

## Importancia de la hojarasca en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.)

M. K. Mera<sup>1</sup>, R. Ramírez<sup>2</sup>, E. I. Leiva<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia

Es ampliamente reportada la importancia de la hojarasca en los cultivos, en especial en el caso del cacao, sin embargo, la información cuantitativa del aporte de materia orgánica, de nutrientes, de carbono y las distintas funciones que cumple la hojarasca en el suelo, son ambiguas e insuficientes. La descomposición de la hojarasca es un proceso principalmente biótico influenciado por diversos factores, entre los que se encuentra la precipitación, temperatura, calidad de la hojarasca y poblaciones de macro y microorganismos. Se estableció la dinámica de la hojarasca bajo el cultivo de cacao durante 14 meses, en las zonas de vida bh-T (Uraba, Colombia) en los genotipos LK-40, FCH-8 y CCN-51 y 13 meses en bh-PM (Maceo, Colombia), en FSV-41, FCH-8 y CCN-51, donde se estimó la tasa de descomposición y el aporte de nutrientes de la hojarasca. Para estimar la descomposición de la hojarasca se utilizó el método de contenedores de descomposición, los cuales medían 30 x 30 cm, con apertura de 7 mm de diámetro, se distribuyeron al azar por genotipo. Se cuantificó el contenido de nutrientes N, P, S, Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Zn, B, la respiración del suelo de acuerdo a la metodología propuesta por Alef et al (1995), se consideró la resistencia a la penetración, la humedad volumétrica del suelo y el carbono total. El aporte de hojarasca bajo un cultivo de cacao de 3 años en bh-T fue de 4 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> y en un cultivo de 5 años en bh-PM de 6 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, la hojarasca presentó un tiempo medio de descomposición en la zona de vida bh-T de 379.63 días, el aporte de nutrientes por la hojarasca al suelo fue en la zona de vida bh-T de 57.0 kg N, 6.3 kg P, 3.4 kg S, 76.2 kg Ca, 25 kg Mg, 24.1 kg K, 4.4 kg Fe, 2.1 kg Mn, 0.04 kg Cu, 0.4 kg Zn, 0.2 kg B y en bh-PM de 68.8 kg N, 4.9 kg P, 4.5kg S, 100 kg Ca, 33.2 kg Mg, 35.9 kg K, 1.6 kg Fe, 2.1 kg Mn, 0.04 kg Cu, 0.3 kg Zn, 0.4 kg B.

### Introducción

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) es fundamental dentro de la economía campesina en Colombia e importante para la conservación del medio ambiente al contribuir en la captura de carbono (Ramírez et al, 2017), conservación de flora, fauna, fuentes de agua y la regulación de los ciclos biogeoquímicos. Dentro de los beneficios que tiene el cultivo de cacao es importante considerar los residuos que son generados durante el ciclo productivo, entre estos la hojarasca, la cual constituye el aporte principal al ciclo de nutrientes, ya que provee de alimento a los microorganismos que alberga, los cuales participan directamente en la dinámica de la descomposición (Moreno, López, Salgado, Espinosa, & Lerma, 2009). Adicional a esto la hojarasca de cacao proporciona protección al suelo, al disminuir la erosión, la pérdida de humedad, contribuir en la regulación de la temperatura en el suelo y reducir el crecimiento de arvenses (Ramírez et al. 2015).

La velocidad de descomposición depende de varios factores, como las condiciones climáticas y la naturaleza química de los materiales que lo componen; algunas sustancias como almidones, celulosa, hemicelulosa y proteínas sencillas son degradados por los microorganismos, obteniendo compuestos intermedios complejos y finalmente los productos simples que son CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, entre otros (Navarro y Navarro, 2003).

El contenido de materia orgánica en el suelo está definido por el proceso de acumulación y por el grado de mineralización de los residuos, presentándose un equilibrio entre éstos procesos para lograr un contenido medio característico de cada tipo de suelo (Mesa, Castro, & Méndez, 1992). En el suelo la materia orgánica sufre procesos de mineralización en la cual se favorece la liberación de CO<sub>2</sub> y de humificación permitiendo la acumulación de carbono orgánico en el suelo (Gallardo, 2000).

---

<sup>1</sup> Estudiante Ing. Agronómica. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. mkmerao@unal.edu.co.

<sup>2</sup> Profesora Universidad Nacional de Colombia, Medellín. eileiva@unal.edu.co.

<sup>3</sup> Profesor Universidad Nacional de Colombia, Medellín. rramirez@unal.edu.co.

La materia orgánica está formada por dos componentes , el primero es una fracción lábil que no está ligada a las partículas del suelo, la cual mantiene las características químicas del material de origen como hidratos de carbono, ligninas, proteínas, taninos, ácidos grasos, entre otros, es fuente disponible de alimento para la microfauna y microflora del suelo, el segundo es una fracción húmica más estable, formada por ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas (Galantin, Rosell, Brunetti, & Senesi, 2002).

La liberación de CO<sub>2</sub> en el suelo se puede presentar por la actividad de las raíces, los microorganismos y los procesos de descomposición de la materia orgánica, el cual es determinado con la medición de la respiración del suelo. La concentración de CO<sub>2</sub> puede ser afectadas por la calidad del suelo, la depositación de N, las condiciones climáticas y las alteraciones humanas, produciendo graves cambios en la atmosfera; ya que es uno de los principales gases de efecto invernadero (Davidson & Janssens, 2006). La respiración del suelo puede ser cuantificada en un área y en un tiempo (Lloyd & Taylor, 1994), permitiendo tomar decisiones para la mitigación de las emisiones de este gas. La siguiente tabla permite clasificar la respiración del suelo.

