

Concentración y Extracción de Nutrientes y Metales Pesados en la Biomasa Estacional y en la Cosecha de *Myrciaria dubia* (HBK), en un Entisols de Yarinacocha

Concentration and Extraction of Nutrients and Heavy Metals in Seasonal Biomass and the Harvest of *Myrciaria dubia* (HBK) in an Entisols of Yarinacocha.

Nadia Masaya Panduro Tenazoa¹, Hugo Huamaní Yupanqui², Eliel Sánchez Marticorena³

RESUMEN

Objetivo: Analizar la concentración de nutrientes y metales pesados en las hojas y frutos del camu camu en su biomasa estacional, y estimar la extracción de nutrientes y metales pesados por la cosecha en un entisols de Ucayali. **Métodos:** Se realizó el tipo de investigación básica, descriptiva y transeccional. Se determinó la concentración de nutrientes y metales pesados en hojas y frutos de 80 plantas francas de siete años, desde la defoliación hasta la cosecha, correspondientes a las fases fenológicas: brotamiento I (44 ddd), brotamiento II (88 ddd), fructificación (133 ddd), llenado de fruto (181 ddd) y fruto maduro (210-234 ddd); así como también, la extracción de nutrientes y metales pesados en la última fase fenológica o cosecha; a partir de la materia seca y el análisis químico de las muestras. **Resultados:** La concentración de nutrientes y metales pesados durante las etapas fenológicas son variables, encontrándose hasta la fase de fructificación, en niveles de suficientes. La extracción de elementos estimado para una cosecha equivalente a 1000 kg de frutos a una densidad de 1650 plantas. ha⁻¹, es en kg.t⁻¹, Nitrógeno 18,88; Fósforo 1,45; Potasio 7,14; Calcio 9,36; Magnesio 1,58 y Azufre 1,17; y en g.t⁻¹, Zinc 28,02; Cobre 11,16; Manganeso 714,91; Hierro 71,6; Boro 36,93; Cadmio 0,03; Plomo 3,68 y Cromo 2,14; describiendo el patrón: Nitrógeno > Calcio > Potasio > Magnesio > Fósforo > Azufre > Manganeso > Hierro > Boro > Zinc > Cobre > Plomo > Cromo > Cadmio. Las concentraciones de Plomo, Cromo y Cadmio; superaron los Límites Máximos Permisibles para pulpa de frutas. **Conclusiones:** Las características físico-químicas de este entisol, definen que su fertilidad natural es media, reflejándose esto en su productividad (8422,01 kg de fruto.ha⁻¹) y la concentración de nutrientes y metales pesados encontrados en las hojas y frutos, durante las cinco fases evaluadas.

Palabras clave: *Myrciaria dubia*, nutrientes, metales pesados, fenología, patrón de extracción.

ABSTRACT

Objective: Analyze the concentration of nutrients and heavy metals in the leaves and fruits of camu camu in their seasonal biomass and estimate the extraction of nutrients and heavy metals by harvesting in a Entisols of Ucayali. **Methods:** The type of research performed was basic, descriptive and transeccional. the concentration of nutrients and heavy metals in leaves and fruits of 80 processing plants in seven years was determined from defoliation to harvest, corresponding to the phenological phases: sprouting I (44 dad), sprouting II (88 dad), fruiting (133 dad), fruit filling (181 dad) and ripe fruit (210-234 dad); as well as the extraction of nutrients and heavy metals in the last phenological phase or harvesting; from dry matter and chemical analysis of samples. **Results:** The concentration of nutrients and heavy metals during the phenological stages is variable, being at the stage of fruiting, in sufficient levels. The extraction of elements estimated for a harvest equivalent to 1000 kg of fruits with a density of 1650 plants.ha⁻¹, it is in kg.t⁻¹, Nitrogen 18.88; Phosphorus 1.45; Potassium 7.14; Calcium 9.36; Magnesium and Sulfur 1,58 1,17; and g.t⁻¹, Zinc 28.02; Copper 11.16; Manganese 714.91; Iron 71.6; Boro 36.93; Cadmium 0.03; Lead Chromium 3.68 and 2.14; describing the pattern: Nitrogen> Calcium> Potassium> Magnesium> Phosphorus> Sulphur> Manganese> Iron> Boro> Zinc> Copper> Lead> Chrome> Cadmium. Concentrations of lead, chromium and cadmium exceeded the maximum permissible limits for fruit pulp. **Conclusions:** The physicochemical characteristics of this entisol, define their natural fertility is average, reflecting this in their productivity (8422.01 kg fruto.ha⁻¹) and the concentration of nutrients and heavy metals found in the leaves and fruits during the five phases evaluated.

Keywords: *Myrciaria dubia*, nutrients, heavy metals, phenology, extraction pattern .

