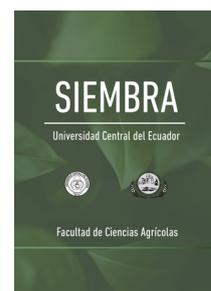


Oligoelementos: dinámica nutricional en diferentes órganos y etapas fenológicas del cultivo de rambután en Honduras

Trace elements: nutritional dynamics in different organs and phenological stages of rambutan cultivation in Honduras



Breno Augusto Sosa Rodríguez¹, Yuly Samanta García Vivas²

Siembra 10 (1) (2023): e3986

Recibido: 15/07/2022 Revisado: 19/08/2022 / 11/12/2022 Aceptado: 12/01/2023

1 Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA), Departamento de Suelos. Detrás del Aeropuerto Internacional Goloson, La Ceiba, Atlántida, Honduras.

✉ breno.sosa@unah.edu.hn

🌐 <https://orcid.org/0000-0001-7506-797X>

2 Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA), Departamento de Suelos. Detrás del Aeropuerto Internacional Goloson, La Ceiba, Atlántida, Honduras.

✉ yuly.garcia@unah.edu.hn

🌐 <https://orcid.org/0000-0003-1396-3829>

*Autor de correspondencia:

breno.sosa@unah.edu.hn

Resumen

La productividad del rambután (*Nephelium lappaceum* L) está vinculada a su demanda nutricional, el conocer los momentos y lugares de mayor exigencia, le permite al productor mejorar la fertilización. Se evaluó la dinámica de microelementos esenciales y benéficos en diferentes edades y órganos del rambután. En el norte de Honduras, se estableció un experimento bajo un diseño completamente al azar con seis tratamientos (muestreo a los 2, 3, 4, 8, 10 y 17 años de establecido el cultivo) y tres repeticiones. En época de cosecha se procedió a recolectar hoja, rama, cáscara y semilla, para analizar las concentraciones de Mn, Fe, Zn, Cu, B y Na. Los resultados muestran que la concentración de nutrientes difiere significativamente entre los órganos y edades de la planta, encontrando la mayor concentración de Mn, Fe y B en hojas, Zn y Cu se observó en semilla y Na en cáscara. La mayor concentración de los nutrientes en la planta (hoja + rama + cáscara + semilla) varió en el tiempo, acumulando más Fe, Zn y Na al inicio (3^{er} y 4^o año) de producción, para B fue en el cuarto y décimo año y, en el décimo año también se concentró más Mn y Cu. Además, el Mn (73 %) fue requerido en mayor cantidad, seguido de Fe (11 %), Na (6 %), B (5 %), Zn (3%) y Cu (2 %). Los nutrientes esenciales y benéficos variaron en los tejidos conforme a la edad de la planta, lo que permitió identificar cuáles elementos y en qué etapa y órgano vegetal tuvieron una mayor acumulación.

Palabras clave: *Nephelium lappaceum* L., fruta tropical, acumulación, demanda, micronutrientes.

Abstract

Productivity of rambutan (*Nephelium lappaceum* L) is linked to its nutritional demand, and knowledge about plant stages (time after planting) and plant organs demand, will allow producer to improve crop fertilization. The dynamics of essential and beneficial microelements in different ages and plant organs was evaluated. In the north Honduras, an experiment to evaluate six sampling treatments: 2, 3, 4, 8, 10 and 17 years after crop establishment was evaluated. Treatments were conducted under a completely randomized design with three replications. At harvest time, leaves, branches, husks and seeds were collected to analyze the concentrations of Mn, Fe, Zn, Cu, B and Na. The results show that the concentration of nutrients differed significantly between the organs and ages of the plant, with the highest concentration of Mn, Fe and B in leaves, Zn and Cu in seeds and Na in the seed shell. The nutrients concentration in the plant (leaf + branch + peel + seed) varied over time, with a higher Fe, Zn and Na concentration at the beginning of production (3rd and 4th year), while B

SIEMBRA

<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA>

ISSN-e: 2477-8850

ISSN: 1390-8928

Periodicidad: semestral

vol. 10, núm 1, 2023

siembra.fag@uce.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v10i1.3986>



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial

concentration was higher 4th year and 10th year and, Mn and Cu concentration was higher at year 10th. In this study, microelement requirements also varied significantly as follow: Mn (73 %), Fe (11 %), Na (6 %), B (5 %), Zn (3 %) and Cu (2%). As conclusion, the essential and beneficial micronutrients varied in the plant tissue according to the plant age, aspect that was defined in this study.

Keywords: *Nephelium lappaceum* L., tropical fruit, accumulation, demand, micronutrients.

1. Introducción

La fertilización es una práctica a la cual responden más fuertemente los cultivos en Honduras, debido a la baja fertilidad natural en los suelos, el rambután no es la excepción. El fertilizante es indispensable para duplicar o triplicar la productividad de la planta (FAO, 2002; Monzón Sequeiros, 2016), con sus connotaciones sociales y económicas para el productor.

Los elementos esenciales y benéficos son requeridos en pocas cantidades, las contribuciones en las funciones fisiológicas de la planta en las diversas etapas fenológicas son de igual importancia en comparación con los macronutrientes (Mengel y Kirkby, 2000; Navarro García y Navarro García, 2013). Agronómicamente, los micronutrientes contribuyen durante el metabolismo de las plantas como activadores enzimáticos, en la transferencia de electrones y asimilación de nutrientes, durante las etapas vegetativas promueven principalmente la emisión de raíces, ramas y hojas; mientras en la reproductiva, la floración, formación de frutas y semillas (Marschner, 2003; Rao, 2009).

Los principales reservorios de los micronutrientes en el suelo son las arcillas silicatadas, materia orgánica y óxidos de hierro y manganeso (Mejía de Tafur, 2010; Agrawal et al., 2016). Sin embargo, en las regiones tropicales y subtropicales de países en desarrollo, alrededor de 45 % de los suelos presentan baja fertilidad natural (Giller, 2001), la producción de biomasa es limitada por las altas tasas de descomposición (Acevedo et al., 2021; Woome et al., 1994), estas limitantes naturales son acentuadas por el uso de prácticas de producción económica y ambientalmente insostenibles, que contribuyen a la degradación del suelo (Amézquita et al., 1998; Chamba Bernal et al., 2020).