Tabla 1. Índices generales para clases de respiración del suelo y estado del suelo, en condiciones óptimas de temperatura y humedad, primordialmente para uso agrícola (Woods End Research,1997).

<b>Respiración del suelo kg C [CO<sub>2</sub>/ha/día</b>	<b>Clase</b>	<b>Estado del Suelo</b>
1		
0	Sin actividad del suelo	El suelo no presenta actividad biológica y es virtualmente estéril.
<1	Actividad del suelo muy baja.	El suelo ha perdido mucha materia orgánica disponible y presenta poca actividad biológica.
11 – 18	Actividad del suelo moderadamente	El suelo ha perdido parte de materia orgánica disponible y la actividad biológica es baja.
18 – 36	Actividad del suelo mediana.	El suelo se está aproximando, o alejando, de un estado ideal.
36 – 72	Actividad del suelo ideal	El suelo se encuentra en un estado ideal de actividad biológica y posee adecuada materia orgánica y activas poblaciones de microorganismos.
> 72	Actividad del suelo inusualmente alta.	El suelo tiene un muy elevado nivel de actividad microbiana y tiene elevados niveles de materia orgánica disponible, posiblemente a través del agregado de grandes cantidades de materia orgánica fresca o abonos.

La investigación busca caracterizar la dinámica de la hojarasca en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en las zonas de vida bh-T y bh-PM, se considerará la cantidad de hojarasca aportada, su tiempo de descomposición y el contenido de nutrientes.

## Metodología

### Localización

El proyecto se realizó en las zonas de vida bh-PM y bh-T en el departamento de Antioquia en los municipios de Maceo y Chigorodo.

Se evaluó la dinámica de la hojarasca en la finca Cannes, ubicada en la vereda Betulia, municipio de Maceo, departamento de Antioquia, a 1050 msnm, con una precipitación anual acumulada de 2251 mm y con una temperatura entre 15.4 °C y 31.9 °C para el año 2016, en un cultivo de cacao de aproximadamente 5 años de edad. Esta zona presenta un suelo con clase textural Arcillo Arenoso (ArA), conductividad hidráulica de 17.7 cm h<sup>-1</sup>, Da de 1.2 Mg m<sup>-3</sup>, Dr de 2.7 Mg m<sup>-3</sup> y un porcentaje de porosidad de 54 %.

En la finca la Ilusión en la vereda Champitas, municipio de Chigorodo, departamento de Antioquia, a 30 msnm, con precipitación total de 2980.7 mm, temperatura entre 21°C y 34 °C y humedad relativa de 84% en 2016, en un cultivo de cacao de aproximadamente 3 años de edad. La zona presenta un suelo con clase textural Franco Arcilloso (FAR), conductividad hidráulica de 10.5 cm h<sup>-1</sup>, Da de 1.1 Mg m<sup>-3</sup>, Dr de 2.7 Mg m<sup>-3</sup> y un porcentaje de porosidad de 58%.

Para la evaluación de la descomposición de la hojarasca se empleó la metodología de contenedores de descomposición, estos se construyeron con malla plástica de polietileno de 30 x 30 cm, con una abertura de malla de 7x7 mm. Se dispusieron 33 contenedores por clon, que correspondieron a los genotipos LK-40, FCH-8 y CCN-51 en la zona bh-T y FSV-41, FCH-8 y CCN-51 en bh-PM.

Las hojas maduras para el análisis de la tasa de descomposición se seleccionaron directamente de las plantas de cacao, posteriormente se llevaron a secado en la estufa a 60°C hasta obtener peso constante. En cada contenedor se depositaron 20 g de material vegetal seco y finalmente se llevaron a campo, se distribuyeron de forma aleatoria alrededor de 7 árboles.

Cada 5 semanas se recogieron 9 bolsas por finca, se registró su peso y se llevó una muestra a la estufa a 60°C para realizar corrección de humedad. La descomposición del material se evaluó como la pérdida de peso en el tiempo.

Se evaluó la respiración del suelo con el procedimiento de “la campana de respiración” siguiendo la metodología propuesta por Alef et al (1995) se dispuso en el suelo un recipiente con 20 ml NaOH a una concentración 0,1M. Posteriormente se cubrió con una campana de polietileno, transcurridas 24 horas se adicionó una solución de BaCl<sub>2</sub> al 2% para detener la reacción y precipitar el C inorgánico como BaCO<sub>3</sub> insoluble, la solución se tituló con HCl 0,1M para determinar la cantidad de NaOH que no reaccionó. Se establecieron tres muestras de respiración de forma aleatoria alrededor de los clones en estudio.

La materia orgánica respirada se calculó multiplicando el carbono contenido en el CO<sub>2</sub> cuantificado con la respiración por un factor de 2 (IGAC, 2006).

Se cuantificó por triplicado la humedad volumétrica del suelo con la Sonda Delta-T-Devices Ltd en cada muestreo alrededor de las unidades experimentales.

Para conocer el aporte de hojarasca realizado por los árboles de cacao se usó un marco aforador de 0.25 m<sup>2</sup> y se registró el peso del contenido de hojarasca en esta área, este procedimiento se repitió 5 veces en el área de estudio en cada muestreo.