¹Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía. Yarinacocha, Perú

²Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú

³Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa, Perú

INTRODUCCIÓN

Myrciaria dubia H.B.K. Mc Vaugh, o “camu camu”, es una especie arbustiva que crece en zonas aluviales. Las altas concentraciones de ácido ascórbico (entre 800 y 6100 mg/100g de pulpa) (Yuyama, 2011), lo ubica como un frutal importante para la agroindustria y farmacéutica, del cual deriva el interés para explotarlo como cultivo en un mediano plazo; sin embargo, el hecho de que las plantaciones se hallen asentadas en suelos de las orillas de la Laguna de Yarinacocha, le permite al suelo reponer los nutrientes después de cada cosecha y, a las plantas estar expuestas a la presencia de metales pesados, absorbidos producto de los sedimentos transportados por las aguas de la laguna en cada inundación (Panduro, 2015).

Sí la intención es propiciar la máxima expresión del potencial productivo de las plantas cultivadas, es importante generar y aplicar prácticas de manejo del cultivo tendientes a aprovechar al máximo los insumos proporcionados. En este contexto, el manejo de la nutrición de las plantas es un aspecto crucial desde el punto de vista fisiológico y económico (Rodríguez, 2001), pues en producción agrícola bajo condiciones protegidas, aprovechar al máximo toda la expresión del potencial genético de la plantas es mandatorio. Los estudios de demanda nutrimental contabilizan los requisitos de cosecha, la extracción total o el consumo de nutrimentos que efectúa un cultivo en particular para completar su ciclo de producción.

Las curvas de extracción son parte de estos estudios y permiten el conocimiento de la demanda de nutrimentos de acuerdo con la etapa fenológica de un cultivo; son muy útiles para establecer programas de fertilización ya que permiten un ajuste más preciso con el fin de maximizar la eficiencia de la fertilización en el ciclo del cultivo (Bertsch, 2003); de manera que se pueda definir la cantidad de nutrimentos que la planta requiere diariamente durante su ciclo de crecimiento; teóricamente, esta es la cantidad mínima de nutrimentos que deben suministrarse al cultivo.

En ese sentido, este trabajo tuvo como objetivos, analizar la concentración nutrientes y metales pesados de las hojas y frutos del camu camu en su biomasa estacional, y estimar la extracción de nutrientes y metales pesados por la cosecha en un entisols de Ucayali.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Fundo “Paraíso”, ubicado en el Caserío “Santa Rosa”, Distrito de Yarinacocha, Provincia Coronel Portillo, Región Ucayali. Geográficamente localizado en las coordenadas de la zona 18L UTM 541477 E y 9083 073 N en el sistema WGS 84 a una altitud de 148 msnm. El tipo, diseño y nivel de investigación desarrollado es básico, descriptivo y transeccional, respectivamente.

Al azar, se seleccionaron 80 plantas de un población de 1650 plantas.ha⁻¹, francas de siete años de edad, a las cuales se defoliaron totalmente para uniformizar el brotamiento y sincronizar la producción, manualmente. La concentración elemental, se determinó mediante análisis químico, conforme a la fenología del cultivo, desde el brotamiento hasta la cosecha, se tomaron muestras de hojas y frutos de la tercera y cuarta hoja de los brotes del año y de las ramas fruteras del tercio medio de la planta, respectivamente, a los 44 (brotamiento I), 88 (brotamiento II), 133 (fructificación), 181 (llenado de fruto) y 210-234 (fruto maduro) días después de la defoliación. En las dos primeras evaluaciones se obtuvieron 8 muestras foliares y en las tres restantes, 24 muestras entre foliares y frutos. El análisis químico de las muestras, se realizaron a partir de la materia seca de cada órgano, pesada en campo y posteriormente secada a estufa a 60°C, hasta obtener un peso constante; luego, mediante la digestión húmeda nitro-perclórica, se determinaron los tres macronutrientes primarios: para el Nitrógeno se realizó mediante el método de la micro-Kjeldahl modificado; para el Fósforo, mediante colorimetría con el método amino – naftol sulfónico (color azul) y para el Potasio, por espectrometría de absorción atómica. Los macronutrientes secundarios, micronutrientes y metales pesados, se determinaron mediante fotometría de absorción atómica de flama.