Las fertilizaciones edáficas y foliares son indispensables para alcanzar la productividad de los cultivos; sin embargo, con los nutrientes dirigidos al suelo, indistintamente de la metodología usada, el proceso conlleva pérdidas de 40 % o más de la cantidad aplicada, por lixiviación, volatilización y escorrentía (Jordan et al., 2008; Díaz et al., 2019); mientras que la aplicación aérea es más delicada de ejecutar por el requerimiento específico de cada planta, desconocimiento en el manejo y forma de cómo suministrar los nutrimentos quelatados.

El sector agropecuario en Honduras adolece de asesoría técnica y tecnologías que le permitan al productor mejorar la competitividad regional, aunado a ello, existe un vacío teórico y científico sobre el manejo nutricional del rambután. De las aproximadamente 1.000 ha establecidas en diferentes etapas fenológicas del cultivo, el 70% están en el litoral atlántico (Centro de desarrollo empresarial para la micro, pequeña y mediana empresa del Valle del Leán, 2018), siendo manejadas en su mayoría por pequeños productores (3-5 ha) donde prevalece bajo récord crediticio, elevados precios en los fertilizantes, reducido uso de sistemas de riego, provocando un poco eficiente uso de nutrientes en el sistema, con sus connotaciones financieras y ambientales.

Los microelementos esenciales y benéficos son responsables del 2 a 3 % de la necesidad nutricional de las plantas (Salisbury y Ross, 1994), de manera que conocer las cantidades y momentos de mayor demanda nutricional en los cultivos es valioso, le permitirá al productor mejorar programas de fertilización. El objetivo de la investigación fue analizar el contenido y distribución de microelementos esenciales y benéfico en diferentes órganos y etapas de desarrollo del rambután.

2. Materiales y Métodos

2.1. Caracterización del área experimental

La investigación se realizó de marzo a diciembre del 2017 en fincas de productores de rambután, en los municipios de La Ceiba, La Másica y Santa Ana, departamento de Atlántida, Honduras. La estación meteorológica de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras ubicada en La Ceiba, caracteriza la región con una altitud

aproximada de 20 a 70 m s.n.m., con temperatura promedio de 29,5 °C, humedad relativa de 95 % y precipitación pluvial media anual de 3.100 a 3.230 mm.

El suelo analizado se muestreó a una profundidad de 0-20 cm. Los resultados de las propiedades químicas (Tabla 1) se interpretaron por escalas manejadas a nivel nacional (Castro, 2004). El suelo presentó un pH fuertemente ácido y elevado nivel de Al^{3+} , media concentración de MO y bajo nivel de P y CE. Entre las bases, se encontraron niveles bajos de Na^+ , K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} . Para los elementos menores Fe, Cu y Mn los niveles fueron altos, a excepción de B y Zn que fueron bajos.

En el litoral atlántico, donde se establece el rambután, es común la presencia de Nitisols (Gardi et al., 2014), caracterizados por la fuerte presencia de óxidos de hierro y pH bajos, afectando la disponibilidad de macronutrientes. Además, la concentración de aluminio es frecuentemente elevado, lo que permite deducir que este cultivo tolera la acidez intercambiable al igual que el cacao, yuca y piña, ya que en varias investigaciones manifiestan que suelos con niveles superiores a $2 \text{ cmol}_{(+)} \text{ L}^{-1}$ (Castro, 2004) o 2-3 ppm (Påhlsson, 1990) son limitantes para muchos cultivos.

Tabla 1. Caracterización química de un Nitisols sembrado con Rambután. *Laboratorio: WHAL Standard Fruit de Honduras. Atlántida, Honduras, 2017.

Table 1. Chemical characterization of a Nitisols planted with Rambutan. *Laboratory: WHAL Standard Fruit of Honduras. Atlántida, Honduras, 2017.

pH	$\text{cmol}_{+} \text{ kg}^{-1}$			$\text{cmol}_{+} \text{ kg}^{-1}$				mg kg^{-1}						
	Al	CE	MO	Ca	K	Mg	Na	P	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
4,61	3,27	0,06	22,59	0,22	0,15	0,19	0,04	2,15	0,82	221,89	81,85	4,15	0,04	13,52

* pH: solución acuosa 1:1; CE: Extracto saturado, Conductancia; Al: Extracción con KCl; Macro y microelementos: Detección de plasma Mehlich-3.

2.2 Descripción del ensayo experimental

La dinámica de los nutrientes esenciales y benéficos fue analizada en diferentes órganos y etapas fenológicas (años) de la planta de rambután (Tabla 2); bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos evaluados para registrar la dinámica nutricional en el rambután. Atlántida, Honduras, 2017.

Table 2. Description of the treatments evaluated to record the nutritional dynamics in rambutan. Atlántida, Honduras, 2017.

Etapas desarrollo	Órgano de la planta	Nutrientes
2 años	hojas	Mn, Fe, Cu, Zn, B, Na
3 años	hojas, cáscara, rama, semilla	Mn, Fe, Cu, Zn, B, Na
4 años	hojas, cáscara, rama, semilla	Mn, Fe, Cu, Zn, B, Na
8 años	hojas, cáscara, rama, semilla	Mn, Fe, Cu, Zn, B, Na
10 años	hojas, cáscara, rama, semilla	Mn, Fe, Cu, Zn, B, Na
17 años	hojas, cáscara, rama, semilla	Mn, Fe, Cu, Zn, B, Na

La recolección de las muestras se realizó en etapa de cosecha en fincas de productores donde tenían establecidas plantaciones de diferentes edades, usando variedades como R-134, R-162 y R-167, por su buena aceptación organoléptica en el mercado nacional y centroamericano. La unidad experimental para cada tratamiento consistió en diez árboles sembrados en su mayoría a 7 m x 7 m, para una densidad de 214 plantas ha^{-1} .

Las variables analizadas fueron los nutrientes: manganeso, hierro, cobre, zinc, boro y sodio en hojas, cáscara de fruta, ramas y semillas. Recolectando muestras compuestas de los árboles, para luego identificarlas y enviarlas al laboratorio. La información obtenida se sometió a análisis de varianza ($p < 0,05$) y prueba de medias de Tukey ($p < 0,05$), con el uso del software SAS versión 9.1.3 (SAS, 2002).

