5 | 0.15-0.2 | 40-50 | 8-10 | 150-200 | 300-600 | 0.5-1.0 | 40-60 | Hoja recién madura de ramas primarias |
| Pino ¹ | 1.2-1.3 | 0.14-0.16 | 1.0-1.1 | 0.3-0.5 | 1.5-2 | 0.14-0.16 | 20-30 | 5-8 | 50-100 | 200-300 | 0.1-0.3 | 20-40 | Hoja recién madura de ramas primarias |
| Cacao ¹ | 1.9-2.3 | 0.15-0.18 | 1.7-3.0 | 0.9-1.2 | 4-7 | 0.17-0.2 | 30-40 | 10-15 | 150-200 | 150-200 | 0.5-1.0 | 50-70 | 3ª hoja desde la punta |
| Algodón ¹ | 3.5-4.0 | 0.2-0.25 | 1.4-1.6 | 0.3-0.4 | 4-5 | 0.2-0.3 | 20-30 | 30-40 | 60-80 | 20-40 | 1.0-2.0 | 10-15 | Lamina de hojas en la axila de la manzana/ inicio floración |
| Piña ¹ | 2.0-2.2 | 0.21-0.23 | 2.5-2.7 | 0.3-0.4 | 4-5 | 0.2-0.3 | 30-40 | 9-12 | 100-200 | 50-200 | - | 10-15 | Hoja joven recién madura |
| Frijol | 3.0-5.0 | 0.2-0.3 | 2.0-2.5 | 0.15-0.2 | 4-7 | 0.5-1.0 | 30-60 | 10-20 | 100-450 | 30-300 | 0.5-1.0 | 20-100 | 1ª hoja madura desde la punta de ramas/ inicio floración |
| Soya ¹ | 4.0-5.0 | 0.25-0.5 | 1.7-2.5 | 0.4-2.0 | 3-10 | 0.25-0.5 | 21-55 | 10-30 | 50-350 | 20-100 | 1-5 | 20-50 | 1ª hoja madura desde la punta de ramas al inicio floración |
| Papa ¹ | 3.0-4.5 | 0.35-0.5 | 3.5-5.0 | 1.0-2.0 | 5-7.5 | 0.25-0.5 | 20-50 | - | 70-150 | 40-300 | 0.1-1.5 | 15-30 | Pecíolo de 4ª hoja desde la punta/ 35-45 días después de emergencia |
| Caña de azúcar ¹ | 1.9-2.2 | 0.18-0.24 | 1.1-1.5 | 0.5-1.0 | 2-3 | 0.2-0.3 | 15-50 | 8-10 | 80-500 | 50-250 | 0.1-0.3 | 25-50 | Hoja tercio medio a los 4 meses después de brotación |
| Yuca ¹ | 5.1-5.8 | 0.3-0.5 | 1.3-2.0 | 0.75-0.85 | 2.9-3.5 | 0.26-0.3 | 30-60 | 6-10 | 120-140 | 50-120 | 1.0-3.0 | 30-60 | 1ª hoja recién madura a los 3-4 meses de edad |
| Banano ¹ | 2.7-3.6 | 0.16-0.27 | 3.2-5.4 | 0.6-1.2 | 2.7-6 | 0.16-0.3 | 10-25 | 6-30 | 80-360 | 200-1800 | 1.5-3.0 | 20-50 | 3ª hoja desde la punta, lamina central cerca de nervadura cuando las primeras manos son visibles |
| Palma africana ¹ | 2.5-30 | 0.15-0.21 | 1.0-1.5 | 0.5-0.7 | 2.4-3 | 0.2-0.23 | 25-30 | 10-35 | - | 150-200 | 0.5-1.0 | 15-20 | Folículos medianos de hoja 17 Al inicio de la estación seca |
| Tomate ³ | 2.6-4.0 | 0.25-0.5 | 15-30 | 0.3-0.8 | 0.3-0.8 | 0.16-0.5 | 10-25 | 6-20 | 50-250 | 35-200 | 0.3-0.5 ¹ | 35-100 | |
| Repollo ³ | 3.5-4.0 | 0.4-0.6 | 4.5-7.5 | 0.20-0.30 | 0.3-0.7 | 0.5-0.1 | 60-100 | 5-25 | 50-200 | 25-200 | - | 20-200 | |
| Lechuga ³ | 3.5-4.0 | 0.4-0.6 | 4.5-7.5 | 0.20-0.25 | 0.3-0.7 | 0.5-0.1 | 60-100 | 5-25 | 50-200 | 25-200 | 0.08-0.14 ¹ | 20-200 | |
| Clavel ² | 3.3-4.8 | 0.2-0.4 | 2.5-3.5 | 1.0-2.0 | 0.22-0.4 | - | 30-100 | 4-20 | 50-150 | 40-300 | 1-5 | 25-75 | 4ª-5ª hoja debajo de la punta sobre la cual no hay botón floral visible |