La determinación de la cantidad de nutrientes y metales pesados extraídos durante el desarrollo fenológico del cultivo (biomasa estacional), que inició con el brotamiento y terminó con la cosecha de frutos; se realizaron a partir de la concentración de nutrientes y metales pesados encontrados en las hojas y frutos; utilizando la Fórmula 1, para concentraciones expresadas en porcentaje (%) o 2, para concentraciones reportadas en partes por millón (ppm=mg.kg⁻¹), ambas propuestas

por Bertsch (2005), que se modificaron de la siguiente manera:

$$A_x = \frac{PS \times [X]}{100} \quad (1)$$

Dónde:

A_x: Cantidad de elemento (nutriente o metal pesado) absorbido por el tejido, en 1ha

PS: Peso seco del tejido, en kg/ha

[X]: Concentración del elemento (nutriente o metal pesado), en %.

$$A_x = \frac{PS \times [X]}{1000} \quad (2)$$

Dónde:

A_x: Cantidad de elemento (nutriente o metal pesado) absorbido por el tejido, en 1ha

PS: Peso seco del tejido, en kg/ha

[X]: Concentración del elemento (nutriente o metal pesado), en mg/kg.

La determinación de la cantidad de nutrientes y metales pesados extraídos por el órgano objetivo de la producción, que en este caso vienen a ser los frutos del camu camu en la cosecha; se realizaron utilizando la fórmula (3), modificación de lo propuesto por Bertsch (2005).

$$E_x = \frac{A_{xii}}{R} \quad (3)$$

Dónde:

E_x: Cantidad de elemento (nutriente o metal pesado) extraído por tonelada de fruto

A_{xii}: Absorción total del elemento, en kg/ha (nutriente o metal pesado), en kg/ha

R: Rendimiento total de frutos, en t/ha.

Para la determinación de los niveles de concentración de nutrientes se utilizó la Guía General para el criterio de rangos: niveles críticos (deficiencia), de suficiencia, y tóxicos de los nutrientes vegetales, adaptado de Bennett (1993), citado por Correndo y García (2012) y lo reportado por Viégas, Thomaz, Silva, Conceição y Naiff (2004); para metales

pesados en hojas o frutos, la adaptación realizada por Díaz (2014).

Los suelos del área en estudio, presentaron una textura media a fina, con reacción muy fuertemente ácida (pH: 4,63 – 4,97), sin problemas de sales (C.E. 0,52 – 0,33 dS/m). Los niveles de materia orgánica varían de medios a bajos (2,80 – 1,71%). El Fósforo disponible es medio (7,8 – 13,0 ppm) y el Potasio disponible es de medio a bajo (156 - 36 ppm). La CICe es alta (16,96 – 22,08 meq/100g suelo). La fertilidad natural de la capa arable fue media; según lo contrastado con la Tabla de interpretación de análisis de suelos de Tomassini y García (2003).

RESULTADOS

Concentración de nutrientes y metales pesados en hojas y frutos

La dinámica de las concentraciones de macronutrientes encontrados en las hojas (Tabla 1), que básicamente obedecen a la fertilidad que ostenta el suelo donde se desarrolló la investigación, tendieron a variar conforme discurrían las fases. Siendo en el caso del Nitrógeno, suficiente sólo hasta la fase de fructificación; sin embargo, pese a que el Fósforo y el Potasio disponible fueron de medio a bajo, en el suelo, estos no estuvieron aparentemente en el nivel de suficientes para las necesidades de las hojas. En cuanto a los macronutrientes secundarios, estos se reportan como suficientes durante todas las fases, excepto el Azufre que sólo en la fase de fructificación se registró en el nivel crítico; sin embargo, todos ellos coinciden en presentar un quiebre en la fase de fructificación, en fases previas sus concentraciones son descendentes y en fases posteriores, son ascendentes. Percibiéndose que las concentraciones de Calcio y Magnesio, se encuentran ligadas al muestreo, dado que las hojas del camu camu son perennifolias y desde el brotamiento hasta la cosecha, el tejido foliar empieza a envejecer y estos al ser elementos inmóviles se acumularon periódicamente, después de formar a las hojas, la corteza y la lignificación de los brotes. En el caso del Azufre, su baja en la fase de fructificación puede estar asociada a la disminución de las concentraciones de Nitrógeno, ya que ambos son elementos constituyentes de moléculas orgánicas, dado que en esta fase las hojas realizan un gran esfuerzo para atender las necesidades de los nuevos órganos como los son los frutos.

Sobre la concentración de los macronutrientes en los frutos de camu camu (Tabla 2), podemos apreciar que el Nitrógeno, Fósforo y Magnesio tienden a disminuir conforme a la maduración del fruto; contrario a lo que ocurre con el Potasio, Calcio y Azufre, cuyas concentraciones decrecen sólo hasta el llenado de frutos, para luego incrementarse hasta la maduración del fruto.

Por otro lado, cada microelemento presentó contenidos variables entre las fases y órganos evaluados, resaltando el Manganeso, cuyo contenido en hojas fue mayor y ascendente conforme a su maduración, resultando tales

concentraciones tóxicas. En cuanto a las tres últimas fases fenológicas (fructificación, llenado de fruto y fruto maduro), tanto a nivel de hojas y frutos podremos notar que los microelementos, en ambos tejidos, tuvieron el mismo patrón de concentración total: Mn > Fe > B > Zn > Cu.