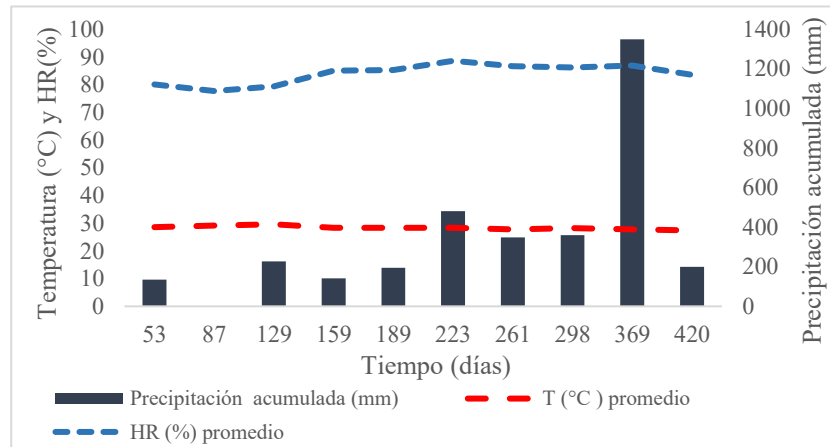
Para la evaluación del contenido de nutrientes en la hojarasca y en el árbol se realizó análisis foliar, considerando la hoja 4 del árbol y la hojarasca que cae al suelo, en donde se analizaron los elementos N, P, S, Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Zn, B.

## Resultados y discusión

### Caracterización del clima en los días de muestreo

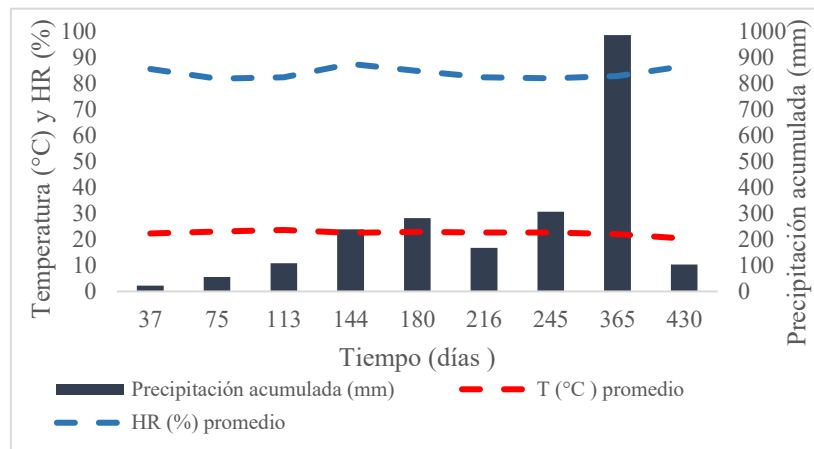
En bh-T la temperatura durante los días de muestreo vario entre 27°C y 30 °C, se puede observar que desde el tiempo cero (establecimiento de los contenedores de descomposición) hasta los 189 días la precipitación acumulada entre fechas de muestreo fue 502.8 mm, siendo entre los 53 y 87 días done menor precipitación se acumuló (0.6 mm), entre los 298 y 369 días se presentó la mayor precipitación acumulada (1349.1 mm) (Fig. 1).

En bh-PM la temperatura durante los días de muestreo vario entre 20.4°C y 23.6°C, se puede observar que se presentan tres picos de precipitación acumulada en los días 180, 245 y 365, con valores de 282.2 mm, 306.6 mm y 986 mm respectivamente, los demás días presentan una precipitación acumulada menor de 250 mm, la HR fluctúa entre 82.1% y 87.5 %. (Fig.2).



\*Los días de muestreo (53, 87, 129, 159, 189, 223, 261, 298, 369 y 420) corresponden a los meses de febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, septiembre, octubre, diciembre de 2016 y febrero 2017 en bh-T

Figura 1. Descripción climática de la zona de vida bh-T en los días de muestreo.



\*Los días de muestreo (37, 75, 113, 144, 180, 216, 245, 365, 430) corresponden a los meses de enero, febrero, marzo, abril, junio, julio, agosto, diciembre de 2016 y febrero de 2017.

Figura 2. Descripción climática de la zona de vida bh-PM en los días de muestreo.

**Tabla 2.** Aporte en t. ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> de hojarasca baja un cultivo de cacao en las zonas de vida bh-T y bh-PM.

Zona de vida	Hojarasca aportada t.ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	Respiración (t CO <sub>2</sub> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup> )	t de C.ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>	t de m.o ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup> respiración	t .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup> m.o que se debe reponer al sistema
bh-T	4.02	16.37	4.46	8.93	4.91
bh-PM	5.97	13.32	3.63	7.27	1.30

\* El carbono en t. ha<sup>-1</sup>. año<sup>-1</sup> presentado en la tabla se calculó a partir del CO<sub>2</sub> respirado en el suelo.

La acumulación de hojarasca bajo el cultivo de cacao en bh-T fue en promedio de 4.02 t. ha<sup>-1</sup>. Año<sup>-1</sup>, la tasa de respiración de 16.37 t. ha<sup>-1</sup>. Año<sup>-1</sup>, el carbono liberado a la atmosfera de 4.46 t. ha<sup>-1</sup>. Año<sup>-1</sup> y la materia orgánica respirada de 8.93 t. ha<sup>-1</sup>. Año<sup>-1</sup>(Tabla 2).