3. Resultados

3.1 Distribución de nutrientes en órganos vegetativos del rambután

Para los micronutrientes Mn, Fe y Zn, el ANAVA encontró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los órganos analizados a lo largo de las etapas de desarrollo (Figura 1). La dinámica de Mn fue disímil, la concentración más elevada se localizó en la hoja ($780,32 \text{ mg kg}^{-1}$), seguida de la cáscara ($354,28 \text{ mg kg}^{-1}$), rama ($346,17 \text{ mg kg}^{-1}$) y en menor medida, en la semilla ($90,73 \text{ mg kg}^{-1}$).

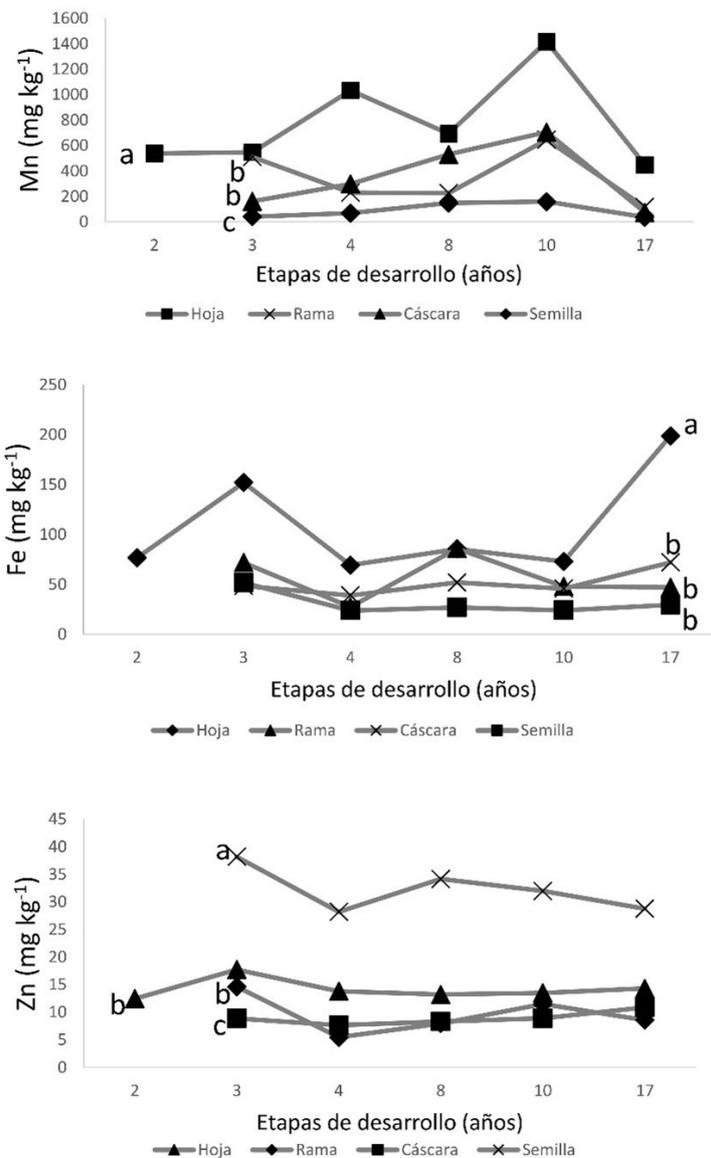


Figura 1. Contenido de Mn, Fe y Zn (mg kg^{-1}) en hojas, rama, cáscara y semilla de la planta de rambután en diferentes etapas (años) de desarrollo. Atlántida, Honduras, 2017. Promedios con igual letra no difieren significativamente según Tukey ($p < 0,05$)

Figure 1. Mn, Fe and Zn content (mg kg^{-1}) in leaves, branch, peel and seed of the rambutan plant at different stages (years) of development. Atlántida, Honduras, 2017. Averages with the same letter do not differ significantly according to the Tukey test ($p < 0,05$).

La mayor cantidad de Fe en la planta se localizó en las hojas ($109,16 \text{ mg kg}^{-1}$), órgano predilecto para la producción de fotoasimilados, seguido de las ramas ($55,99 \text{ mg kg}^{-1}$), cáscaras ($51,38 \text{ mg kg}^{-1}$) y por último la semilla ($31,15 \text{ mg kg}^{-1}$). El Zn se acumuló significativamente más en la semilla ($32,25 \text{ mg kg}^{-1}$) entre los órganos, con una tendencia a disminuir la concentración a medida que la planta crecía durante los años en producción. Las hojas ($14,16 \text{ mg kg}^{-1}$) son también tejidos de reserva valiosos, seguido de ramas ($9,60 \text{ mg kg}^{-1}$) y cáscara ($8,91 \text{ mg kg}^{-1}$).

Para los micronutrientes Cu, B y elemento benéfico Na, el ANAVA encontró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los órganos de la planta (Figura 2). El mayor reservorio del Cu se encontró significativamente en las semillas ($16,01 \text{ mg kg}^{-1}$), disminuyendo un poco en la cáscara ($11,08 \text{ mg kg}^{-1}$), hojas ($9,98 \text{ mg kg}^{-1}$) y en menor proporción en las ramas ($6,40 \text{ mg kg}^{-1}$). Durante las etapas de desarrollo se aprecia que en los diversos órganos la concentración del nutrimento fue incrementando levemente hasta el año 10, disminuyendo en la planta de mayor edad.

