

PRODUCCIÓN DE HOJARASCA POR EL AGUACATE 'HASS' Y SU CONTRIBUCIÓN POTENCIAL DE NUTRIENTES EN TRES LOCALIDADES DE COLOMBIA

Tamayo-Vélez, Álvaro¹; Correa-Londoño; Guillermo²; Osorio, Nelson W.³

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, C.I. La Selva, Km. 7 Vía Las Palmas, Rionegro, Antioquia, Colombia. Correo-e: atamayo@corpoica.org.co. ²Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Calle 59 A. No. 63-20, Medellín 050034 Colombia. ³Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Calle 59 A. No. 63-20, Medellín 050034, Colombia.

Resumen

La producción de hojarasca por año y su aporte de nutrientes en los huertos de aguacate cv. Hass fueron estudiados en tres sitios de Colombia con diferentes altitudes. La producción anual de hojarasca (base seca) fue de 7.0, 4.8 y 3.6 t ha⁻¹ en Támesis (1.340 m), Jericó (1.900 m) y Entrerríos (2.420 m), respectivamente. La hojarasca tenía alta concentración de N (1.2-1.3%) y, en consecuencia, generó una fuente de N relativamente alta (46.8-81.7 kg ha⁻¹ año⁻¹). La concentración de Ca de la hojarasca fue también alta (1.3-1.6%) y su oferta fue de 50.4-109.2 kg ha⁻¹ año⁻¹. Por el contrario, la concentración de P fue muy baja (0.10- 0.11%) y, por lo tanto, presentó un bajo suministro de P (3.7-5.5 kg ha⁻¹ año⁻¹). La concentración de K en la hojarasca también fue baja de 0.28 a 0.35% y el suministro de K fue de 10.7-24.4 kg ha⁻¹ año⁻¹. En este estudio se muestra el potencial de algunos nutrientes en el ciclado, debido a la alta producción de hojarasca en el cultivo del aguacate 'Hass'.

Palabras claves adicionales: *Persea americana*, hojarasca, reabastecimiento de nutrientes, reabsorción de nutrientes, dinámica de nutrientes.

LITTER PRODUCTION IN 'HASS' AVOCADO ORCHARDS AND ITS POTENTIAL CONTRIBUTION OF NUTRIENTS AT THREE LOCATIONS IN COLOMBIA

Abstract

Annual litter production and the corresponding nutrient supply from orchards of avocado cv. Hass were studied in three sites of Colombia with different altitudes. The annual production of leaf litter (dry basis) was 7.0, 4.8, and 3.6 t ha⁻¹ in Támesis (1,340 m), Jericó (1,900 m), and Entrerríos (2,420 m), respectively. Leaf litter had a high concentration of N (1.2-1.3%) and consequently generated a relatively high N supply (46.8-81.7 kg ha⁻¹ yr⁻¹). The leaf litter Ca concentration was also high (1.3-1.6%) and its supply was 50.4-109.2 kg ha⁻¹ yr⁻¹. In contrast, the concentration of P was very low (0.10-0.11%) and thus had a low P supply (3.7-5.5 kg ha⁻¹ yr⁻¹). The K concentration in leaf litter was also low 0.28 to 0.35% and the K supply was 10.7-24.4 kg ha⁻¹ yr⁻¹. The high production of leaf litter and the potential supply of some nutrients determined in this study showed the potential for nutrient cycling in the cultivation of 'Hass' avocado.

Additional keywords: *Persea americana*, litterfall, nutrient return nutrient resorption nutrient dynamics.