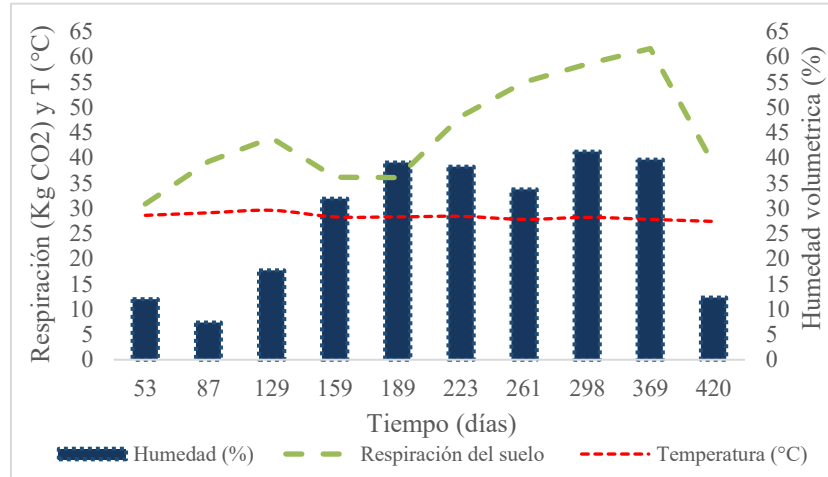
En bh-PM la acumulación de materia orgánica promedio fue de 6 t. ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, con una respiración de 13.32 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, el carbono liberado fue en promedio de 3.63 t. ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> y la materia orgánica respirada de 7.27 t. ha<sup>-1</sup>. año<sup>-1</sup>(Tabla 2).

Los resultados de la investigación se pueden comparar con lo encontrado por Kang (1981) en Nigeria y Costa de Marfil, donde se reportó un aporte de hojarasca de 5.5 t. ha<sup>-1</sup>. año<sup>-1</sup> proveniente principalmente de los eventos de poda, igualmente Salgado (2009) encontró un aporte de hojarasca de 8.12 y 9.45 t. ha<sup>-1</sup>. año<sup>-1</sup> y Sonwa (2004) establece que en una plantación de cacao se puede obtener hasta 10.25 t. ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> hojarasca.

La respiración del suelo en bh-T presentó variaciones aumentando desde el día 189 hasta los 369 días en donde se presentó el mayor pico de respiración, coincidiendo con el más alto contenido de humedad en el suelo (Fig. 5), igualmente se relaciona con los mayores eventos de precipitación en los días de muestreo, los cuales presentan un aumento a partir del día 189 hasta el día 369 donde se presentó la mayor precipitación acumulada (Fig. 1). En bh-PM la respiración del suelo es menor que en bh-T y presenta un comportamiento bimodal, coincidiendo con la precipitación y la humedad del suelo (Fig.2 y Fig 4).

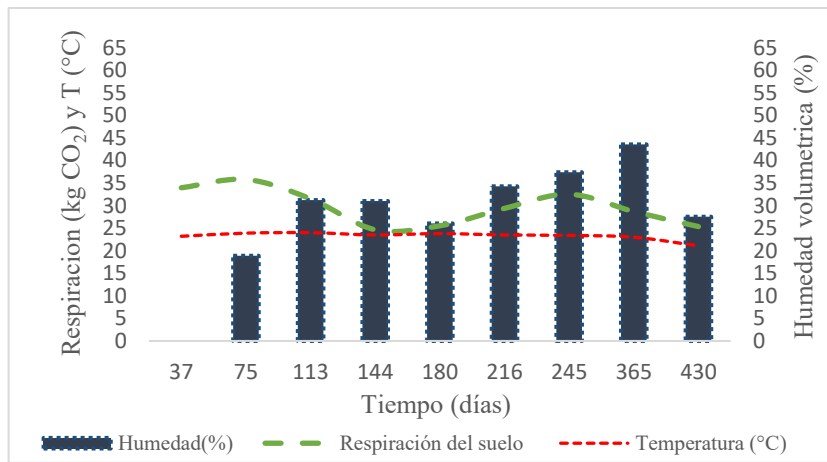
Según Woods y Research (1997) la respiración registrada en bh-T (44.8 kg CO<sub>2</sub>. ha<sup>-1</sup>. día<sup>-1</sup>) representa una actividad del suelo ideal, debido a la actividad biológica, al contenido de materia orgánica y a las activas poblaciones de microorganismos, mientras que en bh-PM (36.49 kg-CO<sub>2</sub>. ha<sup>-1</sup>.día<sup>-1</sup>) está en el límite de la clasificación entre actividad del suelo media, ya que se está alejando de un estado ideal y actividad del suelo ideal (tabla 1). Sin embargo, la respiración del suelo o liberación de CO<sub>2</sub> a la atmosfera también depende de otros factores como la actividad de las raíces, las cuales pueden aportar de un 50 a 55 % del CO<sub>2</sub> que se libera, esto debido a su actividad metabólica (Hanson, Edwards, Garren, & Andrews, 2000). Igualmente, Krebs (2003) menciona que la respiración del suelo está relacionada con la temperatura y la humedad del suelo, indicado procesos de mineralización, donde se da la pérdida de la materia orgánica en forma de CO<sub>2</sub> a la atmosfera. Bowman y Delfino (1980) reporta que en climas cálidos la respiración se encuentra entre 10–100 kg-CO<sub>2</sub>. ha<sup>-1</sup>.día<sup>-1</sup>, pero en la mayoría de suelos se encuentran en el rango de 25 - 40 kg-CO<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup>.día<sup>-1</sup>, sin embargo, estos contenidos varían con el pH, humedad y disponibilidad de N en el suelo. Lo que concuerda con los rangos de respiración encontrados en bh-T y bh-PM.

Bowden et al (1993) menciona que la materia orgánica y la actividad de las raíces contribuye a la respiración del suelo en un 70- 80 %. Además, Brady y Weil (2004) encontraron que la mayor parte del carbono de los residuos vegetales que dejan los cultivos después de un año se va a la atmosfera en forma de CO<sub>2</sub> el cual es medido mediante la respiración, y solo de una quinta tercera parte permanece en el suelo como biomasa viva o humus. Lo anterior se puede corroborar con los resultados encontrados en bh-T donde se respira el doble del C que es aportado por el sistema, por esta razón para mantenerlo en equilibrio se debe adicionar 4.91 t. ha-l. año-1 en base seca de materia orgánica, mientras en bh-PM se respira en promedio 1.3 veces más de la materia orgánica aportada por el sistema (Tabla 2).