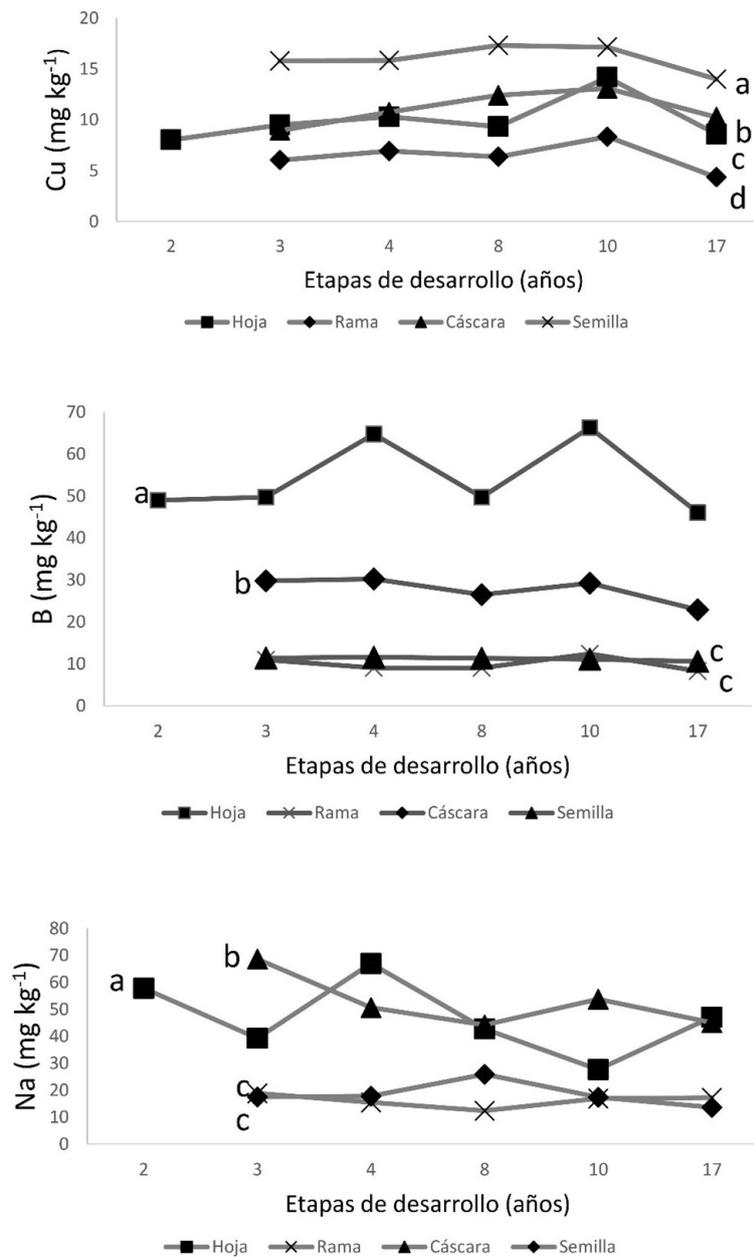


Figura 2. Contenido de Cu, B y Na (mg kg^{-1}) en hojas, corteza, cáscara y semilla de la planta de rambután en diferentes etapas (años) de desarrollo. Atlántida, Honduras, 2017. Promedios con igual letra no difieren significativamente según Tukey ($p < 0,05$).

Figure 2. Cu, B and Na content (mg kg^{-1}) in leaves, bark, peel and seed of the rambutan plant at different stages (years) of development. Atlántida, Honduras, 2017. Averages with the same letter do not differ significantly according to the Tukey test ($p < 0,05$).

El B de igual forma que el Mn y Fe se encontró significativamente en mayores concentraciones en las hojas ($54,26 \text{ mg kg}^{-1}$), donde se suscita la mayor actividad fotosintética, prosiguiendo la menor acumulación en la cáscara ($27,74 \text{ mg kg}^{-1}$), semilla ($11,24 \text{ mg kg}^{-1}$) y por último en las ramas ($9,98 \text{ mg kg}^{-1}$). El comportamiento del Na entre los órganos de la planta, registró que las cáscaras ($52,51 \text{ mg kg}^{-1}$) y hojas ($46,98 \text{ mg kg}^{-1}$) son los tejidos con mayor acumulación en comparación a las ramas ($16,20 \text{ mg kg}^{-1}$) y semillas ($18,48 \text{ mg kg}^{-1}$).

3.2. Dinámica de nutrientes en diferentes etapas de desarrollo del rambután

Para los micronutrientes Mn, Fe y Zn, el ANAVA encontró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las etapas de desarrollo de la planta (Figura 3). La mayor acumulación de manganeso sucedió en el año 10 ($732,40 \text{ mg kg}^{-1}$), disminuyendo en el 4 ($408,11 \text{ mg kg}^{-1}$) y 8 ($399,71 \text{ mg kg}^{-1}$) año hasta alcanzar el menor valor ($169,21 \text{ mg kg}^{-1}$) en la planta más adulta.