Introducción

El aguacate (*Persea americana* Mill.) se cultiva en una amplia gama de condiciones climáticas (Dreher y Davenport, 2013). La cosecha total de frutas en 2014 fue de 3.9 millones de ton, el 86% provino de los países en desarrollo (FAO, 2013). América Latina y el Caribe será la principal región productora del mundo. Actualmente, México y Chile son dos de los mayores exportadores de aguacate aunque Perú y Colombia están aumentando en este mercado. Para el 2012 el área plantada con aguacate cv. Hass en Colombia alcanzó 7,000 ha, 75% más que en 2008. Recientemente, se informó que en 2016 hay 12,900 ha de este cultivar (Andrés Mejía, comunicación personal, 2017). En Colombia, uno de los principales factores limitantes para producir aguacate 'Hass' es la acidez extrema del suelo y la poca disponibilidad de nutrientes en el suelo (Tamayo y Osorio 2014). Esto se suele corregir con dosis muy altas de cal, fertilizantes solubles y enmiendas orgánicas en diferentes etapas del cultivo (establecimiento, desarrollo, productivo) (Castellanos y León, 2010), que pueden llevar a desequilibrios nutricionales y a contaminar los mantos freáticos. El suministro continuo de hojarasca en las plantaciones y la liberación de nutrientes asociada a ésta es una forma natural de mantener o incluso mejorar la fertilidad del suelo (Prause et al., 2002; Salazar-García et al., 2007; Domisch et al., 2008; Wang et al., 2008). Por lo tanto, la cuantificación de la producción de hojarasca y la dinámica de su descomposición son factores cruciales en la comprensión del ciclo de los nutrientes en los agroecosistemas (Salazar-García, 2002; Sadeghian, 2010). Otro factor es la reabsorción de los nutrientes foliares durante la senescencia de las hojas, que tiene fuertes implicaciones en la dinámica de los nutrientes en el árbol y afecta la calidad de la hojarasca (Del Valle, 2003; Schussl et al., 2008). A pesar de su importancia, se desconoce la tasa de producción de hojarasca en huertos de aguacate, así como el contenido de nutrientes en el mismo y la liberación adicional de nutrientes por descomposición, particularmente en diferentes condiciones climáticas. Esto limita el balance de nutrientes en el momento de planificar los programas de fertilización. Nuestra hipótesis es que la tasa de producción de hojarasca y su contenido de nutrientes puede variar en huertos plantados en diferentes sitios con altitudes contrastantes y se asocia con condiciones climáticas. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue caracterizar descriptivamente la producción de hojarasca en huertos de aguacate cv. Hass y su contribución potencial de nutrientes al suelo en tres altitudes contrastantes de sitios a lo largo del tiempo.

Materiales y Métodos

Se seleccionaron árboles de aguacate cv. Hass de cinco años de edad, injertados sobre portainjertos de raza Antillana, ubicados en tres zonas productoras del Departamento de

Antioquia (Cuadro 1). Los árboles están establecidos a un distanciamiento de 5 x 7 m (285 árboles ha⁻¹).

Se realizaron análisis físicos y químicos del suelo cuyos resultados se presentan en la Cuadro 2.

Cuadro 1. Localidades donde se evaluó la producción de la hojarasca (Fuente: Espinal y Montenegro, 1977).

Clima	Municipio	Altitud (m)	Temp. (°C) ^z	Humedad rel. (%)	PP anual (mm) ^z	Brillo solar (h)	Zona de vida	Taxonomía de suelos ^y
Templado	Támesis	1350	23	85	1900	1726	bh-	Ultic
							PM	Melanudand
Templado	Jericó	1900	19	85	2500	2430	bh-	Typic
							MB	Hapludand
Frío	Entrerríos	2420	16	83	1917	1684	bh-	Ultic
							MB	Melanudand

^zInformación obtenida de estaciones meteorológicas cercanas. Temperatura y humedad relativa son promedio mensual anual. ^ySoil Survey Staff (2014). Los perfiles de los suelos fueron descritos y clasificados por el Profesor Juan Carlos Loaiza, Universidad Nacional de Colombia.

Cuadro 2. Características químicas de los suelos en los tres municipios.

Municipio	pH	MO %	Al	Ca	Mg	K	Na	P	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
			-----cmol _c kg ⁻¹ -----				-----mg kg ⁻¹ -----							
Támesis	4.8	28	2.4	1.2	0.6	0.25	0.05	8	7	58	2	5	20	0.2
Jericó	5.0	13	1.7	2.4	0.9	0.37	0.01	13	43	115	2	6	4	0.1
Entrerríos	5.4	26	1.6	3.4	4.8	0.76	0.16	20	43	177	16	49	7	2.1

La producción de hojarasca se analizó como un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Se evaluaron en tres árboles de cada localidad. Para tal fin se instalaron trampas de hojarasca hecha de plástico polisombra de máxima retención de luz en el área que proyecta la copa del árbol en el suelo (5 x 4 m). Durante un año, quincenalmente se recolectó la hojarasca caída. La hojarasca colectada se secó en horno a 65 °C hasta obtener su peso constante y luego se determinó, mensualmente, su peso seco.