Ahora, en cuanto a los metales pesados, en las hojas (Tabla 1), se muestra que las concentraciones de Cadmio, se encuentra presente en todas las fases evaluadas; y en los frutos (Tabla 2), el Cadmio, Plomo y Cromo, sólo fueron encontrados en la fase de fruto maduro.

Tabla 1. Concentración de nutrientes y metales pesados en hojas, durante las fases fenológicas del camu camu.

Fase Fenológica	Macronutrientes (%)						Micronutrientes (ppm)					Metales pesados (ppm)			
	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Zn	Cu	Mn	Fe	B	Cd	Pb	Cr
Brotamiento I (44 ddd)	2,27	0,18	1,06	0,61	0,20	0,18	0,03	29,50	11,25	378,75	78,50	41,25	0,004	0,00	0,00
Brotamiento II (88 ddd)	2,27	0,15	0,75	0,65	0,16	0,12	0,02	29,00	10,75	718,50	57,50	42,25	0,009	0,00	0,00
Fructificación (133 ddd)	2,01	0,13	0,48	0,68	0,13	0,06	0,02	28,25	7,75	813,25	70,50	39,50	0,010	0,00	0,00
Llenado de fruto (181 ddd)	1,79	0,12	0,40	1,03	0,18	0,15	0,02	36,75	8,25	1143,75	71,25	21,00	0,020	0,00	0,00
Fruto maduro (210-134 ddd)	1,74	0,12	0,34	1,65	0,22	0,13	0,02	41,50	9,25	1181,25	62,25	32,25	0,022	0,00	0,00

ddd: Días después de la defoliación.

- : Nivel Crítico y +: Nivel de Suficiencia. Adaptación de Bennett (1993), citado por Correndo y García (2012).

Tabla 2. Concentración de nutrientes y metales pesados en frutos de camu camu, durante las fases fenológicas del camu camu.

Fase Fenológica	Macronutrientes (%)						Micronutrientes (ppm)					Metales pesados (ppm)			
	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Zn	Cu	Mn	Fe	B	Cd	Pb	Cr
Fructificación (133)	1,70	0,24	1,14	0,75	0,16	0,07	0,02	31,25	20,75	328,75	68,00	34,75	0,00	0,00	0,00
Llenado de Fruto (181)	1,39	0,19	1,05	0,27	0,08	0,05	0,02	20,00	14,50	96,50	45,50	21,25	0,00	0,00	0,00
Fruto Maduro (210 - 234)	1,14	0,14	1,10	1,01	0,06	0,10	0,02	25,50	16,50	33,50	85,75	46,00	0,10	23,00	13,50

ddd: Días después de la defoliación.

- : Nivel Crítico y +: Nivel de Suficiencia. Adaptación de Bennett (1993), citado por Correndo y García (2012).

Extracción de nutrientes y metales pesados, en la cosecha de frutos

A partir de los 210 días después de la defoliación (ddd), se inició la cosecha; sin embargo, los resultados de rendimiento total, se obtuvieron a los 234 ddd, correspondiente a la fase fruto maduro (cosecha). En la Tabla 3, se muestra el rendimiento total con 8422,1 kg de fruta.ha⁻¹; rendimiento neto con 7374,26 kg de fruta.ha⁻¹ y rendimiento perdido (frutas no comerciales) con 1047,75 kg de fruta.ha⁻¹.

Tabla 3. Rendimiento neto, rendimiento perdido y rendimiento total (kg.ha⁻¹).

Rendimiento en kg.ha ⁻¹		
Neto	Perdido	Total
7374,26	1047,75	8422,01

Así mismo, en la Tabla 4, se puede observar que por cada tonelada de fruto producido este extrajo: en kg.t⁻¹, Nitrógeno 18,88; Fósforo 1,45; Potasio 7,14; Calcio 9,36; Magnesio 1,58 y Azufre 1,17; y en g/t⁻¹, Zinc 28,02; Cobre 11,16; Manganeso 714,91; Hierro 71,60; Boro 36,93; Cadmio 0,03; Plomo 3,68 y Cromo 2,14. En cuanto al patrón de extracción, este describe el siguiente orden: N > Ca > K > Mg > P > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu > Pb > Cr > Cd.