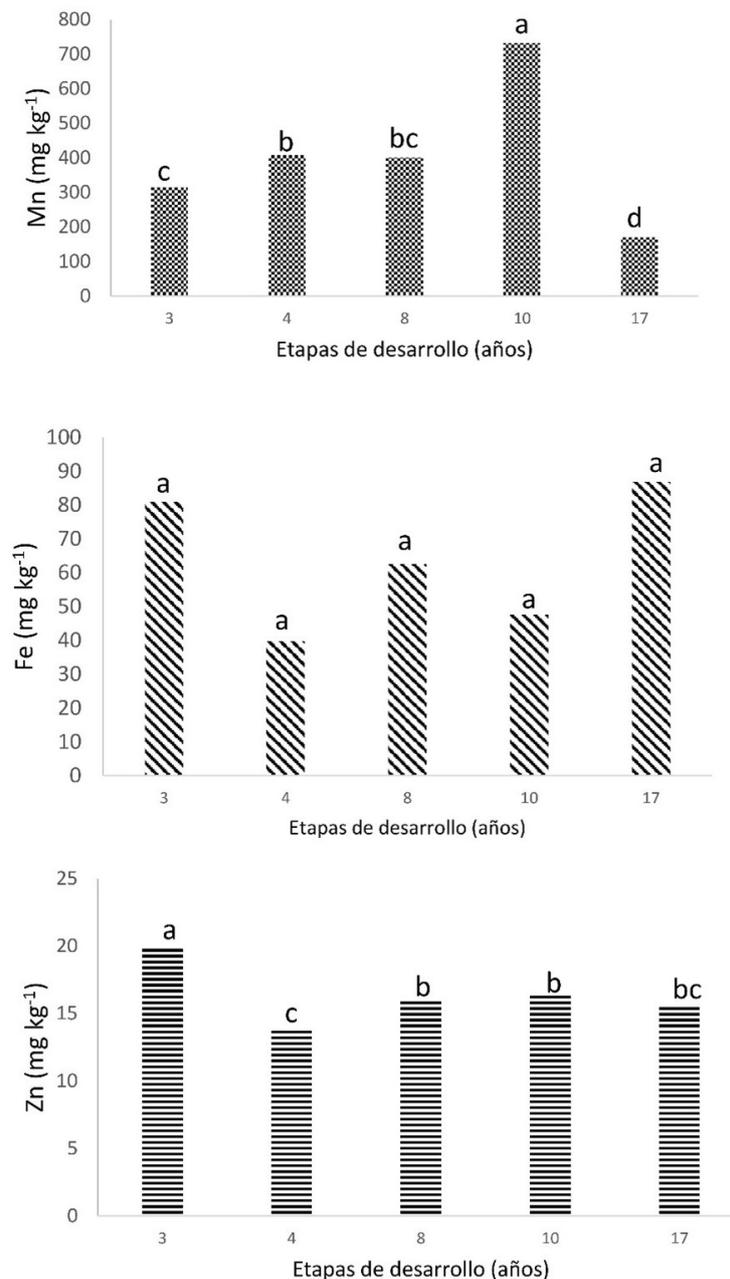


Figura 3. Contenido de Mn, Fe y Zn (mg kg^{-1}) en diferentes edades (años) de la planta (hojas+cáscara+rama+semilla) de rambután. Atlántida, Honduras, 2017. Promedios con igual letra no difieren significativamente según Tukey ($p < 0,05$).

Figure 3. Mn, Fe and Zn content (mg kg^{-1}) in different ages (years) of the rambutan plant (leaves + peel + branch + seed). Atlántida, Honduras, 2017. Averages with the same letter do not differ significantly according to the Tukey test ($p < 0,05$).

El comportamiento del Fe fue caracterizado por una variación constante de la concentración en la planta, aun así, no se registraron diferencias significativas entre tratamientos. Las etapas de mayor concentración fueron al inicio de la etapa productiva (tercer año con 81 mg kg⁻¹) y al final (17 con 86,79 mg kg⁻¹).

Los rangos de concentración del hierro en las hojas fueron mayores que las reportadas por Arias y Calvo (2014), la alta concentración encontrada en el análisis de suelo (221,89 mg kg⁻¹) posiblemente facilitó la absorción y translocación a las hojas, de igual forma, en la región atlántica es común registrar en los análisis de suelos altas cantidades de Fe⁺² en los oxisoles que la caracterizan.

Las mayores concentraciones de Zn en la planta se acumularon de forma significativa al inicio de la etapa productiva, año 3 con 19,85 mg kg⁻¹, mientras que en el resto de los años la demanda fue similar con 15,90 mg kg⁻¹ al año 8, 16,45 mg kg⁻¹ en el 10 y 15,62 mg kg⁻¹ en el 17.

Para los micronutrientes Cu y B, así como Na, el ANAVA también mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) en las etapas de desarrollo (Figura 4). La planta fue acumulando de forma gradual más Cu desde el inicio (10,07 mg kg⁻¹) de su etapa productiva hasta el año 10 (13,18 mg kg⁻¹), donde alcanzó su mayor acumulación, para luego caer al nivel más bajo de concentración en la planta durante el año 17 (9,29 mg kg⁻¹).

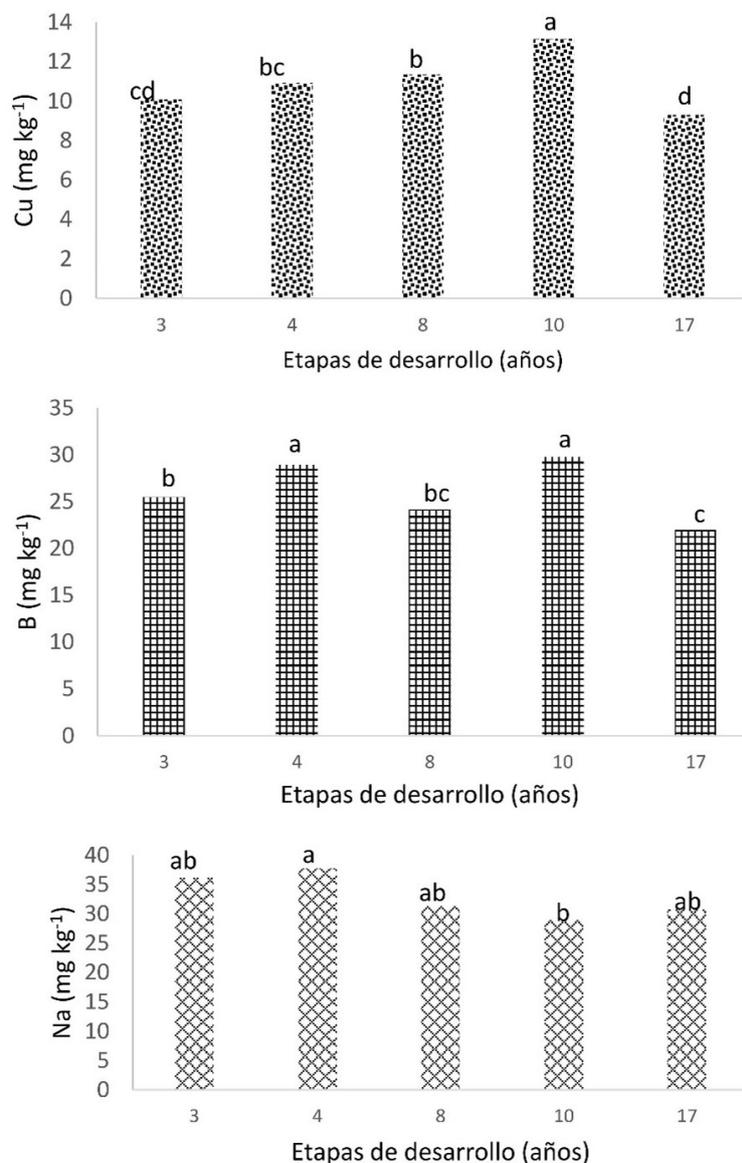


Figura 4. Contenido de Cu, B y Na (mg kg⁻¹) en diferentes edades (años) de la planta (hojas + cáscara + rama + semilla) de rambután. Atlántida, Honduras, 2017. Promedios con igual letra no difieren significativamente según Tukey ($p < 0,05$).