En las muestras de suelo se determinó: pH en agua (1:1); MO Walkley y Black; Al KCl 1M; Ca Mg K y Na acetato de amonio 1M; P Bray II; S fosfato de calcio 0.008 M; Fe Mn Cu y Zn Olsen-EDTA; B agua caliente. Se determinó N total por el método EPA (351.3 modificado). El P, K, Ca y Mg se extrajeron por el método de digestión cerrada con ácido nítrico: peróxido de

hidrógeno: agua (5:1:2) y luego determinación analítica por espectrofotometría. Los protocolos están descritos en Westermann (1990).

Para medir la eficiencia en el uso de nutrientes se utilizó el índice de Vitousek (IEV) (Vitousek, 1984). Éste se define como la relación entre la masa seca de la hojarasca y el contenido de nutrientes en ella o el inverso de la concentración de nutrientes ($IEV = MSH / Cn \times MSH = 1/Cn$); donde MSH= Materia seca de hojarasca ($kg\ ha^{-1}\ año^{-1}$) y Cn= concentración del nutriente.

Para medir la reabsorción de nutrientes en la senescencia de las hojas (Hojarasca) se tomaron muestras de hojas maduras libres de plagas y enfermedades. La reabsorción se evaluó empleando el modelo propuesto por Finzi et al. (2001) el cual relaciona la concentración de los nutrientes presentes en las hojas verdes/maduras y la hojarasca ($ERN = [(A-B)/A] \times 100$); Donde ERN= Eficiencia en la reabsorción de nutrientes; A= concentración del nutriente en las hojas verdes (%); B= concentración del nutriente en la hojarasca (%).

Resultados y Discusión

La producción de hojarasca durante el año de evaluación fue de 4.8, 7.0 y 3.6 $t\ ha^{-1}$ en Támesis, Jericó y Entreríos, respectivamente. La dinámica de la caída se vio afectada por el régimen de lluvias en todas las localidades. La hoja antes de caer, realiza un proceso de reciclaje de nutrientes, aportando una buena cantidad de éstos al árbol, justo en la época de llenado del fruto. Además, el árbol necesita renovarse en su parte vegetativa, cuando la floración viene acompañada de crecimiento vegetativo nuevo, situación que se da por aparición de la gran mayoría de las inflorescencias indeterminadas, que ocurren en el aguacate. Tal comportamiento puede estar asociado a los flujos de biomasa o cambios en estados fisiológicos encontrados recientemente por Bernal (2015).

Aporte potencial de nutrientes vía hojarasca (HF)

El orden de la concentración de los nutrientes fue la siguiente: $Ca > N > K > Mg > P$. La concentración de los elementos en la hojarasca presentó mayor concentración de Ca en todas las localidades, siendo más alta para Jericó (1.58%). En los tres sitios el contenido de P fue muy bajo (0.1%) situación similar se observó para el K, esto quizás como resultado de la reabsorción diferencial de nutrientes como se explicará más adelante. Según las funciones que cumplen en los tejidos vegetales, el K es muy móvil pero el Ca no lo es; esto también ayuda a explicar por qué de las diferencias (Cuadro 3).

El aporte potencial de nutrientes presentó el siguiente orden: $Ca > N > K > Mg > P$. En todas las localidades el mayor aporte se observó para el Ca, siendo la localidad de Jericó donde hubo

mayor aporte ($109 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Situación similar fue observada en los aportes potenciales para N siendo el más alto para Jericó. Esto es consistente porque fue la localidad donde mayor producción anual de hojarasca y además porque el Ca permanece en la hoja. En todas las localidades los aportes de P fueron muy bajos ($3.7\text{-}8.3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) situación similar ocurrió para el K con aportes bajos, confirmando esto la alta fijación de fosfatos y la alta movilidad del potasio (Cuadro 4).

Cuadro 3. Concentración media ponderada de elementos en la hojarasca y su Potencial Aporte de nutrientes en huertos de aguacate cv. Hass en tres sitios de Antioquia con altitud contrastante.

