

MANEJO REGENERATIVO DE LA MATERIA ORGÁNICA: UN PROCESO CRUCIAL EN EL ESTRATO HERBÁCEO DE UNA SABANA DE *Trachypogon*

Ignacio Castro-Vázquez y Rosa Mary Hernández-Hernández*

Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez. Instituto de Estudios Científicos y Tecnológicos. Caracas-Venezuela. *ignacioalexandercastro@gmail.com

RESUMEN

Las sabanas de *Trachypogon* como elementos representativos de la vegetación natural (VN) son uno de los ecosistemas más extendidos del norte de Suramérica. Se caracterizan por el predominio de una cubierta herbácea de gramíneas y ciperáceas en suelos ácidos de baja fertilidad natural. La dinámica de la materia orgánica en el estrato herbáceo correspondiente a la hojarasca fue estudiada en una sabana de *Trachypogon* (VN) de los Llanos Altos Centrales Venezolanos en comparación con dos coberturas introducidas sin fertilización, *Centrosema macrocarpum* (CM), y una gramínea, *Brachiaria dictioneura* (BD), durante un ciclo de siembra en secano. En este ecosistema, la producción primaria de hojarasca en la vegetación natural predominante por *Trachypogon* (VN) fue de 2657 kg/ha, siendo la más baja en comparación con BD con 3569 kg/ha y la CM con 6293 kg/ha. Se analizaron las variaciones temporales de la hojarasca recolectadas en relación con las variables climáticas de temperatura ambiente y humedad del suelo, encontrándose similitudes con otros estudios, en la cual desaparece en consecuencia de una mayor precipitación y temperatura. Así mismo, se reflejó un importante cambio en los procesos de descomposición de las hojarascas bajo las coberturas introducidas producto de la acción antrópica del corte de coberturas, a modo estas de un "abono verde". Con ello, se hace importante el conocimiento sobre los patrones de producción de hojarasca y su relación con su calidad y cantidad, y cómo éstas pueden servir de base para fundamentar la implementación de estrategias de manejo regenerativo y conservación, de manera que permitan afianzar la producción de pastos con un mayor valor nutritivo para el ganado en los suelos de sabana.

Palabras clave: Sabana, hojarasca, coberturas, *Trachypogon*, *Centrosema*, *Brachiaria*.

Regenerative management of organic matter: a crucial process in the herbaceous stratum of a *Trachypogon* savanna

ABSTRACT

Trachypogon savannas, representative of the natural vegetation (VN), are one of the most widespread ecosystems in northern South America. They are characterized by a predominance of herbaceous cover of grasses and sedges on acidic soils of low natural fertility. The dynamics of organic matter in the herbaceous layer corresponding to the litter was studied in a *Trachypogon* savanna (VN) of the Central Venezuelan Llanos Altos, compared to two introduced cover crops without fertilization: *Centrosema macrocarpum* (CM) and a grass, *Brachiaria dictioneura* (BD), during a dryland planting cycle. In this ecosystem, the primary litter production in the natural vegetation dominated by *Trachypogon* (VN) was 2657 kg/ha, the lowest compared to BD at 3569 kg/ha and CM at 6293 kg/ha. Temporal variations in collected leaf litter were analyzed in relation to the climatic variables of ambient temperature and soil moisture. Similarities were found with other studies, showing that litter disappears as a consequence of increased precipitation and temperature. Likewise, a significant change was observed in the decomposition processes of leaf litter under introduced cover crops, resulting from the anthropogenic action of cutting these cover crops, which act as "green manure." Therefore, understanding leaf litter production patterns and their relationship to quality and quantity is crucial, as is understanding how this knowledge can serve as a basis for implementing regenerative management and conservation strategies. This would allow for the strengthening of pasture production with greater nutritional value for livestock in savanna soils.

Keywords: Savanna, leaf litter, ground cover, *Trachypogon*, *Centrosema*, *Brachiaria*.

INTRODUCCIÓN

Las sabanas de *Trachypogon* son uno de los ecosistemas de mayor extensión del norte de Suramérica. Se caracterizan por la presencia de una cubierta herbácea dominada por gramíneas y ciperáceas, sobre suelos ácidos con baja fertilidad natural, y en donde los elementos leñosos se encuentran dispersos o ausentes (Ramia, 1967). En consecuencia, se tiene una baja producción vegetal y valor nutritivo de los pastos, que restringe la ganadería a una forma extensiva (Hernández-Valencia y López-Hernández, 1997a; Bruno-Eutimio *y col.*, 2022). Sumado a esto, la marcada estacionalidad climática incide en una baja productividad vegetal de los pastos nativos y en un bajo contenido nutricional de los mismos (Hernández-Valencia y López-Hernández, 1999). Por ello, la productividad primaria neta de estos ambientes suele ser generalmente baja; influenciada principalmente por factores ambientales climáticos y de suelos, entre otros. Zhao y Running (2010), Wu *y col.* (2011), Quinto *y col.* (2017) y Bai y Cotrufo (2022) consideran que al igual que los ecosistemas de pastizales, el (60%) de la producción primaria neta (PPN) está asociada al subsuelo, comprendida por la biomasa de raíces y el carbono (C) orgánico asociado a estas. Por tal motivo, entender cómo se relacionan los factores ambientales y antrópicos en las sábanas tropicales es fundamental de cara a entender sus efectos sobre el cambio climático, así como su funcionalidad en el marco de una incipiente introducción de las técnicas de la ganadería regenerativa en la región.

En tal sentido, la producción primaria neta es definida como la cantidad de material vegetal producida por unidad de tiempo y la tasa a la cual dicha materia orgánica se crea por fotosíntesis. De modo tal, que una de las formas más sencillas y económicas de medirla en los ecosistemas terrestres es a través de la producción de hojarasca (UNESCO, 1980). La hojarasca es importante en el funcionamiento de los ecosistemas, ya que al acumularse en el suelo como un mantillo sirve de hábitat y alimento a muchos organismos y microorganismos que conforman una red trófica compleja (Calvi *y col.*, 2009). En tal sentido, esta corresponde a la cantidad total de materia orgánica vegetal que puede estar presente en un ecosistema en un momento determinado. Lo que representa la cantidad total de C orgánico almacenado en el suelo, provenientes de las porciones aéreas y subterráneas del ecosistema de coberturas (Salas *y col.*, 1988; Huechacona, 2016). Su producción comprende entre un (20%) y un (30%) de la productividad total neta, y está regulada por una serie de procesos biológicos, edáficos y climáticos (Vásquez *y col.*, 2024).

Igualmente, existen varios factores abióticos que influyen en la producción de hojarasca, como: la herbivoría, la altitud, la latitud, la precipitación, el fotoperiodo, la evapotranspiración, el relieve, la pendiente, la etapa sucesional, disponibilidad de agua y las características del suelo. En este sentido, las interacciones entre estos factores definen las

características de cada ecosistema (Soler *y col.*, 2008; Calvi *y col.*, 2009). Sin embargo, la concentración de los nutrientes varía principalmente en función de los grupos florísticos, las especies y las características de las plantas. Siendo retornados al suelo en proporción a la producción de hojarasca acumulada (Longhi *y col.*, 2011). Por tanto, se estima que los nutrientes liberados durante la descomposición de la hojarasca constituyen entre el (70-90%) del total de nutrientes requeridos por las mismas plantas (Sayer *y col.*, 2020). Dado que las plantas reemplazan periódicamente sus estructuras vegetativas y reproductivas en respuesta al clima; la recolección y cuantificación de estos materiales depositados en el suelo representa una forma no destructiva de estimar la productividad de la hojarasca en diferentes ecosistemas (Soler *y col.*, 2008).