\*Los días de muestreo (53, 87, 129, 159, 189, 223, 261, 298, 369 y 420) corresponden a los meses de febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, septiembre, octubre, diciembre de 2016 y febrero de 2017 en bh-T

Figura 3. Comportamiento de la respiración, humedad de suelo y la temperatura bh-T.



\*Los días de muestreo (37, 75, 113, 144, 180, 216, 245, 365, 430) corresponden a los meses de enero, febrero, marzo, abril, junio, julio, agosto, diciembre de 2016 y febrero de 2017.

Figura 4. Comportamiento de la respiración, humedad del suelo y la temperatura bh-PM.

La menor acumulación de materia orgánica y la mayor tasa de respiración encontrada en la zona bh-T beneficia los procesos de mineralización y en menor cantidad de humificación, por lo tanto, hay más liberación de CO<sub>2</sub> a la atmosfera que fijación de carbono al suelo. En bh-PM se benefician más los procesos de humificación que de mineralización. Esto debido a que se presentan mayores temperaturas y precipitaciones en bh-T, beneficiando así los procesos de mineralización según lo expuesto por (Leirós, Cepeda, Seoane, & Sotres, 1999), además, los autores expone que con un aumento de 5°C en temperatura y un aumento del contenido de humedad del suelo del 10% las emisiones de CO<sub>2</sub> por la descomposición de la materia orgánica será aproximadamente el doble con relación a su valor inicial, indicando que los procesos de mineralización serán mayores (Fig.1 y Fig.2).

### Modelo de descomposición de la hojarasca

La descomposición de hojarasca en bh-T se ajustó a un modelo de regresión lineal generalizado usando el paquete gaml/ss de R, donde la varianza no es constante y se modela de la forma:

$$\sigma^2_t = \beta_0 + \beta_1 t \quad (1)$$

El modelo de descomposición de la hojarasca promedio es descrito por la ecuación (2), donde  $\beta_0$ : es el intercepto,  $\beta_1$ : termino lineal,  $\beta_2$ : termino cuadrático y t es el tiempo de descomposición de la hojarasca (fig.5A).

$$y = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 \quad (2)$$

Para determinar el tipo de descomposición en bh-T se despeja de la ecuación (2) el valor de t y se reemplaza por  $\beta_0 = 17.77623$ ,  $\beta_1 = 0.04049$  y  $\beta_2 = -0.00023$  los cuales son estimados a través del paquete gaml/ss de R correspondientes al modelo para esta zona de vida, dando como resultado un tiempo aproximado de descomposición de 379.63 días correspondientes a 1.04 años.

Para bh-PM no se logró establecer un modelo de descomposición debido a que no existe una tendencia clara en los datos y hay exceso de dispersión, por lo que plantear un modelo seria inadecua, sin embargo, se intentó ajustar a un modelo cuadrático sin obtener resultados (fig.5B).

Según Ramírez *et al* (2014) para degradar la hojarasca del cacao son necesario 389 días lo que concuerda con lo encontrado en bh-T, donde se necesitan aproximadamente 379.63 días para que la hojarasca termine su proceso de descomposición.

Algunos autores argumentan que la tasa de descomposición de la materia orgánica puede estar influenciada por las condiciones climáticas como la temperatura y la precipitación, sin embargo, hay casos en los que no se necesitan altas precipitación, debido a que lo importante es conservar la humedad a medida que pasa el tiempo en el suelo, de tal manera que se logre mantener la actividad de la biota obteniendo una descomposición constante (Villegas, 2008), sin embargo, en estudios realizados en sistemas agroforestales en Venezuela se evidencio que la velocidad de descomposición coincidió con los eventos de mayor precipitación y después de la semana 28 de evaluación (Ramon & Wilfredo, 1999). En este caso coincide con las condiciones de bh-T, donde se presentó la mayor tasa de respiración y descomposición en los días donde hay mayor humedad en el suelo y precipitación e igualmente la mayor degradación ocurre cerca de la semana 28 (fig.3, fig. 5). Además, Mafongoya *et al* (1998) afirma que la tasa de descomposición de la hojarasca también puede ser explicada por la calidad del material orgánico, el cual está relacionado con los contenidos de lignina, polifenoles totales, N y P.

Sin embargo, estudios realizados en bosques restaurados y maduros establecen que no es fácil responsabilizar la tasa de degradación de la hojarasca a la T o a la precipitación, debido a que es más probable que sea una interacción entre los dos factores, además se reporta una menor degradación de la hojarasca en los bosques perturbados (Borders, Pushnik, & Wood, 2006). Lo que permite argumentar el largo tiempo de descomposición reportado en esta investigación.