Municipio	(%)					$\mu\text{g g}^{-1}$				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Támesis	1.19	0.11	0.28	1.31	0.29	125	10	20	22	21
Jericó	1.18	0.12	0.35	1.58	0.32	73	20	97	21	17
Entrerríos	1.30	0.10	0.30	1.40	0.32	176	26	61	58	44

En Támesis el aporte potencial de nutrientes presentó un patrón decreciente de la siguiente forma: $\text{N } 59.04 > \text{P } 5.5 > \text{K } 14.1 > \text{Ca } 58.8 > \text{Mg } 1212 > \text{S } 2016 \text{ (kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}\text{)}$, en contraste en Jericó aumentó aproximadamente 30%: $\text{N } 84 > \text{P } 7.75 > \text{K } 25.27 > \text{Ca } 109 > \text{Mg } 22.1 > \text{S } 49.5 \text{ (kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}\text{)}$. En Entrerríos se presentó una disminución del 40% en el aporte potencial de nutrientes en la hojarasca respecto a la localidad de Jericó. El retorno potencial en promedio fue de $\text{N } 42.1 > \text{P } 3.9 > \text{K } 14.95 > \text{Ca } 51.3 > \text{Mg } 11.64 > \text{S } 12.20 \text{ (Cuadro 4)}$.

Cuadro 4. Producción anual de hojarasca (PAH) y su potencial aporte de nutrientes en huertos de aguacate cv. Hass en tres sitios de Antioquia con altitud contrastante.

Sitio	PAH ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)	Aporte potencial de nutrientes ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)									
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Támesis	4 785 b	57.0 (4.9) ^z	5.5 (0.5)	13.2 (2.1)	62.7 (4.6)	13.8 (0.7)	0.60 (0.07)	0.05 (0.01)	0.96 (0.07)	0.11 (0.02)	0.10 (0.01)
Jericó	6 931 a	81.7 (13.0)	8.3 (0.8)	24.4 (4.3)	109.2 (11.2)	21.9 (1.2)	0.51 (0.05)	0.14 (0.01)	0.67 (0.10)	0.15 (0.17)	0.11 (0.20)
Entrerríos	3 600 c	46.8 (3.8)	3.7 (0.2)	10.7 (2.4)	50.4 (3.4)	11.6 (0.7)	0.63 (0.04)	0.95 (0.01)	2.20 (0.04)	0.21 (0.04)	0.16 (0.23)

^zCoefficiente de variación.

El aporte potencial del N en la caída de hojarasca en Támesis fue variable durante el año, teniendo un pico pronunciado en agosto 2013, el cual fue mayor que en las otras localidades.

En Entreríos el aporte de N vía caída de hojarasca fue un poco similar al de Jericó, hasta el abril 2003; sin embargo, presentó dos picos importantes y pronunciados en enero-febrero, junio y julio. En Jericó se observó el mayor aporte potencial de este elemento (septiembre 2013) producto del mayor volumen de HF registrado (Cuadro 4).

El comportamiento del aporte potencial del P fue muy similar en todas las localidades a excepción de la localidad de Jericó, donde se presentó un pico pronunciado al final de la toma de hojarasca. En todas las localidades, el aporte potencial por muestreo de este elemento fue menos de 1 kg ha^{-1} , esto confirma lo limitante de este elemento en suelos tropicales. El aporte potencial del K en la localidad de Jericó, presentó tres picos pronunciados en octubre 2012, enero y septiembre 2013, el cual fue superior que en las otras localidades (Cuadro 4). El aporte potencial en Támesis (13.2 kg ha^{-1}) fue muy similar a Entreríos (10.7 kg ha^{-1}), aunque un poco más alto. El calcio se presentó como en los elementos anteriores. Hubo mayor retorno potencial en Jericó con tres picos pronunciados: octubre y diciembre 2012 y septiembre 2013. En Támesis y Entreríos el aporte potencial fue similar durante el año de muestreo; sin embargo, un poco más alto para la localidad de Támesis especialmente en marzo-abril 2013 (Cuadro 4). El Mg fue similar al Ca en las tres localidades aunque a una escala menor. En Jericó ocurrieron tres picos: junio y octubre 2012, y septiembre 2013. Para Támesis y Entreríos fue muy similar durante el segundo semestre de 2012, de ahí en adelante se presentó un pico muy pronunciado en febrero-marzo. En Entreríos se presentaron dos picos de diciembre-enero y junio-julio. En Entreríos y Támesis el aporte de S fue de $13\text{-}15 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Para Jericó se duplicó a $36 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, en el cual se presentaron tres picos considerables en octubre 2012, y marzo y septiembre 2013.