Numerosos autores coinciden en señalar que los factores climáticos influyen en el proceso de descomposición de la hojarasca de las diferentes especies vegetales y, en especial, identifican a la temperatura y las precipitaciones como los indicadores de mayor importancia (Brown *y col.*, 1994; Mctierman *y col.*, 2003., Sánchez *y col.*, 2008; Chakravarty *y col.*, 2020). El clima modifica notablemente la naturaleza y la rapidez de la descomposición de los restos vegetales en la superficie del suelo, de modo que ejerce una importante influencia en el tipo y la abundancia de la materia orgánica. Igualmente, la humedad y la temperatura aparecen entre las variables más determinantes según Singh (1969) y Brinson (1977), debido a que influyen tanto en el desarrollo de la vegetación como en las actividades de los microorganismos; factores que son críticos en la formación del suelo. Por tanto, si se presenta un cambio en la temperatura, esta puede alterar la composición de la flora activa y afectar los procesos de descomposición y liberación de los nutrientes (Bertsch, 1995). Los resultados de Sánchez (2007) coinciden en indicar que es posible explicar el proceso de descomposición de la hojarasca a partir de la acción conjunta de la temperatura, la humedad relativa y la precipitación (Sánchez *y col.*, 2008).

En el contexto del trópico, los procesos de descomposición y los flujos de nutrientes son complejos, debido a las condiciones del clima y a las características de la biota. Dichos aspectos son poco estudiados en pastizales naturales y coberturas introducidas en suelos de sabana, donde la sincronización de la liberación de los nutrientes y su asimilación por las plantas resultan de gran importancia en la productividad. En sintonía a esto, los sistemas de manejo conservacionistas, como la mínima labranza o la siembra directa, han sido propuestos como sistemas de manejo alternativos para reducir pérdidas de suelo por erosión (Taylor *y col.*, 1964), mejorando la eficiencia en el uso del agua (Smika y Unger, 1986) e incrementando la concentración de C superficial del suelo (Karlen *y col.*, 1994). Por ello, el manejo conservacionista del suelo ha sido sugerido como un método para transformar todo el rol del sistema suelo, es decir, de fuente de C atmosférico hacia un sumidero neto de C (Kern y Johnson, 1993). Así, la cantidad de materia orgánica del suelo (MOS) es una

función de la cantidad de residuos de plantas que entran al suelo y de las tasas de descomposición de esos residuos. Siendo además del clima, el tipo y calidad de sustrato, los contenidos de nitrógeno (N), relación C/N y lignina/N factores importantes que también regulan los procesos de descomposición de la MOS (Jastrow y Miller, 1997; Espinoza, 2004).

En los últimos años, cobra cada vez más fuerza la visión agroecológica del manejo de las coberturas, con énfasis en la profundización del conocimiento de la relación suelo-planta-animal y el funcionamiento sostenible de los ecosistemas ganaderos basados en la diversidad biológica, tal como se plantea actualmente con los manejos regenerativos. Para desarrollar este manejo, se requiere el conocimiento adecuado de las características de acumulación y de descomposición de la hojarasca que producen las diferentes especies vegetales que componen los ecosistemas de coberturas, así como la relación de estos procesos con los factores bióticos y abióticos que influyen en ellos. Por lo tanto, es importante estudiar el papel del tiempo de producción y descomposición (desaparición) de la hojarasca para determinar el potencial de retorno de C y nutrientes al suelo (Ribeiro *y col.*, 2022).

Por lo antes expuesto, en el presente trabajo se tratará, en un primer aspecto, de describir el efecto que producen el clima, la vegetación, el suelo, sobre sus distintos niveles de producción, así como estos factores determinan el proceso de descomposición/desaparición de la hojarasca, a través de la dinámica del carbono (C) y del nitrógeno (N) que se describen de estos procesos, y posteriormente, determinar cómo se correlacionan estos procesos con las variaciones temporales en las precipitaciones y las temperaturas ambientales, bajo la vegetación de gramíneas de una sabana de *Trachypogon* (VN), como también bajo dos coberturas introducidas de una gramínea *Brachiaria dictioneura* (BD) y una leguminosa *Centrosema macropcarpum* (CM).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y clima. La investigación se desarrolló en la Estación Experimental “La Iguana”, ubicada geográficamente a 8° 25' N y 65° 25' O y una altitud entre 80-120 msnm (Riera y Guerrero, 1984), en las sabanas del Sur-Oriente del estado Guárico de los Llanos Centrales Venezolanos a 80 km al sur-este de la población de Santa María de Ipire. Según la clasificación de Ewel *y col.* (1976), la estación se ubica en la zona de vida de bosque seco tropical (Figura 1). El clima es biestacional con dos periodos contrastantes muy marcados; uno seco que va desde noviembre a mayo y otro lluvioso de junio a octubre.

La precipitación total anual oscila entre 950 y 1300 mm y las temperaturas medias mensuales entre 26°C y 30°C, siendo los meses más calurosos marzo, abril y mayo (Mata, 1986). En este entorno, predominan

las sabanas bien drenadas o sabanas de *Trachypogon* (Ramia, 1967) caracterizadas por grandes extensiones de gramíneas, dominadas por los géneros de *Trachypogon* y *Axonopus*, con árboles dispersos de las especies *Curatella americana*, *Byrsonima crassifolia* y *Bowdichia virgilioides*. Fisiográficamente puede caracterizarse como una altiplanicie de mesa conservada combinada con depósitos eólicos y algunos afloramientos del material terciario, la pendiente general es de 1-3%, con predominio de un suelo de tipo Ultisol de textura arenosa, con un drenaje interno rápido a moderadamente rápido (Hernández-Hernández y col., 2007). En general los suelos poseen baja fertilidad natural en forma de MOS, con pH ácido a extremadamente ácidos que puede variar entre 4,5 y 5,8 (Arias y López, 1979; Hernández-Hernández y col., 2011), y muy baja disponibilidad de fósforo (P), potasio (K) y calcio (Ca) (Hernández-Hernández y col., 2007).

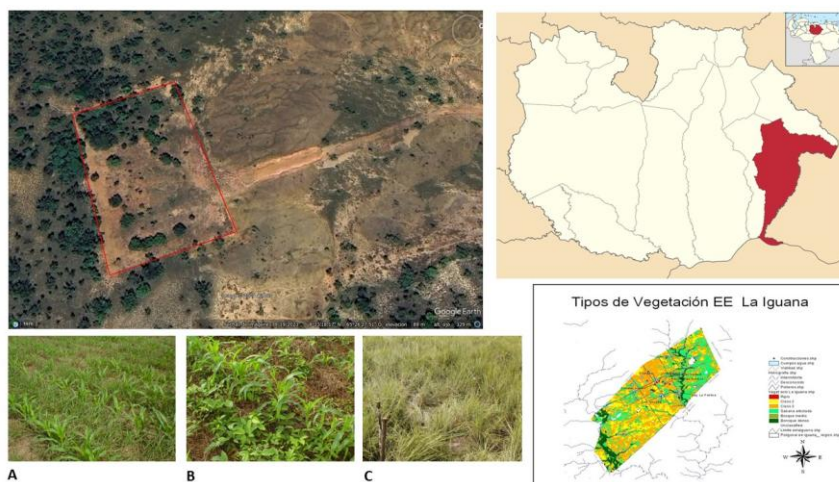


Figura 1. Mapa que indica la ubicación original de los ensayos de coberturas en la Est. Exp. la Iguala en un suelo Ultisol del Sur-Este del Edo. Guárico. (A) maíz / gramínea: *Brachiaria dictioneura* (BD), (B) maíz / leguminosa: *Centrosema macrocarpum* (CM) y (C) sabana de *Trachypogon* como elemento representativo de la vegetación natural (VN)

Manejo. Este trabajo se centró en el marco del proyecto: “Manejo agroecológico de suelos de sabanas bien drenadas, con unidades de producción cereal-ganado”, financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Industrias Intermedias, se estableció un agroecosistema de maíz-ganado en suelos de sabanas bien drenadas, bajo siembra directa con maíz y coberturas de gramíneas y leguminosas con diferentes tipos de fertilización (Bravo y col., 2001; Hernández-Hernández y col., 2011). Para el año 2002 se introdujeron en parcelas adyacentes dos tipos de coberturas perennes en el agroecosistema: la leguminosa *Centrosema macrocarpum* (CM) y la gramínea *Brachiaria dictioneura* (BD), considerándose la vegetación

natural del ecosistema de la sabana de *Trachypogon* como el tratamiento testigo (VN), ubicada en una parcela adyacente al área experimental. Ambas coberturas se establecieron durante dos años. Al cabo de ese tiempo, se realizó un primer corte de las coberturas para su establecimiento, continuando así con este tipo de manejo en los siguientes ciclos.