Tabla 4. Nutrientes y metales pesados extraídos por el fruto en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

		Absorción		Extracción
		Total	Fruto*	1t de fruto
			$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	$\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$
Macronutriente	N	159	15,27	18,88
	P	12	1,92	1,45
	K	60	14,76	7,14
	Ca	79	13,52	9,36
	Mg	13	0,81	1,58
	S	10	1,28	1,17
			$\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$	$\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$
Micronutriente	Zn	236	34	28,02
	Cu	94	22	11,16
	Mn	6021	45	714,91
	Fe	603	115	71,60
	B	311	62	36,93
Metal pesado	Cd	0,22	0,13	0,03
	Pb	31	30,94	3,68
	Cr	18	18,16	2,14

DISCUSIÓN

Concentración de nutrientes y metales pesados en hojas y frutos

Parry, Flexas y Medrano (2005); refieren que, en condiciones de campo, los mecanismos precisos por los cuales se produce el metabolismo de las plantas, son complejos y variables según la especie, etapa de desarrollo y el medio ambiente. Por ello, al ser las hojas, los órganos donde se realiza la mayor actividad de la planta, los asimilados producidos por la fotosíntesis en los órganos fuente (principalmente las hojas), pueden ser almacenados o translocados, vía floema, a los diferentes órganos sumideros como los frutos (Tekalign y Hammes, 2005). Es así que, los nutrientes funcionalmente importantes, reportados como los principales factores limitantes del crecimiento, el desarrollo, y finalmente del rendimiento económico de los cultivos, como refiere Parry, Flexas y Medrano (2005); tales efectos, se han observado en campo, porque aunque la planta continuó creciendo y desarrollándose, los periodos de desarrollo reportados por Abanto (2010) con el uso de fertirriego, fueron mayores en las fases de brotamiento I, con 52 ddd y brotamiento II, con 90 ddd, pero menor en las fases de fructificación hasta fruto maduro (cosecha), con 205 ddd, en contraste a los definidos por Casas (2014), con 44; 88 y 210 ddd, respectivamente

En cuanto a la dinámica de las concentraciones de los macronutrientes en los frutos, obedecen a su disponibilidad en el suelo y el aparente uso direccionado por la planta, suponiendo que las hojas utilizan lo necesario para sus funciones pero se reserva otra parte para asegurar la fructificación; atribuyéndose a ello, la relativa cosecha tardía obtenida a partir de los 210 días después de la defoliación, como efecto final de lo descrito por Parry, Flexas y Medrano (2005). Por otro lado, siendo el camu camu, un fruto del tipo baya, las concentraciones suficientes de Calcio y Potasio permitieron la síntesis de proteínas, activación de enzimas transporte de carbohidratos y aminoácidos, reportados en su composición nutricional por Sotero (2006) citado por Pinedo, *et al.* (2010), así como mantener la consistencia de la pulpa, durante su maduración y la adecuada formación y coloración de su cáscara y semillas.

Sin embargo, si contrastamos las concentraciones de los macronutrientes de hojas (Tabla 1) y frutos (Tabla 2), debemos considerar lo referido por Bennett (1993), citado por Correndo y García (2012), al indicar que los valores críticos varían considerablemente dependiendo de la especie de cultivo, etapa de crecimiento y parte de la planta; a lo que agregamos la influencia de la fertilidad del suelo donde se realizó este estudio; razones a los cuales se atribuyen la relativa cosecha tardía obtenida a partir de los 210 días después de la defoliación, no repercutiendo en el rendimiento del cultivo, cuando lo comparamos con los testigos de trabajos similares. Esto último, del rendimiento, se explicaría con lo afirmado por Viégas *et al.* (2004), cuando mediante la técnica del elemento faltante, determinó que los tenores foliares adecuados para el camu camu están entre 16,2 y 18,2 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Nitrógeno; 1,2 a 1,9 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Fósforo; 5,2 a 6,0 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Potasio; 1,4 a 3,6 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Magnesio; 9,9 a 11,7 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Calcio y de 2,4 a 2,8 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Azufre; los valores obtenidos en este estudio, son relativamente cercanos, con 22,7 a 17,4 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{N}$; 1,2 a 1,8 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{P}$; 3,4 a 10,6 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{K}$; 6,1 a 16,5 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{Ca}$; 1,3 a 2,2 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{Mg}$ y 0,6 a 1,8 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{S}$.

Ahora, contrastando las concentraciones de los micronutrientes de las hojas (Tabla 1) y frutos (Tabla 2) del camu camu con la guía general para el criterio de rangos: niveles críticos (deficiencia), de suficiencia, y tóxicos de los nutrientes vegetales, adaptado por Bennett (1993), citado por Correndo y García (2012), nos percataremos que tanto en hojas y frutos

el Boro, Cobre, Hierro (crítico en la fase de llenado de frutos, en frutos), Manganeso (tóxico en todas las fases, en hojas y en la fase de llenado de fruto, en frutos) y el Zinc estuvieron en un nivel de Suficiencia, generalmente.