La mayor reabsorción de nutrientes foliares se observó para el K (ERN=50%) y N (ERN= 47), mientras que el Mg con ERN=24% se comportó como el nutriente menos móvil. El comportamiento de los índices de eficiencia y de reabsorción fue muy similar en las tres localidades (Cuadro 6). La mayor eficiencia en el uso de nutrientes se encontró en el Mg (IEV=330) y en el K (IEV=284); la menor eficiencia fue para Ca (IEV=72).

Cuadro 5. Distribución mensual de macronutrientes como aporte potencial (kg ha⁻¹) vía hojarasca en aguacate cv. Hass en tres localidades de Antioquia (2012-13).

Mes	N			P			K		
	Támesis	Jericó	Entrerríos	Támesis	Jericó	Entrerríos	Támesis	Jericó	Entrerríos
Oct 12	3.38	8.26	0.80	0.45	0.97	0.08	1.37	4.52	0.53
Nov	1.51	1.75	0.36	0.13	0.16	0.04	0.47	0.63	0.32
Dic	5.72	8.56	1.58	0.76	1.28	0.27	1.66	6.76	1.06
Ene 13	9.67	9.71	15.70	1.06	0.72	1.16	3.05	2.70	2.04
Ma.	12.00	4.93	7.01	1.00	0.39	0.54	2.70	1.71	2.02
Abr	13.12	4.03	3.73	1.09	0.34	0.29	2.08	0.69	0.89
Mayo	1.68	7.33	1.66	0.14	0.61	0.14	0.30	1.71	0.46
Jun	3.25	6.11	9.83	0.26	0.47	0.68	0.55	0.80	1.80
Sep	3.75	23.43	2.20	0.30	2.81	0.19	0.50	3.28	0.31
Oct	2.93	7.56	3.97	0.29	0.54	0.35	0.53	1.59	1.29
Desv.	4.31	5.86	4.87	0.39	0.77	0.34	1.01	1.96	0.69

Cont. Cuadro 5.

Mes	Ca			Mg			S		
	Támesis	Jericó	Entrerríos	Támesis	Jericó	Entrerríos	Támesis	Jericó	Entrerríos
Oct 12	3.04	17.50	1.39	0.62	3.06	0.32	0.79	8.26	0.38
Nov	1.58	3.58	0.42	0.35	0.60	0.13	0.57	3.58	0.10
Dic	5.91	11.13	2.06	1.01	2.65	0.44	1.52	1.84	0.48
Ene 13	11.12	9.71	14.54	2.95	2.16	3.31	0.97	0.72	1.16
Mar	15.00	4.33	8.35	3.10	1.08	2.06	3.00	0.59	0.54
Ab.	17.49	4.37	4.31	3.39	0.97	0.70	2.19	1.68	1.44
Mayo	2.24	9.47	2.00	0.42	1.92	0.48	1.12	4.67	0.62
Jun	2.47	7.29	8.81	0.60	1.50	2.37	2.08	6.35	5.42

Sep	1.95	33.73	3.15	0.71	6.37	0.59	1.20	4.69	0.29
Oct	1.90	8.10	5.35	0.63	1.62	1.17	1.17	3.24	1.04
Desv	6.02	9.00	4.38	1.24	1.65	1.06	0.75	2.49	1.56

Los aportes encontrados de hojarasca en estas localidades son similares a los detectados en arreglos agroforestales por Murovhi et al. (2012) en aguacate, mango y litchi, cuyos valores fueron 5.6, 6.3 y 8.3 t ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. En Costa Rica, Di Stefano y Fournier (2005) determinaron durante un año la caída de hojarasca y la tasa de descomposición de hojas del árbol forestal conocido como “cebo” (*Vochysia guatemalensis*). Sus reportes indicaron que la mayor tasa de deposición del material fue durante diciembre a abril. Las concentraciones medias entre las tres localidades de nutrientes en la hojarasca de aguacate ‘Hass’ siguieron la secuencia Ca>N>K>Mg>P, siendo los valores de Ca superiores a los de bosques secos de tierras bajas tropicales (1.7 kg ha⁻¹ año⁻¹) (Singh et al., 2004). La contribución de la hojarasca varía según el ecosistema considerado. Trabajos realizados por Rebolledo et al. (2008) en aguacate cv. Lorena encontraron una relación entre el periodo seco y los estadios del desarrollo floral. Los picos de mayor número de brotes en los estadios A y B se presentan durante la época seca y el incremento en la precipitación coincide con un mayor número de brotes en el estado D1 definido como el estado coliflor (Salazar-García et al., 1998). El comportamiento encontrado para el trópico colombiano coincide con los reportes hechos por Wolstenholme y Whiley (1990) quienes describen como factor inductor de la floración para el trópico al estrés hídrico. En este trabajo la mayor producción de hojarasca durante el año de evaluación en las tres localidades coincidió con periodos secos (verano) Esta estacionalidad en producción de hojarasca ocurre con muchas otras especies.