Diseño experimental. El diseño experimental del ensayo correspondió al de parcelas grandes sin repetición, para el cual se realizó un estudio previo de variabilidad espacial (Machado, 2000), con ello se estableció la orientación y el tamaño de las parcelas para ambas coberturas, al igual que el número de muestras representativas para el suelo y coberturas (Hernández-Hernández y col., 2007).

Muestreo. Para el año 2006, al tercer ciclo de siembra, tanto en el agroecosistema de cobertura como en el ecosistema de sabana de vegetación natural (*Trachypogon*), se cuantificó la hojarasca total mediante el uso de un aro de 50 cm de diámetro, recolectándola dentro del aro al ras del suelo. El mismo se tomaron al azar un total de 9 veces por cada tratamiento de cobertura en cada momento de muestreo durante el ciclo del cultivo del maíz (0, 19, 38, 74 y 123) días después de la siembra (dds), siendo determinadas dichas fechas de muestreo, por las distintas fases de desarrollo del maíz (desarrollo vegetativo, floración, llenado del grano y maduración y cosecha), en coincidencia con el inicio de la temporada de lluvias entre los meses de mayo y julio (ciclo de cultivo de secano del año 2006). La hojarasca recolectada se procedió a secar a 60°C para pesarlas posteriormente a las 72 horas. Los resultados se expresaron en (kg/ha) (Gillen y Smith, 1986; Padrino, 2005). Para el subsistema suelo, el muestreo fue simultáneo al de hojarasca y se realizó con un barreno a una profundidad de 0-15 cm.

Este trabajo, se centró en describir y analizar la dinámica de producción de biomasa de hojarasca y del C y N asociadas a estas, bajo una cobertura de leguminosa y gramínea. Considerando a la vegetación natural (VN), sabana de *Trachypogon*, como el tratamiento testigo del efecto de la introducción de las coberturas en este ecosistema. Se analizaron también junto a estas las dinámicas de temperatura ambiente y la humedad del suelo. Considerando evaluar el afecto en cantidad y calidad la descomposición inicial del material vegetal bajo cada agroecosistema proveniente producto del corte de cobertura en la BD y CM. Posteriormente, se analizó el efecto inicial del corte de las coberturas introducidas sobre las tasas de desaparición y ganancias, como sobre la tasa de renovación del agroecosistema. Para finalmente, verificar la distribución neta en porcentaje del C y N presentes en las distintos componentes de cada cobertura (suelo, cobertura, raíces y hojarasca).

Metodología analítica. Para evaluar la dinámica en respuesta a la introducción de distintos tipos de cobertura en comparación con la sabana de *Trachypogon* (VN), en cuanto a sus aportes de biomasa de hojarasca,

traducidos en C y N tanto a nivel de la hojarasca como del suelo. Se determinó el porcentaje de C a través de la metodología de C total por oxidación húmeda con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y ácido sulfúrico concentrado, según la metodología de Anderson e Ingram (1993), junto al porcentaje de MOS, según el factor de conversión MO = 1,724, por estos mismos autores. Así como el N total por la metodología de digestión húmeda o método Kjeldahl (Bremner, 1965). La producción y desaparición de biomasa de hojarasca se estimó a través del aumento y disminución observados a lo largo del ciclo, según el método inicialmente propuesto por Sims y Singh (1978); Rodríguez y col. (2013). El análisis de la tasa de aumento y desaparición de las biomásas (C), esta fue estimada mediante las fórmulas de Pérez y Smid (1984) y según los métodos referidos por Kevet y col. (1971). La fórmula adaptada fue la siguiente:

$$C = (W_2 - W_1) / P(t_2 - t_1)$$

Donde:

W_1 = Biomasa en un momento inicial

W_2 = Biomasa en un momento final

P (área) = m^2

t_1 = tiempo inicial

t_2 = tiempo final

C = Aumento o disminución

La tasa de renovación (Tr) fue calculada por Singh y Singh (1981) por la fórmula:

$$Tr = (X_{\max} - X_{\min}) / X$$

Donde:

X_{\max} : biomasa máxima (kg)

X_{\min} : biomasa mínima (kg)

X : biomasa media (kg)

Datos climáticos. En este contexto, para el año 2006, se estimó el inicio del fenómeno de El Niño que ocurrió entre 2006 y 2007, y el cual fue catalogado como débil a moderado. La predicción para ese año, en esta región de los llanos orientales y en especial con los maizales, fue que estos no se desarrollarían adecuadamente, por la falta de agua en el periodo de floración (julio) y en el periodo de llenado de granos (agosto) en pleno fenómeno del niño, lo que produjo pérdidas importantes de rendimientos. Dado este escenario, la siembra del maíz en la sabana, fue retrasada, hasta julio, ocurriendo los periodos de floración (septiembre) y en el periodo de llenado de granos (octubre). No obstante, el fenómeno del niño causó irregularidades en la distribución de agua en forma de periodos cortos de sequía denominada como “veranitos”.

En la Figura 2 se muestra la comparación entre los datos climáticos del año 2006 con sus históricos de 3 años previos a los muestreos. Las precipitaciones anuales históricas variaron entre los años 1999, 2000 y

2001, en un rango entre los 1250 y 1369 mm, con una temperatura media anual de 25 a 31 °C. Concordando con los datos recogidos durante el periodo de estudio (ciclo norte verano) comprendido entre los meses de julio a noviembre del año 2006 (Figura 2), donde se produjeron precipitaciones diarias entre los 1 a 10 mm, con variaciones de temperatura diarias entre 27 y 29 °C y máximos de temperatura diaria de alrededor de 33 °C, en comparación con su histórico diario entre 3 a 8 mm y temperatura media de 27 a 28 °C, con máximos de temperatura diaria de 34 °C.

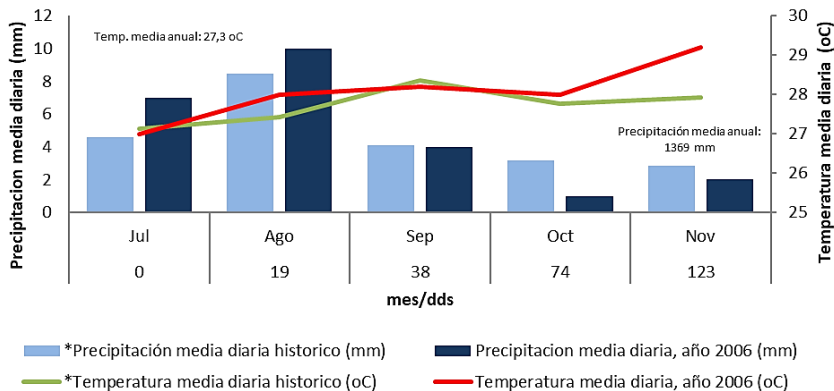


Figura 2. Comparación entre los promedios históricos de precipitaciones y temperaturas medias diarias y los medidos durante el muestreo. Datos históricos de precipitación y temperatura medias corresponden a los años (1999, 2000 y 2001) Vs los datos del ciclo de siembra maíz-coberturas (2006).

Análisis estadístico. Se empleó un análisis descriptivo de los datos y un análisis de varianza (ANOVA). Para valorar y comparar las respuestas obtenidas por efecto de la presencia de la BD y CM, en comparación con la sabana de *Trachypogon* (VN). Para las diferencias de medias entre variables, se utilizaron las pruebas de Tukey al (95%) de confianza. En el análisis estadístico de los datos se utilizaron los programas estadísticos R Core Team. (2021) y SPSS 19 (1989 – 2024) para Windows. Por otro lado, se utilizó el Análisis de Componentes Principales ACP- Past 4.17 (2013-2020), para describir dentro del conjunto de datos en términos de nuevas variables («componentes») no correlacionadas o posiblemente correlacionadas. Los componentes se ordenan por la cantidad de varianza original que describen, por lo que la técnica es útil para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos. Esta convierte un conjunto de observaciones en un conjunto de valores de variables sin correlación lineal llamadas componentes principales.