En cuanto a la toxicidad del Manganeso, Dechen y Nachtigall (2006), citan que las concentraciones de este elemento en las plantas varían entre 5 y 1500 mg.kg⁻¹ de materia seca de la planta, dependiendo de la planta y la especie, además consideran que concentraciones entre 20 y 500 mg.kg⁻¹ son adecuadas para un desarrollo normal de las plantas. Sin embargo, estas concentraciones están directamente relacionadas a la necesidad de la planta, dado que el Manganeso cumple, entre otras funciones, la síntesis del ácido ascórbico (Devlin, 2000; Usón, Boixadera y Martín, 2010); por ser un nutriente relativamente inmóvil en el floema y que el camu camu presenta foliación perenne, (Sánchez, 2007); así como también a la naturaleza de los suelos, que según Dechen y Nachtigall (2006), la consecuencia de la disponibilidad del Manganeso, es favorecida en suelos con menores potenciales redox (suelos inundables).

En general, los patrones de concentración de macro y/o micronutrientes encontrados en los tejidos de las hojas y frutos del camu camu, obedecen a las modificaciones propias de su especie vegetal y a las condiciones de crecimiento (Ferraris, 2011). Así mismo, podrían estar relacionadas con algunas de sus propiedades nutraceuticas. Sin embargo, es importante considerar que la concentración de un nutriente en una planta no es un valor fijo, sino que varía debido a varias causas, por lo que a medida que el crecimiento de una planta progresa, ocurren marcados cambios en la concentración de nutrientes en los tejidos o partes de la planta (Barbazán, 1998); siendo probable que, la disminución de algunos de los nutrientes que se produce conforme al desarrollo fenológico del cultivo, se deba a un efecto de dilución atribuido a un rápido crecimiento de la planta en ese periodo; especialmente de aquellos elementos que son móviles dentro de la planta, tendiendo a disminuir conforme a su madurez para trasladarse hacia los tallos (Bakker, 1999, citado por Rengel, Montañó y Gil, 2011) u otros órganos.

Las concentraciones de los metales pesados

encontrados en las fases precedentes se deben a la capacidad de traslocación de estos metales pesados están ligadas a la mayor acumulación de fotosintatos y agua que se da en esta fase, y aprovechan que el fruto constituye el principal órgano de demanda y que todos los fotosintatos se movilizan hacia él (Usón, Boixadera y Martín, 2010). Por lo que al igual que en otros cultivos, ha desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, translocar y acumular sustancias, como algunos metales y metaloides no esenciales debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos (Lasat, 2000); ligados a los momentos fisiológicos en los que se llevaron a cabo los muestreos, ya que las plantas tienen diversas rutas metabólicas (Miranda, Carranza y Fischer, 2008). Por otro lado, al no existir literatura específica sobre los Límites Máximos Permisibles (LMP) de concentración de elementos pesados como el Cadmio, Plomo y Cromo en hojas o en frutas del camu camu reportadas en este estudio, y referencialmente guiarnos de la adaptación realizada por Díaz (2014), encontramos que para el alimento: pulpa de frutas, los Contenidos Máximos de Plomo es 0,2 ppm, de Cadmio es 0,02 ppm y de Cromo es 0,1 ppm, según la normativa de la Unión Europea y Brasileña respectivamente; los cuales son rebasados por los valores encontrados en los frutos en la fase de Fruto maduro, con 23,0 ppm, 0,10 ppm y 13,5 ppm, de Plomo, Cadmio y Cromo, respectivamente; resultando preocupante, dado que el objeto del cultivo de camu camu radica en las propiedades nutraceuticas de su fruto y que estas son consumidas generalmente de manera directa.

Extracción de nutrientes y metales pesados, en la cosecha de frutos

Considerando la fertilidad natural del suelo donde se realizó el estudio y que el material vegetal utilizado corresponde a plantas francas de camu camu de 7 años, sembradas a una densidad de 1650 plantas.ha⁻¹, produjo 8422,01 kg.ha⁻¹ (5,10 kg fruto.planta⁻¹), los resultados obtenidos superan los reportados por López, Romero, Vargas y Díaz (2005), quienes al probar el efecto de cinco niveles de nitrógeno en el rendimiento de camu camu arbustivo de 7 años e injerto en un entisol de Pucallpa,, de clase textural arcillo limosa, pH mayor de 6,7 y menor de 7,0, CIC entre 10,16 y 19,4 meq/100 ml, suelo de excelentes