Aporte potencial de nutrientes por la hojarasca

La hojarasca de aguacate cv. Hass estuvo caracterizada en todas las localidades por altos contenidos de N y bajos contenidos de P (Cuadro 3). Los mayores valores de N y P se presentaron en la Jericó (59 y 7.75 kg ha⁻¹ año⁻¹) similar situación ocurrió para el K Ca Mg y S con retornos de 25.27; 109.12; 221 y 49.5 kg ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente. Los menores retornos de nutrimentos se encontraron en la localidad de Entreríos los cuales fueron: N (42.11) P (3.89) K (51.31) Mg (11.64) kg ha⁻¹ año⁻¹ (Cuadro 3). Las altas concentraciones foliares de N en la hojarasca coincidieron en su mayoría con las reportadas para bosques y plantaciones de tierras bajas tropicales (Castellanos y León, 2010). Se destaca que el P es el elemento que

menos se aporta en la hojarasca ($5.71 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y así su potencial reciclaje puede estar limitado. Se cree que la alta tasa re-translocación antes de la caída de la hoja, esto es reportado por varios autores entre ellos Gallardo et al. (2009) en ambientes tropicales.

Cuadro 6. Valores medios de los índices de eficiencia de Vitousek (IEV) y de eficiencia de la reabsorción (ERN) del aguacate cv. Hass en tres localidades de Antioquia.

Sítio	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
IEV											
Támesis	81.3	826	338	81.6	367	238	8368	105108	6228	61320	54477
Jericó	84.0	909	279	64.5	318	142	9259	32818	6349	32207	34950
Entrerríos	83.7	909	237	69.0	304	289	6976	57887	2096	20685	27745
ERN											
Támesis	35.7	56.30	50.6	13.9	12.1	63.6	2.04	37.50	36.3	33.3	22.22
Jericó	50.0	82.24	48.4	60.8	47.8	64.3	-85.6	-65.71	55.6	8.88	43.75
Entrerríos	55.3	82.24	51.6	40.4	122	64.3	-15.2	68	10.0	-22	62.29

IEV: índice de eficiencia en el uso de nutrientes de Vitousek. ERN: índice de eficiencia de la reabsorción (%).

Las bajas concentraciones foliares de P reflejaron su carácter limitante para la nutrición vegetal. De hecho el valor crítico propuesto por Aerts (1997) para la relación N/P en la hojarasca (11.9) aquí fue claramente superado (valor medio N/P=105.6) señalando una aguda deficiencia de P. En especies con limitantes en P algunos autores dan umbrales entre 12.5-26.3 y de 6.7 y 16 para el caso de N (Güsewell y Verhoeven 2006; 2003; Niinemets y Kull, 2005). La contribución potencial de nutrientes por la hojarasca a través del tiempo siguió la misma tendencia de la caída de la hojarasca, o sea, en este estudio fue mayor en las dos épocas más secas del año bajo estudio (dic.-ene. y ago.-sep.).

Las concentraciones de nutrientes fueron en general mayores en los meses menos lluviosos situación asociada además a los picos de producción de hojarasca. En términos generales en la contribución promedio de nutrientes por ha por año sería Ca con 73.07 kg, N 61.64 kg, S 27.28 kg, K 18.14 kg y Mg 15.28 kg. Trabajos realizados en plantaciones de café bajo sistemas agroforestales indican la siguiente contribución de nutrientes ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$): N 61, P 9, K 55, Ca 23 y Mg 11; de acuerdo con Farfán y Urrego (2007), estos árboles aportaron a través de su hojarasca de la siguiente manera Nogal: N 23 P 1.5 K 26 Ca 104 y Mg 19; Eucalipto: N 11, P 1.1, K 34, Ca 20 y Mg 4. Dichos resultados son comparables en cantidades y orden de suministro de nutrientes con los del presente trabajo.