Figure 4. Cu, B and Na content (mg kg⁻¹) at different ages (years) of the rambutan plant (leaves + peel + branch + seed). Atlántida, Honduras, 2017. Averages with the same letter do not differ significantly according to the Tukey test ($p < 0,05$).

Las concentraciones de B acumulados en la planta fueron diferentes estadísticamente entre las etapas evaluadas, variaron de 21,99 hasta 29,77 mg kg⁻¹, siendo los mayores valores en el año 10 (29,77 mg kg⁻¹) y 4 (28,92 mg kg⁻¹), mientras las concentraciones más bajas fueron en el 8 (24,17 mg kg⁻¹) y 17 año (21,99 mg kg⁻¹). En el caso del elemento benéfico se registraron cambios significativos, los mayores niveles fueron al inicio de la etapa productiva con 36,12 mg kg⁻¹ y cuarto año con 37,78 mg kg⁻¹, a partir de aquí comenzó a disminuir en las siguientes etapas de desarrollo, en el año 8 (31,33 mg kg⁻¹), 10 (28,98 mg kg⁻¹) y 17 (30,78 mg kg⁻¹), aun así, es requerido de forma constante y considerable a lo largo del ciclo del cultivo.

El contenido de los nutrientes esenciales y benéficos en la planta a través de los años expresados en porcentaje relativo (Figura 5), muestra que el rambután acumula con gran diferencia más manganeso (73 %) que el resto de los nutrientes analizados, lo siguen el hierro (11 %), sodio (6 %), boro (5%), zinc (3 %) y cobre (2 %). Permitiendo identificar en condiciones de campo en la zona norte del país, la participación de cada nutrimento, siendo del Mn de gran preferencia en el ciclo productivo del cultivo.

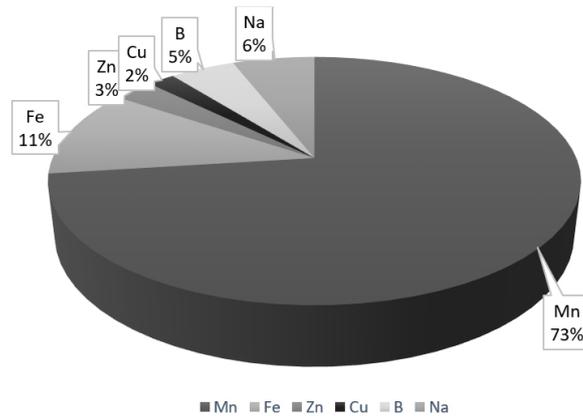


Figura 5. Concentración de los nutrientes esenciales y benéficos en la planta (hojas + cáscara + rama + semilla) de rambután en las diferentes etapas de desarrollo (año 3 + 4 + 8 + 10 + 17). Atlántida, Honduras, 2017.

Figure 5. Concentration of essential and beneficial nutrients in the rambutan plant (leaves + peel + branch + seed) at the different stages of development (year 3 + 4 + 8 + 10 + 17). Atlántida, Honduras, 2017.

El análisis foliar en esta investigación se realizó entre octubre/noviembre en etapa de cosecha. Por su parte, Molina en el 2013, como se citó en Arias y Calvo (2014), en Costa Rica, lo hizo entre septiembre/octubre en época de poscosecha, cuando existe crecimiento vegetativo; mientras que Lim et al. (1997) lo realizaron entre mayo/junio antes de la floración. Aunque las condiciones edafoclimáticas y variedades del rambután sean diferentes entre las zonas productivas de Honduras, Costa Rica y Australia, existen similitudes en la concentración de los nutrientes monitoreados (Tabla 3), a excepción del Mn y Fe, donde los rangos propuestos en condiciones locales superan ampliamente a la referenciada en el extranjero. Los resultados obtenidos contribuyen a afianzar rangos óptimos de análisis foliar como herramienta de diagnóstico nutricional.

Tabla 3. Rangos para interpretar los análisis foliares en rambután. Atlántida, Honduras, 2017.

Table 3. Ranges to interpret the foliar analyzes in rambutan. Atlántida, Honduras, 2017.

Elemento	Rango de Suficiencia (mg kg ⁻¹)		
		Molina (2013), como se citó en Arias y Calvo (2014)	Lim et al. (1997)
Manganeso	449-1034	50-200	104-150
Hierro	69-199	40-100	77-98
Zinc	12-18	20-50	43-54
Cobre	8-17	7-25	16-25
Boro	46-67	30-60	43-55
Sodio	27-58	-	100-200

Considerando que las plantaciones de rambután en su mayoría son manejadas por productores de pequeña escala en el litoral atlántico de Honduras, es importante registrar la demanda nutricional de la planta en el orden siguiente: $Mn > Fe > Na > B > Zn > Cu$, lo que servirá de parámetro para formular o mejorar programas de fertilización; por consiguiente, aumentar la productividad. De igual forma, se proponen rangos de suficiencia para los nutrientes analizados en las hojas, lo que servirá para evaluar el efecto de la fertilización y monitorear la fertilidad natural del suelo.

4. Discusión

Se observaron altibajos en la concentración de Mn en cada uno de los órganos; la mayor acumulación se suscitó en las hojas y la menor en la semilla. Al iniciar la etapa productiva los niveles en la planta fueron similares, salvo el décimo año de producción, donde se registra el mayor pico, que decae en el año 17. Este elemento participa de forma significativa en la actividad fotosintética, donde el oxígeno se produce a partir del agua (Marschner, 2003; Salisbury y Ross, 1994), por lo que sus concentraciones se elevan cuando la planta lo demanda en grandes cantidades durante la etapa productiva; por otra parte, cuando existen deficiencias en los suelos, los síntomas asociados, son clorosis intervenal en hojas viejas, dependiendo de la especie y crecimiento (Taiz y Zeiger, 2006).

Las concentraciones de Mn son las más elevadas en la planta de rambután, Azcón-Bieto y Talón (2008) expresan que el Mn actúa como cofactor activando cerca de 35 reacciones enzimáticas, unas relacionadas con la actividad fotosintética y otras implicadas en la defensa de la planta.