RESULTADOS

Dinámica y producción de hojarasca en función de la humedad del suelo. La dinámica en la producción de hojarasca en el sistema con y sin efecto inicial del corte, bajo la influencia de la humedad del suelo se puede observar en la Figura 3 (A, B, C, D, E y F), los cuales mostraron estadísticamente diferencias significativas ($p < 0,05$). Los acumulados iniciales, sin la acción del corte de las coberturas, en el tiempo cero se presentan en las Figuras 3 (A, B, C), dicho acumulado indica ser mayor bajo la CM 1629 kg/ha, sobre la BD y la VN de una sabana de *Trachypogon*, con 920 y 698 kg/ha, respectivamente (Figura 3 A). Este primer resultado en el caso de las gramíneas, de haber un cierto equilibrio en lo acumulado naturalmente podría estar en concordancia con lo señalado por Chacón (1988); Medina y Sarmiento (1981); Bulla y Sánchez (1986) y Hernández-Valencia y López-Hernández (1997b); acerca de las sabanas protegidas como lo es La Iguana y Uverito, sobre suelos muy pobres, la protección prolongada, permite que se alcancen un equilibrio entre los procesos de producción y descomposición, de manera que las cantidades de MO producidas pudiesen ser comparables a las que se descomponen del material seco acumulado.

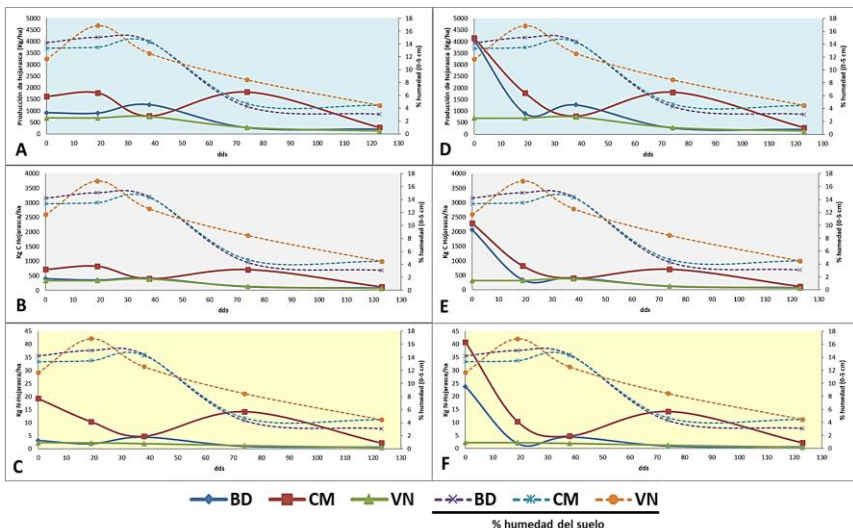


Figura 3. Dinámica y producción de hojarasca en función de la humedad del suelo presente durante el ciclo, sobre las producciones de hojarasca, C y N en (kg/ha) en la gramínea BD: *Brachiaria dictyoneura*, la leguminosa CM: *Centrosema macrocarpum* y VN: Vegetación natural (*Trachypogon*). Figuras (A, B y C): muestran la condición inicial del sistema sin efecto de la adición por corte. Y las figuras (D, E y F): muestran la condición inicial del sistema con el efecto de la adición por corte.

En el tratamiento con la CM es donde se presenta una reducción importante en su hojarasca a los 38 dds. Aspecto, que se ve igualmente más marcado cuando inicialmente se suma el efecto del corte en ambas coberturas, en el cual la biomasa de hojarasca está en el orden de 4.000 kg/ha (Figura 3 D). En ambos escenarios de coberturas, la dinámica de reducción de la hojarasca, entre los 19 dds para las gramíneas y 38 dds para la leguminosa, concuerdan con lo reportado por Sánchez *y col.* (2008), en estudios realizados en ecosistemas de pastizales en Cuba, en el que se indicó que la descomposición de la hojarasca fue más marcada en las leguminosas que en las gramíneas. En este mismo sentido, Crespo *y col.* (2001), reportaron que la hojarasca en las leguminosas tiende a desaparecer totalmente antes de los 246 días, manteniéndose contrariamente en ese mismo número de días, aún en permanecía más del (80%) del peso inicial de hojarasca de las gramíneas del estudio con predominio de *Brachiaria decumbens*. Por su parte Crespo y Pérez (1999 y 2000); Crespo *y Col.*, (2015) concuerdan en señalar que las gramíneas muestran una menor capacidad para acumular hojarasca que las leguminosas, llegando está a no superar los 300 g/m²/año; lo que es un indicativo del muy bajo aporte a nivel superficial del suelo.

Por otro lado, la humedad del suelo es señalada como un factor clave en la reactivación de la actividad microbiana, la cual tiene una estrecha relación con la cantidad de material vegetal incorporado al suelo y su calidad. En tal situación, se esperaría que este factor afectara la velocidad de descomposición, al verse establecidas en una condición de suelo de baja fertilidad natural. En otro sentido, las Figura 3 (D, E, F) se presentan las dinámicas con el aporte que da la labor de corte inicial de coberturas, las cuales elevaron notablemente los niveles iniciales de hojarasca en ambas coberturas introducidas en comparación con la VN. En consecuencia, se observó un relativo mantenimiento de la humedad del suelo por este hecho. Siendo bajo la BD el incremento de inicial de hojarasca, vía corte de coberturas de aproximadamente 3160 kg/ha, que corresponde a un (79%) en comparación con la CM, donde el valor máximo fue 2537 kg/ha, correspondientes a un (62%). Bajo esta circunstancia la rápida descomposición dada la mezcla de hojarasca “nueva” producto del corte y la hojarasca vieja de calidades muy distintas, pareciese responder más favorablemente con la dinámica de mayor humedad del suelo entre los 0 – 38 dds (Figura 3 D, E, F).

La identificación en el periodo de un máximo de lluvias a los (19 dds) como el punto donde se produjo una importante aceleración en la descomposición del material necrosado. En términos de proporciones entre las distintos componentes vegetales y del suelo, indica que en los primeros 19 días, fue mayor bajo la BD (-3178,50 kg/ha) con un (77%), en comparación con la CM (-2387 kg/ha) correspondiente a un (57%) (Figuras 3 D, E, F). En este apartado, Handayanto *y col.* (1995); Sánchez *y col.* (2008b) plantearon que las tasas de descomposición y de liberación del C y N son

más altas cuando la precipitación es mayor, debido probablemente a la remoción de los compuestos solubles de C, como de algunos polifenoles, y a una notable reactivación microbiana asociada a los procesos de descomposición. En este contexto, destacó que la mayor oferta de N estuvo asociada a las coberturas introducidas en la sabana. Siendo mayor en la CM con un remanente de 38 kg N/ha, en comparación con los 23 kg N/ha en la BD, y la VN, con solo un 2 kg N/ha. En este sentido, la hojarasca de la CM, posterior al rápido proceso inicial de descomposición, se presenta como la única cobertura que tendió a mantener un remanente de hojarasca no descompuesta; marcando una diferencia con respecto a las gramíneas tanto natural como introducida, que parecieron descomponer gran parte de su material vegetal en los primeros momentos del ciclo.

En el caso de la VN, la dinámica indica que el suelo de la sabana de *Trachypogon* mantiene humedad en sus primeros 5 cm de profundidad durante el periodo de mayor precipitación, en los primeros 19 dds y 38 dds. Esto es de destacar, dada la baja distribución de esta cobertura y su baja producción de hojarasca sobre un suelo arenoso. En tal sentido, bajo todas las coberturas, las distintas dinámicas de humedad confluyen hacia el final del ciclo a un nivel cercano de humedad entre un 3 a 4% (Figura 3 A, B, C, D, E, y F). Sin embargo, en el caso de la sabana de *Trachypogon* (VN), la tendencia lineal de pérdida de humedad bajo su suelo, fue aún menor que la observada bajo la DB y CM, lo que pudiese ser explicada a través de las posibles salidas por una alta evapotranspiración e infiltración del agua de estos ambientes, aunado a una menor protección por parte de esta cobertura y a la textura arenosa propia de la sabana. Pero también a diferencias en la demanda de agua por los procesos de formación de nueva biomasa por parte de las coberturas de BD y CM, que mostraron ser sustancialmente similares entre los 38 y 74 dds.