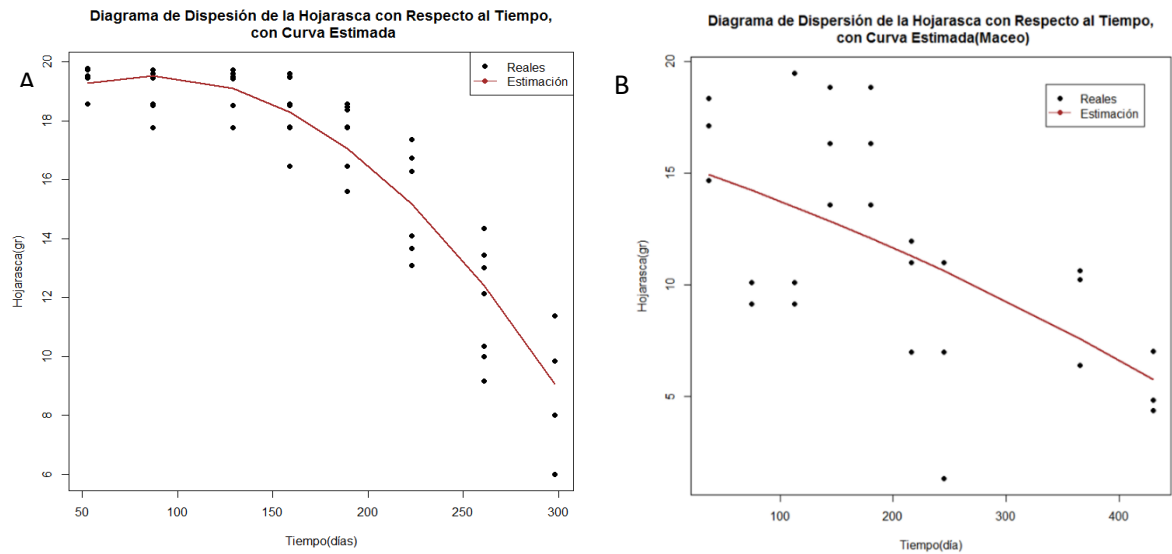
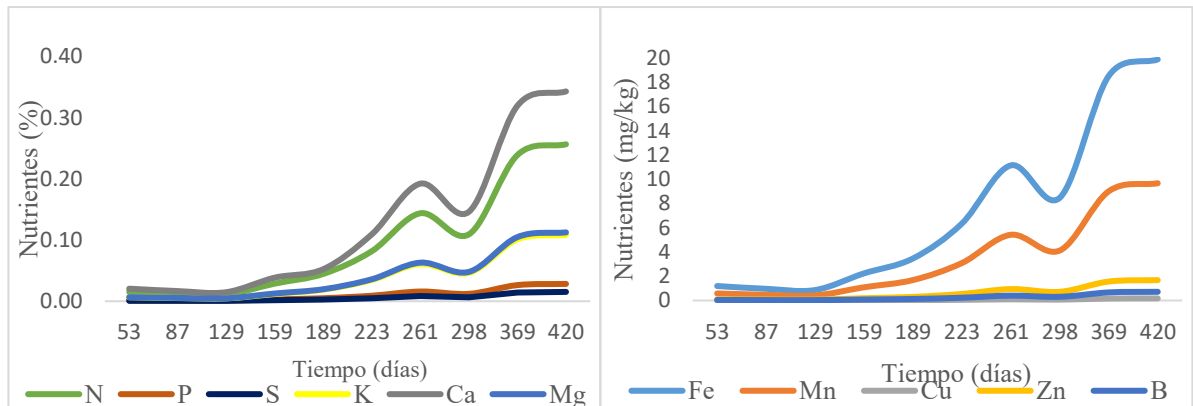


Figura 5. Modelo de descomposición de la hojarasca en bh-T (A) y el comportamiento de los datos en bh-PM.

**Liberación de nutrientes durante la descomposición de la hojarasca.**

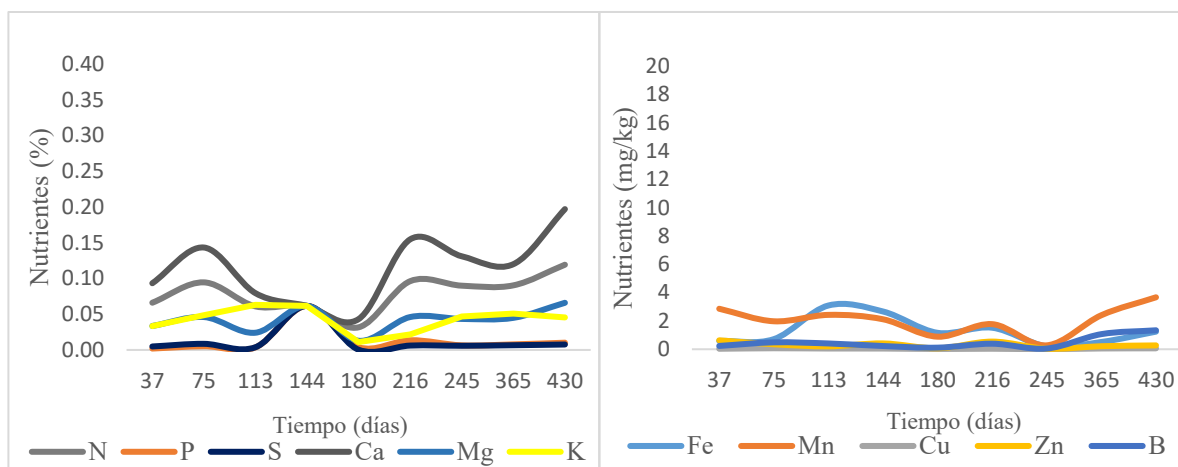
En bh-T se incrementó la liberación de nutrientes por la hojarasca hacia final del año, coincidiendo con los mayores eventos de lluvia y con la mayor tasa de degradación de la hojarasca (Fig.1 y Fig.3). Mientras en bh-PM la liberación de los nutrientes es más lenta y distribuida durante todo el año, siguiendo el comportamiento bimodal de las lluvias y coincidiendo con una tasa de degradación más lenta (Fig.2 y fig.3). Adicional a lo anterior en bh-T hay más liberación de minerales al suelo, esto debido a que se presenta mayor mineralización de la materia orgánica, mientras en bh-PM la liberación es más lenta y en menor cantidad.