Los valores de ERN registrados para P fueron medios cuando se comparan con los reportados para otras plantaciones y para bosques de tierras bajas tropicales (Swamy et al., 2004; Cárdenas y Campo 2007). Los valores de ERN fueron similares a los reportados por Cavelier (1996) para bosques tropicales de tierras bajas (29-50%). Los valores de eficiencia en el uso de N se corresponden con los de bosques y plantaciones tropicales de tierras bajas (Moran et al., 2000). No obstante, los valores de ERN se encuentran cerca de su límite inferior. Aunque se encontraron valores altos de ERN para N en todas las localidades. El valor medio del IEV para N (83) fue inferior al reportado para plantaciones de *Eucalyptus* sp. de África (592) (Laclau et al., 2000) y cercano a los valores indicados por Smith et al. (1998) para el Amazonas brasileiro (IEV: 84.8 para bosques naturales y IEV: 96.5 para plantaciones de *Carapa guianensis*). A pesar de las limitaciones de P encontradas su reabsorción fue inferior a la de otros bosques secos (35%) (Murphy y Lugo, 1986) pero coincidió con los valores señalados por Cavelier (1996) para bosques tropicales de tierras bajas (29-50%) donde usualmente se presentan limitaciones de P para la nutrición vegetal. Los valores medios de ERN para Ca mostraron que a pesar de su baja movilidad este nutriente es reabsorbido en mayores proporciones incluso (30.8%) que Mg (12.97%). Nuestros valores IEV para Ca y Mg se localizaron muy por debajo de los reportados para plantaciones de tierras bajas tropicales (Castellanos y León 2010). Aunque los valores de ERN de K fueron altos (56.7%) los valores del IEV fueron en términos generales inferiores a los de otros estudios (Cárdenas y Campo 2007). Aun cuando se ha argumentado que nutrientes móviles como K requeridos para diferentes procesos fisiológicos son con frecuencia reabsorbidos su fácil lavado foliar puede disminuir las concentraciones en las hojas verdes y con ello sobreestimar los cálculos de la reabsorción (Ramírez et al., 2007).

Conclusiones

La producción anual de la hojarasca del aguacate 'Hass' fue alta en todas las localidades evaluadas y representó una fuente importante de materia orgánica y de nutrientes. El suministro potencial de nutrientes por medio de la hojarasca en función del tiempo siguió la misma tendencia de la caída de la hojarasca, o sea fue mayor en la épocas más secas.

Literatura Citada

- Aerts, R.1997. Climate leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: A triangular relationship. *Oikos* 79:439-449.
- Bernal, E.J.A. 2015. Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia Tesis de Doctor en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agrarias Medellín, Colombia 250 p.