Dinámica y producción de hojarasca en función de la temperatura ambiente. Se analizó la dinámica de la producción de hojarasca en el agroecosistema en función de la temperatura ambiental diaria durante el ciclo (Figura 4 A, B, C, D, E, y F), las cuales mostraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). La temperatura del suelo por lo general es considerada como un factor clave en los procesos de descomposición junto con la humedad, y esta como es de esperar debería responder a un cambio general en la temperatura ambiental durante el día.

En la Figura 4 (A, B, C) se observa que los valores de producción de hojarasca, previos al corte de las coberturas, responden a leves cambios en las temperaturas máximas diarias ocurridos a los 19, 38 y 74 dds. Siendo, al igual que con la humedad del suelo, mayores los procesos de descomposición de la hojarasca bajo la CM, en comparación con la BD y la VN. Como se observó con el factor: humedad del suelo, la temperatura más alta diaria alcanzada durante el ciclo estuvo presentes en los primeros 19 dds (33 °C) y a los 74 dds (31 °C), principalmente hacia las horas del

mediodía en la que la incidencia solar fue mucho mayor. La sabana en el sentido ecológico, mostró un patrón bastante estable de distribución de temperaturas mínimas, medias y máximas para el año 2006, esto a pesar de los primeros efectos del fenómeno del Niño en forma de “veranitos”, reportados para la época.

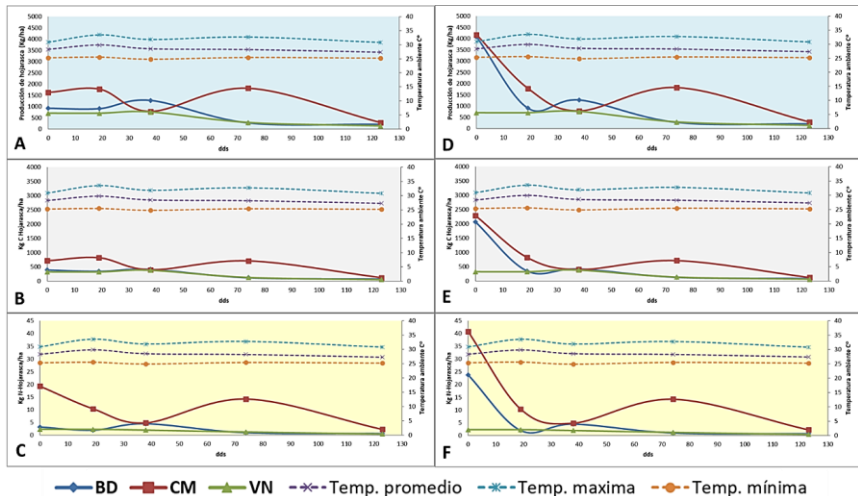


Figura 4. Dinámica y producción de hojarasca en función de la temperatura ambiente presente durante el ciclo, sobre las producciones de hojarasca, C y N en (kg/ha) en la gramínea BD: *Brachiaria dictyoneura*, y la leguminosa CM: *Centrosema macrocarpum* y VN: Vegetación natural (*Trachypogon*). Figuras (A, B y C): muestran la condición inicial del sistema sin efecto de la adición por corte. Y las figuras (D, E y F): muestran la condición inicial del sistema con el efecto de la adición por corte.

En esta misma dinámica, la rápida descomposición de las coberturas responde al factor de temperatura más altas entre los 19, 38 y 74 dds, principalmente cuando a la hojarasca inicial se le adiciona la cobertura recién cortada en forma de un “abono verde” (Figura 4 D, E, F). En este contexto, existen algunos autores que plantean que la temperatura explica en mayor medida el proceso de descomposición que las precipitaciones (Brown *y col.*, 1994; Aerts, 1997), debido a que este factor puede regular las poblaciones de los descomponedores y la velocidad de las reacciones químicas. Según Kononova (1975), citado por Sánchez *y col.* (2007; 2008b), al analizar varias publicaciones, estas llegan a una similar conclusión, en cuanto a que la intensidad máxima de la descomposición de la MOS se observa en condiciones de temperatura moderada (alrededor de 30°C) y con un contenido de humedad de alrededor del 60-80% de la capacidad máxima de retención de agua del suelo. Sin embargo, el aumento o la disminución de la temperatura y de la humedad simultáneamente, más allá de los niveles “óptimos”, puede llegar a producir la disminución de la descomposición de la MOS.

En la dinámica de producción de hojarasca, como de C y N asociado a su producción, bajo la CM, se observó un periodo de mayor temperatura máxima (32,8 °C) a los 74 dds, lo cual parece estar en conexión con procesos de descomposición secundarios, dada la calidad del material de hojarasca remanente depositado aún en el suelo. De hecho, se reportó en otros trabajos realizados en el marco del proyecto, que la CM fue más lignificada, lo que pudiera haber afectado la biomasa microbiana del suelo y su actividad respiratoria, haciendo el proceso de descomposición mucho más lento (Padrino, 2005; Anugroho *y col.*, 2010; Ramírez *y col.*, 2017;). Bajo este mismo contexto, todas las coberturas en su dinámica convergen a los 123 dds al final del ciclo en una baja presencia de biomasa de hojarasca remanente, con valores en la CM (285 kg/ha), BD (206 kg/ha) y VN (133 kg/ha) (Figura 4). En este contexto, según Trofymow *y col.* (2002), el decrecimiento de la temperatura conlleva a una reducción eventual de la actividad de los organismos descomponedores. Señalándose que en la medida que aumentan los valores de humedad y temperatura “óptimos” disminuye la descomposición de hojarasca, lo cual conlleva a considerar a esta como una hojarasca remanente en el ecosistema. En similitud, se ha señalado que las abundantes lluvias pueden favorecer el lavado de los compuestos más hidrosolubles en la hojarasca y en el suelo. Por lo que bajo estas condiciones la actividad de los organismos detritívoros y descomponedores es mayor (Martín, 1995; Decaëns *y col.*, 2004), acelerando notablemente la descomposición y, por tanto, disminuyendo la presencia de hojarasca acumulada. Este funcionamiento ha sido reportado por Solórzano *y col.* (1998); Rezende *y col.* (1999) y Sandoval (2006) en pastizales de gramíneas en Venezuela, Brasil y Nicaragua, respectivamente.

Efecto del corte de las coberturas introducidas sobre las tasas de desaparición, ganancia, y renovación del agroecosistema. La producción y desaparición de biomasa de hojarasca se estimó a través del aumento y disminución observados a lo largo del ciclo, en cada uno de los periodos de muestreo. Primeramente, los valores positivos son indicativos de una disminución en la acumulación de hojarasca, producto de una menor renovación, o también debido a una rápida descomposición. Contrariamente, los valores negativos indican un aumento en la acumulación de hojarasca, producto de una menor renovación, o también una menor velocidad de descomposición. En tal sentido es notable el efecto del corte de coberturas sobre estos procesos, al señalarse los mayores valores negativos en ambas coberturas introducidas en los primeros 19 dds. Este mismo efecto, es señalado de forma neta entre los 0-123 dds, con ambas coberturas con un valor de tasa de desaparición neta de (-31,50), que se traducirían que los procesos de descomposición neta de la hojarasca, se verían compensados por la cantidad y la calidad del material vegetal extra introducidos al suelo por vía del corte en la BD (Tabla 1).

En el caso particular de la CM, sin el efecto del corte inicial, su valor de tasa de desaparición neta de (-10,92) igual a 1629 kg/ha hojarasca inicial, resulto ser mayor al de las gramíneas de BD y VN (-5,81 y -4,60) asociados

a valores iniciales de 900 y 600 kg/ha de hojarasca, respectivamente. Esto confirmaría primeramente el importante efecto del corte, pero secundariamente indicaría que, sin corte, ya hay una alta presencia de un material vegetal acumulado del ciclo anterior en la leguminosa, que aún no ha completado su transformación, por lo que se confirmaría la presencia de un material más lignificado o leñoso en comparación al de las gramíneas menos lignificadas. Por otro lado, la tasa de renovación, como indicador de recuperación del sistema, confirma dichas diferencias entre las calidades y las cantidades aportadas por las coberturas introducidas con respecto a la VN, solo cuando se introduce más biomasa de hojarasca por efecto del corte (Tabla 1). Este aspecto, se contradice con lo señalado por Sánchez y col. (2007; 2008) en el que el efecto del corte de las coberturas igualaría a las tasas de desaparición neta del agroecosistema.