características químicas y físicas, bajo contenido de materia orgánica y por consiguiente niveles bajos de nitrógeno total (0,07–0,09%) y nitrógeno disponible (55–70 kg.ha⁻¹), sembradas a una densidad de 833 plantas.ha⁻¹, sólo alcanzaron con el Testigo, 3.58 t.ha⁻¹ (4,30 kg fruto.planta⁻¹); recomendado el Tratamiento 3 (90 kg N.ha⁻¹). Así también, Abanto (2010) en un Ultisol deficiente en materia orgánica (1,4%), fósforo (0,4 ppm) y potasio (25 ppm), con un pH = 4,58, alta toxicidad de aluminio (6 meq/100 g) y CIC = 6,72 meq/100 g de suelo, donde aplicó 5 tratamientos mediante la técnica del Fertirriego en un sistema de riego por goteo en plantas de camu camu de siete años de edad, sembradas a una densidad de 833 plantas.ha⁻¹, obtuvo con el Testigo 2,7 t.ha⁻¹, no existiendo diferencias significativas con los demás tratamientos para la variable rendimiento, pero sí para la variable concentración de ácido ascórbico, recomendando el Tratamiento 2 [60-40-80/N-P-K].

Es probable que los mejores rendimientos obtenidos, en comparación a los logrados por López, Romero, Vargas y Díaz. (2005), y Abanto (2010), pueden deberse al tipo de plantas (injertas: menor número de ramas=menor número de frutos), a la calidad de los suelos donde ejecutaron sus respectivas investigaciones o que las escalas propuestas en la Guía general para el criterio de rangos: niveles críticos (deficiencia), de suficiencia, y tóxicos de los nutrientes vegetales (Bennett (1993), citado por Correndo y García (2012), ameritan su revisión y consideren que las concentraciones reportadas en los tejidos evaluados, se encuentran dentro de los rangos de suficiencia para la especie *M. dubia*; pudiéndose adaptar lo determinado por Viegas, et al., (2014).

Sin embargo, lo que resalta de estos resultados no es netamente la capacidad del suelo para sostener una productividad de 8 422,01 kg.ha⁻¹, aun a 234 días después de la defoliación relativamente tardía, según lo reportado por Abanto, et al. (2011), sino que estos son fuente de metales pesados trasladados hacia los frutos (objetivo de la producción), en la fase de fruto maduro, superando los LMP de las normas respectivas; se cree que el origen del Plomo Cadmio y Cromo encontrados, proceden de los residuos y efluentes de la vida urbana, el uso de vehículos de combustión interna (Pais y Benton - Jones, 1997; Prasad, 2004), cuyas

consecuencias ambientales derivadas de la generación de los residuos mencionados es la elevación del tenor de metales en los suelos (Adriano, 2001); en concordancia a lo informado por el GOREU (2010), refiriendo que los principales agentes de contaminación en la laguna se deben a que es el receptor final de aguas servidas del Hospital Amazónico de Yarinacocha, urbanización Pedro Portillo (FONAVI) y Malecón Yarinacocha (viviendas y comercio).

En el cultivo de camu camu (*M. dubia* HBK), bajo condiciones de un entisol de Yarinacocha, el nivel de fertilidad química del suelo influyó en las concentraciones de los elementos nutritivos durante las fases evaluadas, repercutiendo directamente en la capacidad de absorción y extracción de los nutrientes por las plantas de camu camu.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, C. (2011). *Efecto del fertirriego sobre la productividad del camu camu (Myrciaria dubia HBK Mc Vaugh) en la Región de Ucayali*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.
- Abanto, C., Cruz, C. O., Domínguez, G., Meza, A., & Chagas, E. A. (2011). *Fertirriego en la producción del camu camu (Myrciaria dubia HBK Mc Vaugh) en la estación experimental del IIAP, Ucayali, Perú*. *Scientia Agropecuaria*, 2(3), 157-167.
- Adriano, C. (2001). *Trace elements in terrestrial environments: Biogeochemistry, bioavailability, and risks of heavy metals*. Second edition, New York: Springer-Verlag.
- Barbazán, M. (1998). Análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencia de nutrientes. Informe de asistente de fertilidad de suelos. Montevideo: Facultad de Agronomía, Universidad de la República.
- Bertsch, F. (2003). *Absorción de nutrimentos por los cultivos*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica.
- Bertsch, F. (2005). Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. *Informaciones Agronómicas*, 57, 1-10.