El Fe tiene baja movilidad en tejidos vegetales debido a la elevada concentración de P y Mn, deficiencia de K y baja intensidad lumínica (López, 1998). Aunque las condiciones expresadas por dicho autor coinciden en buena parte a las condiciones del experimento, la concentración varió de 40 a 90 mg kg⁻¹, con un altibajo bien marcado en cada año analizado en toda la planta, aun así, fue en las hojas donde se observó mayor acumulación y movilidad, en contraste a los demás órganos. Esta dinámica en el rambután fue similar a lo reportado por Marschner (2003), de que la concentración en las hojas oscila entre 50 y 150 mg kg⁻¹, mientras que para Navarro Blaya y Navarro García (2003) el rango varía de 25 a 250 mg kg⁻¹.

La acumulación de Zn, se sitúa en las semillas, sin sobrepasar los 45 mg kg⁻¹, este elemento es absorbido desde el suelo por las plantas como Zn²⁺, principalmente como quelato, su concentración en los tejidos oscila de 20 a 150 mg kg⁻¹ y, su movilidad es baja, en este experimento los niveles en toda la planta no fueron mayores a 20 mg kg⁻¹. Al parecer, el nivel bajo (0,82 mg kg⁻¹) en el suelo pudo haber afectado su acumulación en los tejidos, cuya función enzimática es valiosa en la biosíntesis del ácido indolacético, formación de la clorofila o impide su destrucción y metabolismo nitrogenado (Navarro Blaya y Navarro García, 2003; Azcón-Bieto y Talón, 2008; Tisdale et al., 2005).

Una de las funciones primordiales del zinc es la síntesis del triptófano, aminoácido precursor del ácido indolacético (AIA), que es una hormona del crecimiento (Navarro Blaya y Navarro García, 2003).

La dinámica del B fue bastante similar entre órganos, salvo las hojas, que aparte de acumular más este nutriente, a partir del tercer año subió y bajo la concentración; en las ramas, cáscara y semillas los valores fueron similares a lo largo de las etapas. Navarro Blaya y Navarro García (2003) expresa que el B tiene poca movilidad en la planta, siendo las hojas y órganos reproductores los que presentan las máximas concentraciones, comprobando que las plantas jóvenes absorben más que las viejas, actuando en los puntos de crecimiento apicales facilitando el transporte de los carbohidratos a través de las membranas internas (Bonilla et al., 1994). A pesar del bajo nivel del boro en el suelo y su baja movilidad en los tejidos, en esta experiencia los valores registrados variaron en todas las etapas.

El B es requerido en la etapa productiva de cultivos frutícolas y granos básicos por su participación en múltiples funciones, como la floración, germinación del polen, fructificación, síntesis de carbohidratos y hormonas, regular absorción de agua, entre otras (Mejía de Tafur, 2010; Rao, 2009).

La participación del Cu en plantas superiores está relacionada con enzimas que participan en la fotosíntesis, respiración mitocondrial, metabolismo de la pared celular, entre otros (Hänsch y Mendel, 2009; Mendel, 2013). Aunque las hojas fueron el segundo órgano que mayormente acumuló, tras la semilla, es valioso considerar que no puede faltar en la nutrición, ya que indistintamente del órgano, la planta lo acumula de forma similar a través de los años, siendo el décimo año el de mayor pico registrado.

Las mayores concentraciones de Na en hojas y cáscaras dejan entrever su alta actividad en procesos de control osmótico y generación de turgencia, capaz de sustituir en muchas especies al K por sus funciones y

concentraciones parecidas en los cloroplastos, de ahí parte el hecho de que el Na ejerce funciones de fosforilación en la fotosíntesis (Marschner, 2003; Salisbury y Ross, 1994), a tal punto de ser requerido para muchas halófitas y ciertas C4 como micronutriente (Brownell, 1979; Malavolta et al., 1997).

La mayoría de las plantaciones ubicadas en el litoral atlántico están establecidas en Nitisols, caracterizados por pH bajos, alta concentración de aluminio, manganeso y hierro, al parecer este cultivo tiene tolerancia por estas condiciones, a tal punto de acumular casi el 75 % de los elementos analizados, aun así, la productividad vista en campo es moderada a buena en las fincas visitadas, sin embargo, se abre una oportunidad del manejo nutricional del suelo a través de enmiendas calcáreas, el cual reflejará la dinámica de dichos nutrientes y su respuesta en variables productivas del cultivo, entendiendo que los macronutrientes no tienen su mayor disponibilidad bajo las condiciones actuales. Las concentraciones de nutrientes ofrecidas en esta investigación, en especial en las hojas como órgano de monitoreo, permite contrastar condiciones edafoclimáticas, nutricionales y prácticas fitosanitarias en otros países.

5. Conclusiones

La concentración de nutrientes esenciales y benéficos difiere significativamente entre los órganos vegetales y diferentes edades del cultivo, encontrando la mayor concentración de Mn, Fe, B, Na en hojas y Zn, Cu en la semilla. El orden de los elementos analizados en toda la planta fue el siguiente: Mn>Fe>Na>B>Zn>Cu; acumulando más en distintos momentos, el Fe, Zn y Na al inicio (3^{er} y 4^o año) de producción, mientras que para B, Mn y Cu lo fue en el cuarto y décimo año, permitiendo identificar la etapa de mayor exigencia y órgano vegetal donde se acumula.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los productores de rambután de las fincas analizadas y profesores del departamento de suelos que colaboraron en el proceso investigativo

Financiamiento

El recurso financiero fue producto de una beca de investigación otorgada por la Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Contribuciones de los autores

- Breno Augusto Sosa Rodrigues: Conceptualización, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, administración del proyecto, visualización, redacción – revisión y edición.
- Yuly Samanta García Vivas: Análisis formal, investigación, administración del proyecto, supervisión, visualización, validación, redacción – revisión y edición.