Tabla 1. Comparación del efecto inicial del corte de las coberturas introducidas sobre las tasas de desaparición y ganancias, como sobre la tasa de renovación del agroecosistema.

SINEFECTO DEL CORTE DE COBERTURAS						
	Tasas de desaparición o ganancia (kg/ha)				Neta (kg/ha)	Índice
	0-19 dds	19-38 dds	38-74 dds	74-123 dds	0-123 dds	Tasa de renovación
BD	-0,96	19,24	-27,70	-1,32	-5,81	1
CM	7,88	-52,51	28,81	-31,29	-10,92	1
VN	0,00	2,77	-12,91	-3,13	-4,60	1

CON EFECTO DEL CORTE DE COBERTURAS						
	Tasas de desaparición o ganancia (kg/ha)				Neta (kg/ha)	Índice
	0-19 dds	19-38 dds	38-74 dds	74-123 dds	0-123 dds	Tasa de renovación
BD	-167,29	19,24	-27,70	-1,32	-31,50	3
CM	-125,64	-52,51	28,81	-31,29	-31,55	2
VN	0,00	2,77	-12,91	-3,13	-4,60	1

Valores positivos: indican decrecimiento en la acumulación de hojarasca, producto de una menor renovación, o también debido a una rápida velocidad de descomposición. Valores negativos: indican acumulación de hojarasca, producto de una mayor renovación, o también debido a una lenta velocidad de descomposición., dds (días después de la siembra). BD: *Brachiaria dictyoneura*, y la leguminosa CM: *Centrosema macrocarpum* y VN: Vegetación natural (*Trachypogon*).

Distribución del C y N en las fracciones del suelo, hojarasca, coberturas, raíces y el suelo. La distribución en porcentaje del C entre las distintas componentes de las coberturas y del suelo en los primeros 5 cm de profundidad se muestran en la Figura 5 (A, B, C). Como se aprecia en las gráficas, el suelo funciona como un importante sumidero del total de C bajo todas las coberturas en la sabana. Estando estas en una proporción del (65 al 74%) en la BD y VN, respectivamente. Tras el periodo de rápida descomposición de la biomasa de hojarasca y necromasa, entre los 19 y 38 dds, la producción de cobertura aérea y de raíces se presentan como los principales componentes dinamizadores del C dentro de la fracción vegetal en los agroecosistemas. Denotándose diferencias entre la BD y CM, debido sus características intrínsecas de productividad, calidad y fisiología, lo cual es definido principalmente por sus distintos valores de relación de C/N. No obstante, en la sabana de *Trachypogon*, la presencia del C aparece más acentuada en su producción aérea de biomasa, representando está un 20%

con respecto a sus otros componentes. Ello sugiere que la baja acumulación de materia seca en esta cobertura en el mantillo en forma de hojarasca es producto de que la mayor parte de la descomposición de las hojas muertas en pie es de mayor cuantía respecto al mantillo, aportando por esta vía hasta un 89,6% del material aéreo descompuesto (Hernández-Valencia y López-Hernández, 1997a y b). Mientras que, bajo las coberturas introducidas de BD y CM, la suma del C asociado a las raíces como en la cobertura, superan al total de C presente en el *Trachypogon* en las mismas fracciones. No obstante, cabe destacar que entre las gramíneas la acumulación del C no sigue un mismo patrón entre las fracciones de raíces y aérea, diferenciándose de la CM, donde está posterior a los a los 74 dds parece recuperarse más tardíamente (Figura 5 A y C). A este hecho, se añade el efecto que tiene sobre la producción de biomasa de hojarasca a través del corte, estas indican que bajo las coberturas BD y CM, hay similitudes en cuanto al aporte de C de hasta un 7%, que supera al 2% asociado a la VN. Estos resultados, por tanto, son un indicativo importante de la capacidad de recuperación y estabilización a corto plazo del C dentro del ecosistema de sabana ante la introducción de coberturas.

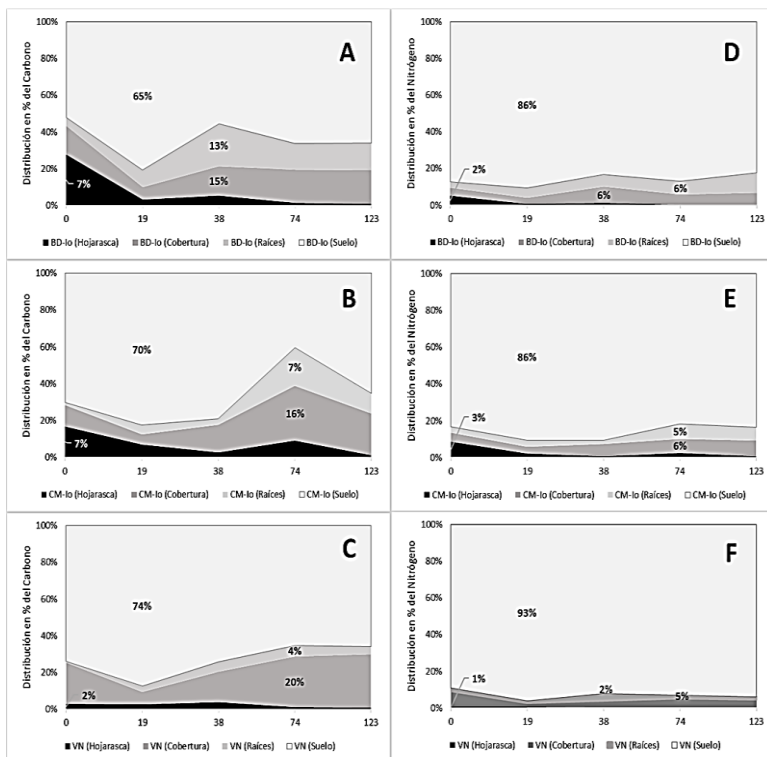


Figura 5. Distribución en porcentaje del C y N en las fracciones del sistema (Suelo, cobertura, raíces y hojarasca) en: BD (A): *Brachiaria dictyoneura*, CM (B): *Centrosema macrocarpum* y VN (C): Vegetación natural (*Trachypogon*).

En la Figura 5 (D, E, F) se observa la distribución del N entre los distintos componentes de las coberturas y el suelo, en los primeros 5 cm de profundidad. El N es un importante elemento dinamizador de la recuperación de las coberturas en la sabana, además de ser un elemento muy limitado, dada la acidez natural de estos suelos. Su importancia radica en que este elemento es esencial para la conformación de proteínas, lo que define la calidad y la cantidad de las mismas coberturas como forraje para el ganado en la sabana. Sin embargo, el aporte en términos de calidad de la CM en el agroecosistema se ve limitado debido a su menor producción de forraje, el cual se ve compensado por un mayor aporte de N, aproximado a 16 kg/ha N, en comparación con 10,4 kg/ha N en la *Brachiaria* y 7,8 kg/ha N en el *Trachypogon*, que se traduce en proteína cruda para el consumo del ganado (Ramírez y col., 2017).

Al igual que con el C, este elemento está mayormente presente en el suelo bajo todas las coberturas, entre un (86 a 93%) del total del agroecosistema, lo que indica que el suelo es su principal sumidero. Por ser estos suelos de características arenosas y de baja fertilidad natural; el que suceda esto es positivo, debido a la naturaleza muy móvil del N y lo pobre que en contenido se encuentra este elemento en los suelos de sabana. En tal sentido, los aportes de N tras el corte de las coberturas en la CM y BD, llegan a ser muy similares en la hojarasca, constituyendo un 2 y 3%, respectivamente, en comparación con la VN de la sabana en la que el N en la hojarasca apenas representa el 1% del N del sistema. Lo que repercute en que la recuperación de este N del suelo en la fracción vegetal, dependa principalmente por la producción aérea y de raíces que está entre un 5 - 6% (Figura 5 D, E).