- Cárdenas, I., and J. Campo. 2007. Foliar nitrogen and phosphorus resorption and decomposition in the nitrogen fixing tree *Lysiloma microphyllum* in primary and secondary seasonally tropical dry forests in Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 23:107-113.
- Castellanos, J., y J.D. León. 2010. Caída de hojarasca y dinámica de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium* (Mimosaceae) de Antioquia Colombia. *Acta Biológica Colombiana* 15(2):289-308.
- Cavelier, J. 1996. Environmental factors and ecophysiological processes along altitudinal gradients in wet tropical mountains. pp: 339-439. In: Mulkey, S.S., R.L. Chazdon, and A.P. Smith (Eds.). *Tropical Forest Plant Ecophysiology*. Chapman and Hall, USA.
- Del Valle-Arango, J.I. 2003. Cantidad calidad y nutrientes reciclados por la hojarasca fina en bosques pantanosos del Pacífico Sur Colombiano. *Interciencia* 28(8): 443-449.
- Di Stefano, J., and L. Fournier. 2005. Caída de hojarasca y tasas de descomposición de las hojas de *Vochysia guatemalis* en una plantación de 10 años Tabarcia de Mora Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(1):9-16.
- Domisch, T.M. Ohashi, L. Finer, A.C. Risch, L. Sundstrom, J. Kilpeinem, and P. Niemela. 2008. Decomposition of organic matter and nutrient mineralisation in wood ant (*Formica rufa* group) mounds in boreal coniferous forests of different age. *Biology and Fertility Soils*. 44:539–545.
- Dreher, M.L., and A.J. Davenport. 2013. Hass avocado composition and potential health effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 53:738-750.
- Espinal, L.S., y E.Montenegro.1977. Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa sobre el mapa de ecológico IGAC Bogotá. pp: 238.
- FAO. 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>. Consultado: 30 de noviembre 2014.
- Finzi, A.C., A.S. Allen. E.H. De Lucia., D.S. Ellsworth, and W.H. Schlesinger. 2001. Forest litter production chemistry and decomposition following two years of free-air CO₂ enrichment. *Ecology* 82:470-484
- Gallardo, A., F. Covelo., L. Morillas, y M. Delgado. 2009. Ciclos de nutrientes y procesos edáficos en los ecosistemas terrestres: especificidades del caso mediterráneo y sus implicaciones para las relaciones suelo-planta. *Ecosistemas* 18(2):4-19.
- Laclau, J.P., J.P. Bouillet., and J.Ranger. 2000. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of Eucalyptus in Congo. *Forests Ecology and Management* 128:181-196
- Moran, J., M.G. Barker., A.J. Moran., P. Becker., and S.M. Ross. 2000A comparison of the soil water nutrient status and litterfall characteristics of tropical heath and mixed-dipterocarp forest sites in Brunei. *Biotropica* 32:2-13.
- Murovhi, N.R., S. Materecheram., and S. Mulugeta. 2012. Seasonal changes in litter fall and its quality from three sub-tropical fruit tree species at Nelspruit South Africa. *Agroforestry Systems* 86:61-71.
- Murphy, P.G., and A.E. Lugo. 1986. Ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematic* 17:67-68.
- Niinemets, Ü., and K. Kull. 2005. Co-limitation of plant primary productivity by nitrogen and phosphorus in a species-rich wooded meadow on calcareous soils. *Acta Oecologica* 28:345–356.
- Sadeghian, K.S. 2010. La materia orgánica: Componente en la sostenibilidad de los agroecosistemas cafeteros. Chinchiná: Cenicafé 61 p.
- Salazar-García, S. 2002. Nutrición del Aguacate Principios y Aplicaciones Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en asociación con el Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Querétaro, México. 1ra impresión. 165 p.
- Salazar-García, S., L.E. Cossio-Vargas y I.J.L. González-Durán. 2007. Reciclamiento de nutrimentos por las hojas de aguacate "Hass". VI Congreso Mundial de la Palta-Aguacate-Avocado. Viña del mar, Chile, 12 al 16 Noviembre. Memorias, 3a-102, 10 p

- Singh R., Kumar R., and M. Agrawal, 2004. Litter decomposition and nutrient release in relation to atmospheric deposition of S and N in a Dry Tropical Region. *Pedobiologia*.48:305-311.
- Smith, C.K., H.L. Gholz, and F. Oliveira. 1998 Litterfall and nitrogen-use efficiency of plantations and primary forest in the eastern Brazilian Amazon. *Forests Ecology and Management* 109:209-220.
- Swamy, S.L., S.K. Kushwaha, and S. Puri. 2004. Tree growth biomass allometry and nutrient distribution in *Gomelina arborea* stands grown in red lateritic soils of central. India *Biomass Bioenergy* 26:305-317.
- Tamayo, A., y W. Osorio. 2014. Nutrición y Fertilización. pp:183-212 . In: Bernal, A., y C. Díaz (Eds.). Manual técnico Actualización Tecnológica y buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en el cultivo del aguacate. Corpoica, Medellín, Colombia.
- Vitousek, P., D.Turner., W. Parton., and R. Sanford. 1994. Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matrix Hawaii I: patterns mechanisms and models *Ecology* 75: 418-429
- Vitousek, P.M. 1984. Litterfall nutrient cycling and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology* 65(1): 285–298.
- Wang, Q., S Wang, and Huang .2008. Comparisons of litterfall litter decomposition and nutrient return in a monoculture *Cunninghamia lanceolata* and mixed stand in southern China. *Forest Ecology and Management* 255:1210-1218.
- Westerman, R.L. 1990. Soil testing and plant analysis. Soil Science Society of America. 3rd ed. p. 757.
- Wolstenholme, B., and A. Whiley. 1990. Prospects for vegetative – reproductive growth manipulation in avocado trees. South African Avocado Growers Association Yearbook. 16:21-24.