- Casas, J. (2014). *Curva de absorción de nutrientes en la biomasa estacional del cultivo de camu camu (Myrciaria dubia HBK Mc Vaugh) en suelos de Yarinacocha (Pucallpa)*. Tesis para optar el grado de maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Correndo, A., & García, F. (2012). Concentración de nutrimentos en planta como herramienta de diagnóstico: Cultivos extensivos. *Recuperado de <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1155>*.
- Dechen, A. R., Nachtigall, G. R., & Fernandes, M. S. (2006). Micronutrientes. *Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 327-354.
- Devlin, M. (2000). *Fisiología vegetal*. Barcelona: Omega.
- Díaz, A. A. (2014). Metales pesados. *España: Secretaria de Estado de turismo y comercio*.
- Ferraris, G. N. (2011). Micronutrientes en cultivos extensivos. ¿Necesidad actual o tecnología para el futuro? En: FO García & AA Correndo (eds.) *Simposio Fertilidad* (2011). La nutrición de cultivos integrada al sistema de producción. Pp.121-133. International Plant Nutrition Institute. Acassuso. Argentina.
- Ferraris, G.N. (2011a). Micronutrientes en cultivos extensivos. ¿Necesidad actual o tecnología para el futuro? En: *Simposio Fertilidad* (2011). García, F.O., & A.A. Correndo (Eds.). La nutrición de cultivos integrada al sistema de producción. *Actas Simposio Fertilidad* (2011). 18 y 19 de Mayo del 2011. Rosario, Santa Fe, IPNI Cono Sur - FertilizarAC: 121-133.
- Gobierno Regional de Ucayali - GOREU. (2010). Estudios de impacto ambiental semi detallado – Anexos: Proyecto de acondicionamiento turístico del Lago de Yarinacocha. Pucallpa. Perú.
- Lasat, M.M. (2000). The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil. American Association for the Advancement of Science, Environmental Protection Agency (EPA), Washington DC.
- López, A., Romero, W., Vargas, V. & Díaz, E. (2005). Efecto de cinco niveles de nitrógeno en el rendimiento de *Myrciaria dubia* HBK Mc Vaugh, camu camu arbustivo, en un entisol de Pucallpa. *IIAP - Folia Amazónica* 14 (2), 37 – 41.
- Miranda, D., Carranza, C. & Fischer, G. (2008). Calidad del agua de riego en la Sabana de Bogotá. *Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Bogotá*.
- Pais, I., & Jones Jr, J. B. (1997). *The handbook of trace elements*. CRC Press.
- Panduro, N. (2015). *Dinámica de la absorción de los nutrientes y metales pesados en la biomasa estacional del cultivo de camu camu (Myrciaria dubia HBK), en un entisol de Yarina cocha*. Tesis para optar el grado de maestría. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María.
- Parry, J., Flexas, J. & Medrano, H. (2005). Prospects for crop production under drought: research priorities and future directions. *Annals of Applied Biology*, (147), 211-226.
- Pinedo, M., Delgado, C., Farroñay, R., Del Castillo, D., Imán, S., Villacrez, J., Fachín, L., Oliva, C., Abanto, C., Bardales, R., Vega, R. & Linares, C. (2010). Camu camu (*Myrciaria dubia*, Myrtaceae) *Aportes para su aprovechamiento sostenible en la amazonía peruana*. IIAP. Iquitos.
- Prasad, M. N. V. (2004). *Heavy Metal Stress in Plants: From Biomolecules to Ecosystems*. Springer Science & Business Media.
- Rengel, M., Montañó, J., & Gil, F. (2011). Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en caña de azúcar: I Macronutrientes. *Bioagro*, 23(1), 43-50.
- Rodríguez, E. V. (2001). *Fisiología de la producción de los cultivos tropicales*. Editorial Universidad de Costa Rica.
- Sánchez, J. (2007). Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas. *Fertitec SA* Disponible en: [www.fertitec.com/pdf/fertilidad% 20del% 20suelo% 20y% 20nutrición/ Diciembre](http://www.fertitec.com/pdf/fertilidad%20del%20suelo%20y%20nutrición/Diciembre).

- Tekalign, T., & Hammes, P. S. (2005). Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth: II. Growth analysis, tuber yield and quality. *Scientia Horticulturae*, 105(1), 29-44.
- Tomassini, L. & García, S. (2003). Fertilidad de suelos: Lecturas de práctica. Guía de prácticas. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú. 50pp.
- Usón, A., Boixadera, J. & Martin, A. (2010). *Tecnología de suelos: estudio de casos*. España: Prensas Universitaria de Zaragoza y edicions de la Universitat de Lleida.
- Viégas, I. D. J. M., Thomaz, M. A. A., Silva, J. F. D., Conceição, H. E. O. D., & Naiff, A. P. M. (2004). Effect of omission of macronutrient and boron on growth, on symptoms of nutritional deficiency and mineral composition in camucamu zeiro plants (*Myrciaria dubia*). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(2), 315-319.
- Yuyama, K. (2011). A cultura de camu-camu no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33 (2), 335-690. Recuperado de <http://www.scielo.br/scielo.php>.

Correo electrónico: nmpt80@gmail.com

Revisión de pares:

Recibido: 31-03-2016

Aceptado: 24-06-2016