Tal como ocurrió con la distribución del C, la suma del N presente en la cobertura aérea y las raíces, dobla a lo acumulado en los mismos componentes bajo el *Trachypogon*. En el caso de la sabana natural VN, el N al no contar con una incorporación de material vegetal vía corte, muestra contrariamente a las coberturas introducidas signos de acumulación y aprovechamiento más eficientes por parte de la misma planta en su retoño anual por efecto de las lluvias. Lo que, desde un punto de vista ecológico, podría indicar un mecanismo de eficiencia de esta cobertura natural a las condiciones de acidez y baja fertilidad propias de los suelos de sabana. Por otra parte, las coberturas introducidas de BD y CM garantizan de cierta manera la estabilidad del N en el agroecosistema, principalmente debido al aumento en la oferta de biomasa en cantidad y calidad. Concordando de este modo con Ekeren y col. (2010) quienes señalaron las ventajas de la utilización de gramíneas y leguminosas como coberturas, con respecto a su contribución de N por una mayor producción de biomasa aérea y subterránea, como a su positivo efecto sobre los procesos de mineralización del N. Este planteamiento concuerda con Heal y col. (1997) que destacaron que además de la mineralización del N, la inmovilización conlleva a la síntesis de nuevas moléculas orgánicas a partir de formas inorgánicas.

Este proceso, llevado a cabo por los microorganismos del suelo, es mayor cuando los residuos son de baja calidad. Por lo que la mineralización neta de N en el suelo puede ser considerada como un balance entre los procesos de mineralización e inmovilización (Giller y Wilson, 1991).

Análisis de componentes principales. En vista de las tendencias encontradas en los análisis, se procedió a realizar un ordenamiento de los tratamientos de coberturas a través del análisis multivariado en su modalidad de análisis de componente principal (ACP) (Figura 6). En tal sentido, el análisis identificó que el componente 1 recoge el 56% de variación (Eigenvalue de 14,07), lo que explica que hay una mayor afinidad a ser explicados los fenómenos de transformación de la hojarasca y necromasa entre las variables de suelo y de cobertura, principalmente con respecto a la presencia de la cobertura de leguminosa CM. Por otro lado, se encuentra que bajo ambas coberturas de gramíneas (BD y VN) el componente 2 recoge solo un 43% de variación (Eigenvalue de 10,92) y ofrece un nivel de explicación y de relación con las variables mucho más débil.

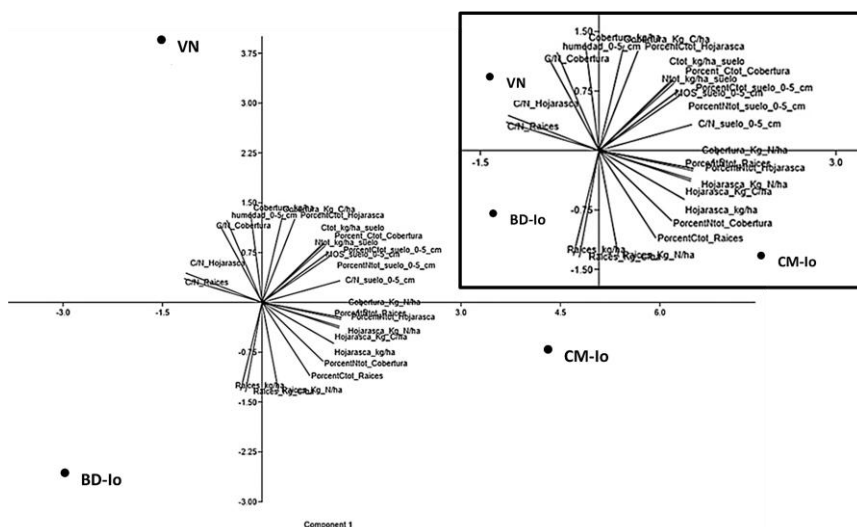


Figura 6. Análisis de análisis multivariado de componente principal (ACP) entre las variables medidas de las coberturas y sus fracciones de hojarasca, cobertura aérea, raíces y de suelo.

Las relaciones C/N en la hojarasca, cobertura, y de raíces son conexas a la presencia de ambas coberturas en la sabana, y a sus niveles de producción de biomasa. Si se suman las variaciones recogidas en ambos componentes del ACP, se alcanza un 80% del total de la varianza explicada, lo que indica la utilidad de las distintas mediciones realizadas para

describir las diferencias en los manejos de las coberturas en su introducción, como el efecto que estas tienen al ser introducidas en el ecosistema de sabana. En tal sentido, la presencia de gramíneas y leguminosas introducidas en la sabana contribuyen en parte a aumentar la biodiversidad vegetal, pero principalmente la oferta forrajera para el ganado, tanto en cantidad como en calidad. Esto permite potenciar y mantener la población biológicamente diversa de organismos del suelo asociados a ellas, aspecto que debe ser considerado en el fomento de técnicas o prácticas que permitan la mayor sostenibilidad del sistema en la sabana.

La hojarasca, al igual que la biomasa aérea y radicular, se presentan como los otros importantes reservorios de C y N, por lo que ambas se constituyen como las vías de entrada principal de los nutrientes en el suelo, siendo esencial en el reciclado de la MOS y los nutrientes (Sánchez *y col.*, 2008). Por ello resulta importante el conocimiento de la concentración de nutrientes tanto en la cobertura en pie, como en la hojarasca de las plantas (Thomas y Asakawa, 1993; Crespo y Pérez, 1999).

Los resultados demuestran que, en las coberturas de BD, CM y VN; la capa de suelo más próxima a la deposición de hojarasca entre los (0 - 5 cm) es fundamental para el funcionamiento del ecosistema, concentrando el total de raíces superficiales, y la mayor proporción de detritus en cantidad y calidad (López-Carrasco *y col.*, 2011), lo cual tiende a aumentar drásticamente tras manejo agronómico del corte. Aspecto que determinaría las altas tasas de descomposición inicial de la hojarasca/necromasa y el alto crecimiento y actividad microbiana asociadas a estos procesos, a una tasa de renovación lo suficientemente rápida, como para que las coberturas puedan aprovechar el reciclaje de nutrientes en aprovechamiento del cambio en las condiciones de humedad y temperatura de la sabana durante la temporada de lluvias. En vista de los análisis, la humedad y la temperatura aparecen entre las variables más determinantes, en concordancia con (Singh, 1969; Brinson, 1977), porque influyen tanto en el desarrollo de la vegetación como en las actividades de los microorganismos, aspectos que son factores críticos en la formación y mantenimiento del suelo. Coincidiendo con la hipótesis expuesta por Berg y Laskowski (2005) y Sánchez (2007) quienes plantearon que, aunque ambos factores climáticos pueden influir en el proceso de descomposición, se une lógicamente la diferencia en la calidad y en la edad de los diversos materiales vegetales que son incorporados al suelo.

CONCLUSIONES

La hojarasca constituye una importante fuente de nutrientes para el suelo. La cantidad de hojarasca caída por periodo de tiempo es utilizada como una medida de la productividad primaria neta. En el trópico, los procesos de descomposición y los flujos de nutrientes son complejos, debido a las condiciones del clima y a las características de la biota. En tal

sentido, el clima modifica notablemente la naturaleza y la rapidez de la descomposición de los restos vegetales en la superficie del suelo, de modo que ejerce una importante influencia en el tipo y la abundancia de la materia orgánica. La variación de la temperatura y la humedad pueden ejercer un mayor o menor efecto, si a esto unimos el manejo del corte de las coberturas, como un elemento dinamizador del sistema, al introducir material vegetal fresco en forma de un abono verde.