\*El contenido de nutrientes presente en la hojarasca en bh-T y bh-PM (N, P, S, Ca, Mg, K %. Fe, Mn, Cu, Zn, B mg Kg<sup>-1</sup>).

Figura 6. Aporte de nutrientes por la hojarasca durante el tiempo de estudio en bh-T





\*El contenido de nutrientes presente en la hojarasca en bh-T y bh-PM (N, P, S, Ca, Mg, K %. Fe, Mn, Cu, Zn, B mg Kg<sup>-1</sup>).

Figura 7. Aporte de nutrientes por la hojarasca durante el tiempo de estudio en bh-PM

Considerando el aporte de hojarasca y de nutrientes en bh-T se calculó la cantidad de nutrientes contenida en 4 t de hojarasca aportada en un año y en bh-PM los nutrientes contenidos en 6 t. Según los análisis foliares realizados en la hojarasca en bh-T el contenido de nutrientes es mayor, lo que concuerda con el análisis realizado en la primera parte de los resultados, donde se argumenta que en bh-T se presentan más procesos de mineralización que de humificación (Tabla 3).

En un estudio realizado en Italia en jara (*Cistus incanus*) reporta que los elementos N, S, K, P, Ca disminuyeron a medida que se presentó la degradación de la hojarasca, mientras que Mg y Mn aumentaron (Fioretto, Papa, Sorrentino, & Fuggi, 2001), lo que no concuerda con lo reportado en esta investigación, debido a que todos los elementos evaluados incrementan a medida que hay mayor degradación de la hojarasca en bh-T, mientras que en bh-PM donde la tasa de degradación es más lenta y presenta un comportamiento similar a la precipitación, humedad del suelo y a la respiración (fig.3 y fig.4) de esta misma forma es el comportamiento de los nutrientes, sin embargo al final se presenta una tendencia a aumentar, con excepción del elemento S, P y Zin (Fig.6 y Fig.7).

En bh-T el contenido de nutrientes es mayor que en bh-PM, con excepción del boro (B) y en igual cantidad los elementos asufre (S), manganeso (Mg) y potasio (K) (Tabla 3).

**Tabla 3.** Nutrientes que contiene la hojarasca aportada al suelo en las zonas de vida bh-T y bh-PM.

Elemento	bh-T		bh-PM	
	Contenido	Aportados por 4.0 t hojarasca (Kg)	Contenido	Aportados por 6 t hojarasca (Kg)
N	1.4	57.0	1.2	68.8
P	0.2	6.3	0.1	4.9
S	0.1	3.4	0.1	4.5
Ca	1.9	76.2	1.7	100.2

Mg	0.6	25.0	0.6	33.2
K	0.6	24.1	0.6	35.9
Fe	1099.7	4.4	265.0	1.6
Mn	534.9	2.1	354.0	2.1
Cu	9.4	0.04	7.2	0.04
Zn	92.8	0.4	54.8	0.3
B	39.5	0.2	68.0	0.4

\*El contenido de nutrientes presente en la hojarasca en bh-T y bh-PM (N, P, S, Ca, Mg, K %, Fe, Mn, Cu, Zn, B mg Kg<sup>-1</sup>).

### Conclusiones

El aporte de hojarasca en bh-T bajo el cultivo de cacao es de 4 t. ha<sup>-1</sup> .año<sup>-1</sup> en un cultivo de 3 años de edad y en bh-PM de 6 t. ha<sup>-1</sup> .año<sup>-1</sup> en un cultivo de 5 años de edad.

El tiempo de descomposición de la hojarasca aproximado en bh-T es 379.63 días.

El aporte de nutrientes por la hojarasca bajo el cultivo de cacao en bh-T en kg es 57.0 kg N, 6.3 kg P, 3.4 kg S, 76.2 kg Ca, 25 kg Mg, 24.1 kg K, 4.4 kg Fe, 2.1 kg Mn, 0.04 kg Cu, 0.4 kg Zn, 0.2 kg B y en bh-PM de 68.8 kg N, 4.9 kg P, 4.5kg S, 100 kg Ca, 33.2 kg Mg, 35.9 kg K, 1.6 kg Fe, 2.1 kg Mn, 0.04 kg Cu, 0.3 kg Zn, 0.4 kg B.

En bh-T la respiración del suelo tiene un comportamiento bimodal, siguiendo el comportamiento de las lluvias en la zona. Mientras que en bh-PM la respiración es de 13.32 t CO<sub>2</sub>. ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, siendo menor que en bh-T.

En bh-T se debe reponer al sistema 4.91 t m.o. ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> en base seca para mantener el sistema en equilibrio.