| Crisantemo ² | 4.5-5.5 | 0.3-0.6 | 4.0-6.5 | 1.0-2.0 | 0.3-0.6 | 0.3-0.7 | 35-80 | 8-20 | 100-500 | 80-300 | 200-250 | 20-80 | 4ª -5ª hoja completamente expandida debajo de la punta / Quinta semana de crecimiento |
| Solidaster ² | 3.5-4.5 | 0.3-0.5 | 4.0-6.0 | 1.0-2.0 | 0.25-0.45 | - | 30-60 | 10-20 | 100-200 | 80-150 | - | 30-50 | Hojas maduras jóvenes completamente extendidas |
| Gérbera ² | 3.0-4.0 | 0.2-0.3 | 2.2-3.2 | 1.0-1.4 | 0.17-0.25 | - | 30-50 | 3-7 | 100-250 | 75-375 | - | 10-50 | Hojas maduras jóvenes completamente extendidas |
| Bouvardia ² | 4.0-5.0 | 0.35-0.7 | 2.0-3.0 | 2.0-2.5 | 0.4-0.6 | - | 30-70 | 10-30 | 100-200 | 700-1100 | - | 30-100 | Hojas maduras del tallo vegetativo |
| Alstroemeria ² | 3.8-5.6 | 0.3-0.7 | 3.5-5.0 | 1.0-2.0 | 0.3-0.6 | - | 13-75 | 5-20 | 100-300 | 50-90 | - | 35-85 | Hojas de la mitad del tallo que no muestren botones florales |
| Rosa ² | 2.8-4.4 | 0.2-0.3 | 1.8-2.6 | 0.8-1.5 | 0.2-0.35 | 0.16-0.21 | 30-60 | 5-15 | 75-150 | 30-250 | - | 15-50 | Hojas de la parte superior del tallo-rama con botones florales que justo empiecen a mostrar color |
| Statice anual ² | 3.5-6.0 | 0.3-0.7 | 3.5-5.0 | 0.8-1.5 | 0.7-0.18 | | 30-80 | 10-30 | 100-400 | 100-500 | - | 100-200 | Hojas maduras jóvenes completamente extendidas |
| Hortensia ⁴ | 3.0-5.5 | 0.24-0.7 | 2.2-5.0 | 0.6-1.8 | 0.22-0.5 | 0.2-0.7 | 20-50 | 6-30 | 50-300 | 50-300 | | 20-150 | |
| Callas ⁴ | 2.7-4.0 | 0.2-0.5 | 3.5-4.5 | 0.6-1.8 | 0.2-0.45 | 0.2-0.6 | 20-50 | 6-24 | 50-300 | 50-300 | | 20-100 | |
| Café ³ | 2.5-2.8 | 0.2-0.4 | 3.0-3.5 | 1.0-2.0 | 0.4-0.12 | 0.3-0.8 | 20-50 | 4-10 | 25-100 | 20-150 | 0.1-0.15 ¹ | 15-40 | 4º par de hojas en ramas productivas, ramas productivas a media altura |
| Papaya ³ | 2.6-4.0 | 0.2-0.4 | 3.0-5.0 | 0.4-0.8 | 0.25-0.8 | 0.2-0.8 | 10-50 | 6-25 | 80-200 | 200-1000 | - | 2-200 | |
| Macadamia ³ | 1.5-2.5 | 0.07-0.1 | 0.5-1.5 | 0.5-1.0 | 0.08-0.15 | 0.15-0.3 | 40-80 | 5-10 | 30-300 | 30-1000 | - | 15-50 | Hojas jóvenes completamente maduras |
| Pepino ³ | 3.0-4.5 | 0.25-0.7 | 3.0-5.0 | 0.20-0.30 | 0.4-0.6 | 4-12 | 25-100 | 5-20 | 100-200 | 40-250 | - | 20-50 | |
| Pasto kikuyo ³ | 2.5-4.0 | 0.4-0.6 | 4.0-5.0 | 0.15-0.23 | 0.3-0.5 | 0.25-0.5 | 23-50 | 7-25 | 50-200 | 25-150 | 0.1-1.0 ¹ | 25-150 | Toda la parte aérea simulando altura de corte |
| Pasto bermuda ³ | 2.5-3.0 | 0.2-0.3 | 2.0-3.0 | 0.25-0.4 | 0.25-0.4 | 0.2-0.3 | 10-25 | 10-25 | 75-300 | 50-300 | 0.1-1.0 ¹ | 25-150 | Toda la parte aérea simulando altura de corte |