Implicaciones éticas

Los autores declaran que no existen implicaciones éticas.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros o no financieros que podrían haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

Referencias

- Acevedo, I., Sánchez, A., y Mendoza, B. (2021). Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de Quíbor. II. Calidad del suelo. *Bioagro*, 33(2), 127-134. <http://www.doi.org/10.51372/bioagro332.6>
- Agrawal, R., Kumar, B., Priyanka, K., Narayan, C., Shukla, K., Sarkar, J., y Anshumali. (2016). Micronutrient fractionation in coal mine-affected agricultural soils, India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 96, 449-457. <https://doi.org/10.1007/s00128-016-1745-3>
- Amézquita, E., Ashby, J., Knapp, E. K., Thomas, R., Müller-Sämann, K., Ranvorg, H., Beltrán, J., Sanz, J. I., Rao, I. M., y Barrios, E. (1998). CIAT's strategic research for sustainable land management on the steep hillsides of Latin America. En F.W.T. Penning de Vries, F. Agus, y J. Kerr (eds.), *Soil erosion at multiple scales: principles and methods for assessing causes and impacts* (pp. 121-132). CAB International.
- Arias, M., y Calvo, I. (2014). *El cultivo de rambután o mamón chino*. MAG-INTA-FITTACORI. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10729.pdf>
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (eds). (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal, interamericana* (2ª ed.). McGraw-Hill.
- Bonilla, C. R., García, A., Castillo, L. E., y Salazar, F. E. (1994). *Boro y zinc: dos elementos limitantes en Colombia*. Instituto Colombiano Agropecuario. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/32601>
- Brownell, P. F. (1979). Sodium as an essential micronutrient element for plants and its possible role in metabolism. *Advances in Botanical Research*, 7, 117-224. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(08\)60088-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(08)60088-9)
- Castro, H. (2004). Propuesta guía de indicadores analíticos para calificar suelos estables y en proceso de degradación desde el punto de vista físico. En CIAT (ed.), *Memorias I Taller Nacional sobre indicadores de calidad del suelo* (pp. 37-42). Palmira.
- Centro de desarrollo empresarial para la micro, pequeña y mediana empresa del Valle del Leán. (2018). *Estudio de oportunidades de mercado para el rambután*. Sociedad de Cooperación para el Desarrollo Internacional.
- Chamba Bernal, J. L., Bermeo Cuenca, L. A., y Sarango Ortega, Y. B. (2020). Producción ganadera: la deforestación y degradación del suelo, una estrategia para el desarrollo sostenible. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(1), 77-82. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/389>
- Díaz, R., Salazar, O., Quemada, M., Nario, A., y Videla, X. (2019). Determinación de la eficiencia de uso del nitrógeno en maíz (*Zea mays L.*) y de las pérdidas por lixiviación. En *Jornadas de Investigación de la Zona No Saturada (ZNS)*, vol. XIII (pp. 168-174). Zaragoza. <https://ceigram.upm.es/seminario/seminario-ceigram-determinacion-de-la-eficiencia-de-uso-del-nitrogeno-en-maiz-zea-mays-l-y-de-las-perdidas-por-lixiviacion/>
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M. L., Montanarella, L., Muñoz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M. I., y Vargas, R. (eds.) (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. <https://data.europa.eu/doi/10.2788/37334>
- Giller, K. E. (2001). *Nitrogen fixation in tropical cropping systems* (2ª ed.). CABI International.
- Hänsch, R., y Mendel, R.R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 259-266. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.006>
- Jordan, F., Jody Waugh, W. J., Glenn, E. P., Sam, L., Thompson, T., y Lewis Thompson, T. (2008). Natural bioremediation of a nitrate-contaminated soil and aquifer system in a desert environment. *Journal of Arid Environments*, 72(5), 748-763. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.09.002>
- Lim, T. K., Luders, L., Dieczbalis, Y., y Poffley, M. (1997). *Rambutan nutrient requirement and management*. Technical Bulletin 261. Department of Primary Industry and Fisheries. https://industry.nt.gov.au/_data/assets/pdf_file/0018/233145/tb261.pdf
- López, Y. (1998). Funciones e interacciones de los elementos menores en plantas y suelos. En F. Silva Mojica (ed.), *Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura* (pp. 1-12). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/18321>
- Malavolta, E., Vitti, G. C., y Oliveira, S. A. de. (1997). *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações* (2ª ed.). POTAFOS.
- Marschner, H. (2003). *Mineral nutrition of higher plants* (2ª ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02402-7>
- Mejía de Tafur, M. S. (2010). *Conceptos sobre fisiología de absorción y funciones de los minerales en la nutrición de plantas*. Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira.

- Mendel, R. R. (2013). The molybdenum cofactor. *The Journal of biological chemistry*, 288(19), 13165–13172. <https://doi.org/10.1074/jbc.R113.455311>
- Mengel, K., y Kirkby, E. A. (2000). *Principios de nutrición vegetal* (4ª ed.). International Potash Institute. <https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/64-principios-de-nutricion-vegetal.pdf>
- Monzón Sequeiros, C. A. (2016). *Evaluación del rendimiento de tomate de crecimiento indeterminado (Lycopersicon esculentum Mill) de variedades híbridos utilizando abonos fermentados de gallinaza y cuyaza*. Universidad Tecnológica de los Andes. <http://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/29>
- Navarro Blaya, S., y Navarro García, G. (2003). *Química agrícola. El suelo y los elementos esenciales para la vida vegetal* (2ª ed.). Mundi-Prensa.
- Navarro García, G., y Navarro García, S. (2013). *Química agrícola. Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas* (3ª ed.). Mundi-Prensa.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2002). *Los fertilizantes y su uso*. FAO. <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>
- Påhlsson, A. B. (1990). Influence of aluminum on biomass, nutrients, soluble carbohydrate and phenols in beech (*Fagus sylvatica*). *Physiologia Plantarum*, 78(1), 79-84. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1990.tb08718.x>
- Rao, I. M. (2009). *Essential plant nutrients and their functions*. Working Document N° 36. Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT].
- Salisbury, B. F., y Ross, C. W. (1994). *Fisiología vegetal*. Editorial Iberoamérica.
- SAS [Statistical Analysis Software]. (2002). Institute Inc. Versión 9.1.3. Cary, NC, EUA.
- Taiz, L., y Zeiger, E. (2006). *Plant physiology* (4ª ed.). Sinauer Associates Inc.
- Tisdale, S. L., Havlin, J., y Nelson, W. (2005). *Fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management* (7ª ed.) Prentice Hall.
- Woomer, P. L., Martin, A., Albrecht, A., Resck, D. V. S., y Scharpenseel, H. W. (1994). The importance and management of soil organic matter in the tropics. En P. L. Woomer, y M. J. Swift (eds.), *The biological management of tropical soil fertility* (pp. 47-80). Jhon Wiley & Sons.