## Bibliográfica

- Alef, K, Nannipieri, P. 1995. *Methods in applied soli microbiology and biochemitry* .340 p.
- Appiah M. R., Ofori-Frimpong K. and Afrifa A. A. (2000). Evaluation of fertilizer application on some peasant cocoa farms in Ghana. *Ghana Jnl agric. Sci.* Retrieved from <https://www.ajol.info/index.php/gjas/article/view/1869>
- Brady, N., Weil, R. (2014). *Elements of the Nature and Propirties of Soils*, 2/E. Ed. Pearson Prentice Hall, N.J.
- Borders, D., Pushnik, C., & Wood, M. (2006). Comparison of Leaf Litter Decomposition Rates in Restored and Mature Riparian Forests on the Sacramento River , California, *14*(2), 308–315. Retrieved from <https://eurekamag.com/pdf.php?pdf=004509855>
- Bowden, D., Nadelhoffer, J. Boone, D. Melillo, M. Garrison, B. (1993). Contributions of aboveground litter, belowground litter, and root respiration to total soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. Retrieved from <https://doi.org/10.1139/x93-177> .
- Bowman, G. T., y J. J. Delfino. 1980. Sediment oxygen demand techniques: A review and comparison of laboratory and in situ systems. *Water Res.* 14: 491-499. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0043135480902158>
- Davidson, A., & Janssens, A. (2006). Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, 440(March), 165–173. <http://doi.org/10.1038/nature04514>
- Fioretto, A., Papa, S., Sorrentino, G., & Fuggi, A. (2001). Decomposition of *Cistus incanus* leaf litter in a Mediterranean maquis ecosystem: Mass loss, microbial enzyme activities and nutrient changes. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(3), 311–321. [http://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00142-5](http://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00142-5)
- Galantin, J., Rosell, R., Brunetti, G., & Senesi, N. (2002). dinamica y calidad de las fracciones organicas de un haplustol durante la rotacion trigo-leguminosas, *20*(1), 17–26. Retrieved from [http://suelos.org.ar/publicaciones/vol\\_20n1/galantini\\_17-26.pdf](http://suelos.org.ar/publicaciones/vol_20n1/galantini_17-26.pdf) .
- Gallardo, J. (2000). Mineralización y humificación de la materia orgánica del suelo: consecuencias sobre la contaminación, (March 2001). Retrieved from [http://digital.csic.es/bitstream/10261/58319/1/Mineralización y humificación de la materia orgánica del suelo consecuencias sobre la contaminación.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/58319/1/Mineralización_y_humificación_de_la_materia_organica_del_suelo_consecuencias_sobre_la_contaminación.pdf)
- Gonzalez, L., Zelaya, F., & Sánchez, R. (1998). Identification of Soil Compacted Layers Using a Cone Digital Penetrometer, 303–307. Retrieved from <https://chapingo.mx/terra/contenido/16/4/art303-307.pdf> .
- Hanson, P., Edwards, N., Garrten, C., & Andrews, J. (2000). Separating Root and Soil Microbial Contributions to Soil Respiration : A Review of Methods and Observations P . J . Hanson ; N . T . Edwards ; C . T . Garten ; J . A . Andrews. *Biogeochemistry*, 48(1), 115–146. <http://doi.org/10.1023/A:1006244819642>
- Krebs, R. (2003). Respiración del suelo como herramienta para evaluar calidad de fondos en acuicultura. I. Desarrollo de un protocolo estándar para medir dióxido de carbono. *Tesis de Grado*, 67. Retrieved from <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/8666>
- Leirós, M., Cepeda, C., Seoane, S., & Sotres, F. (1999). Dependence of mineralization of soil organic matter on temperature and moisture. *Soil Biology and Biochemistry*, 31(3), 327–335. [http://doi.org/10.1016/S0038-0717\(98\)00129-1](http://doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00129-1)
- Lloyd, J., & Taylor, J. (1994). On the Temperature Dependence of Soil Respiration., *8*(3), 315–323. Retrieved from [http://www.jstor.org.ezproxy.unal.edu.co/stable/2389824?origin=crossref&seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](http://www.jstor.org.ezproxy.unal.edu.co/stable/2389824?origin=crossref&seq=1#page_scan_tab_contents)
- Mafongoya, P., Giller, K., Palm, C. (1997). Decomposition and nitrogen release patterns of tree prunnings and litter. *Agroforestry Systems* 38: 77-97.
- Moreno, S., López, J. F., Salgado, M. G., Espinosa, S., & Lerma, J. N. (2009). Cuantificación , descomposición y contenido nutrimental de hojarasca en dos sistemas agroforestales con cacao (

*Theobroma cacao* L.), 1(7), 10–15. Retrieved from [http://www.dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-2009-ener-jun/cuantificacion\\_descomposicion\\_contenido.pdf](http://www.dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-2009-ener-jun/cuantificacion_descomposicion_contenido.pdf)

- Navarro,S., Navarro, G. 2003. Química agrícola, Madrid España, Aedos s.a.  
<https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=HufLwjgjrC&oi=fnd&pg=PR1&dq=accion+de+los+microorganismos+en+el+suelo&ots=-7F0s66y8&sig=xrMlqGmDbVmjDiFsbogUwL7Ezds#v=onepage&q=accion%20de%20los%20microorganismos%20en%20el%20suelo&f=false>
- Ramírez, R., Rojas,E., Macias,E., Arango,L. (2014) Balance de carbono en cacao (*theobroma cacao* L).
- Ramírez et al ,2017. Calculadora indica cómo compensar contaminación por CO<sub>2</sub>.
- Ramon, E., & Wilfredo, F. (1999). Producción de hojarasca,aporte en nutrientes y descomposicion en sistemas agroforestales de cacao y frutales.
- Salgado, M., Espinosa, S., Moreno, S., & López, J. (2009). Cuantificación, descomposición y contenido nutrimental de hojarasca en dos sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.). *Quehacer Científico En Chiapas*, 1(7), 10–15. Retrieved from [http://www.dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-2009-ener-jun/cuantificacion\\_descomposicion\\_contenido.pdf](http://www.dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-2009-ener-jun/cuantificacion_descomposicion_contenido.pdf)
- Vásquez, J., Macías, F., & Menjivar, J. (2013). *Respiración del suelo según su uso y su relación con algunas formas de carbono en el departamento de Magdalena, Colombia. Bioagro* (Vol. 25). Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado” (UCLA). Retrieved from [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612013000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612013000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Villegas, R. (2008). Descomposición de las hojas del cacao y de seis especies arbóreas, solas y en mezcla en Alto Beni, Bolivia, 96. Retrieved from <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A1823E/A1823E.PDF>
- Woods End Research. (1997). Guide to solvita testing and managing your soil. Mt. Vernon, ME: Woods End Research Laboratory, Inc.