Esto nos permite predecir el funcionamiento del agroecosistema de coberturas introducidas en cuanto a pérdidas y recuperación de biomásas durante el proceso de descomposición en periodos de tiempo bastante cortos. Igualmente, se deduce que la presencia de las gramíneas y las leguminosas en los pastizales contribuye a aumentar la diversidad vegetal en el suelo, lo que permite mantener la población biológicamente diversa de organismos, aspecto que debe ser considerado en el fomento de técnicas o prácticas que permitan la mayor sostenibilidad del sistema. Por tanto, se concluye que las coberturas tanto las introducidas, como la propia de la sabana aportan estabilidad al suelo en función principalmente de su producción de aérea y de raíces, permitiendo en el caso de las coberturas introducidas de BD y CM, elevar y mantener el nivel nutricional del suelo de la sabana, como también mejorar su rol ecológico de fuente/sumidero del C y N, como parte de una oferta forrajera viable dentro del contexto de las técnicas de manejo regenerativo para una sábana bien drenada.

LITERATURA CITADA

- Aerts, R. 1997. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems- a triangular relationship. *Oikos* 79: 439.
- Anderson, J.M. y J.S.L. Ingram. 1993. *Tropical soil Biology and fertility: A handbook of methods* (2nd edition). Wallingford, UK: CAB international. 298 p.
- Anugroho, A., M. Kitou, F. Nagumo, K. Kinjo, y G. Jayasinghe. 2010. Potential growth of hairy vetch as a winter legume cover crops in subtropical soil condition. *Soil Science and Plant Nutrition* 56: 254-262.
- Arias, I., y G. López. 1979. Característica de los sistemas de producción de la zona de colinas de la región Oriental de Guárico. FONAIAP. Estación Experimental del Nor-Oriente. Valle de la Pascua. Estado Guárico. Boletín N° 3. 56 pp.
- Bai, Y. y M.F. Cotrufo. 2022. Grassland soil carbon sequestration: Current understanding, challenges, and solutions. *Science* 377(6606):603-608.
- Berg, B. y R. Laskowski. 2005. *Litter decomposition: A guide to carbon and nutrient turnover*. (Eds. B. Berg y R. Laskowski). Academic Press, New York. 448 p.
- Bertsch, H.F. 1995. *La Fertilidad de los suelos y su manejo*. San José, Costa Rica. 157 p.
- Bulla, L. y P. Sánchez. 1986. Variaciones estacionales de la composición florística, diversidad y flujo de energía en una sabana de *Trachypogon* ubicada en Uverito. Informe presentado al CONARE. IZT. UCV, 29p.
- Bravo, C., R.M. Hernández, Z. Lozano, B. Moreno y L. Piñango. 2001. Alternativas para el mejoramiento de la productividad del sistema maíz – ganado en suelos del estado Guárico”. Segundo Informe de Avance de Proyecto. 190 p.
- Bremner, J.M. 1965. Nitrogen availability indexes. En: *Methods of soil analysis, part 2*. C. A. Black (ed). Agronomy 9. Am. Soc. Of Agron., Madison, Wisconsin. 1324-1345 pp.

- Brinson, M.M. 1977. Decomposition and nutrient exchange of litter in an alluvial swamp forest. *Ecology* 58:601.
- Brown, S., Anderson, J.M. Woormer, P.L. Swift, M.J. y E. Barrios. 1994. Soil biological processes in tropical ecosystems. En: *The Biological management of tropical soil fertility*. (Eds. P.L. Woormer and M.J. Swift). John Wiley and Sons, Chichester, UK. 120 p.
- Bruno-Eutimio, D.I., M.L. Avendaño, Y. Perroni, J. Salinas-Ruiz, M.C. Vargas y S. López-Ortiz. 2022. Descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca de árboles en pastizales. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 9(3).
- Calvi, G.P., M.G. Pereira, A.E. Júnior. 2009. Produção de serapilheira e aporte de nutrientes em áreas de floresta atlântica em Santa Maria de Jetibá, ES. *Ciência Florestal* 19(2):131-138.
- Chacon, P. 1988. Dynamique de la matière organique et de l'azote dans une savanne à trichypogon du Venezuela. Tesis Doctoral. Univers. De paris 6. Paris. Francia. 187 p.
- Chakravarty, S., P. Rai, N.A. Pala y G. Shukla. 2020. Litter Production and Decomposition in Tropical Forest. En: *Handbook of Research on the Conservation and Restoration of Tropical Dry Forests*. Gupta NC, Kuma A, Soares de Araújo F, Chandra KK, Singh AK, Srivastava N (eds). IGI Global, Hershey, PA, USA. pp: 193-212.
- Crespo, G. y A. Pérez. 1999. Significado de la hojarasca en el reciclaje de los nutrientes en los pastizales permanentes. *Rev. cubana Cienc. agríc.* 33:349.
- Crespo, G. y A. Pérez. 2000. Mulch contribution to nutrient recycling in permanent pastures. *Cuban J. Agric. Sci* 33:329.
- Crespo, G., I. García y S. Lok. 2015. Contribution to the study of soil fertility and its relation to pastures and forages production. *Cuban Journal of Agricultural Science* 49 p.
- Crespo, G., J. Ortiz, A.A. Pérez y S. Fraga. 2001. Tasas de acumulación, descomposición y NPK liberados por la hojarasca de leguminosas perennes. *Rev. cubana Cienc. agríc.* 35:39.
- Decaëns, T., J.J. Jiménez, E. Barros, A. Chauvel, E. Blanchart, C. Fragosó y P. Lavelle. 2004. Soil macrofaunal communities in permanent pastures derived from tropical forest or savanna. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103:301.
- Eekeren, van N., M. Bos, J. Wit, H. Keidel y J. Bloem. 2010. Effect of individual grass species and grass species mixtures on soil quality as related to root biomass and grass yield Appl. *Soil Ecology* 45: 275.
- Espinoza, Y. 2004. Calidad de la materia orgánica bajo diferentes prácticas de manejo en un suelo ácido tropical. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 21:126-140.
- Ewel, J.A., Y. Madriz y J. Tosi. 1976. Zonas de vida de Venezuela. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico 2ª edición. MAC-FONAIAP, Caracas. 265 pp.
- Rodríguez, I., L. Hernández, G. Crespo, B. Sandrino y S. Fraga. 2013. Performance of the below ground root biomass in different grasslands of Mayabeque province, Cuba. *Cuban Journal of Agricultural Science* 47(2):201-207.
- Gillen, R.L. y E.L. Smith. 1986. Evaluation of the dry-weight-rank method for determining species composition in a tallgrass prairie. *J. of Ran. Manag.* 39: 283-285.
- Giller, K. y K. Wilson. 1991. Nitrogen fixation in tropical cropping systems. CAB International. Wallingford, U.K. 313 p.
- Handayanto, E., G. Cadisch y K.E. Giller. 1995. Manipulation of quality and mineralization of tropical legume tree prunings by varying nitrogen supply. *Plant and Soil* 176:149-170.

- Heal, O.W., J.M. Anderson y M.J. Swift. 1997. Plant litter quality and decomposition: an historical overview. En: Driven by nature: Plant litter quality and decomposition. (Cadish, G. and Giller, K.E., Eds.). CAB Internacional. Wallingford, UK. 3 p.
- Hernández-Hernández, R.M., Z. Lozano, C. Rivero, M. Toro, J. Salazar, A. Torres, A. Ojeda, J. Morales y C. Bravo. 2011. Informe final del proyecto “Manejo agroecológico de sabanas bien drenadas con unidades de producción cereal-ganado. 346 p.
- Hernández-Hernández, R.M., Z. Lozano, M. Toro y C. Rivero. 2007. 1er informe de avance de proyecto: “Manejo agroecológico de suelos de sabanas bien drenadas con unidades de producción cereal-ganado. 202 p.
- Hernández-Valencia I. y D. López-Hernández. 1999. Efectos de la quema sobre el ciclo del fósforo en una sabana de *Trachypogon*. Sociedad Venezolana de Ecología. *ECOTROPICOS* 12(1): 3-8.
- Hernández-Valencia, I. y D. López-Hernández. 1997a. Distribución del fósforo en una sabana de *Trachypogon* de los llanos altos centrales venezolanos. *Acta Biológica Venezuelica* 17: (2): 59-65.
- Hernández-Valencia, I. y D. López-Hernández. 1997b. Flujo de materia orgánica en el estrato herbáceo de una sabana de *Trachypogon* sometida a quema y pastoreo. *Acta Biologica Venezuelica* 17: 23-33.
- Huechacona, A.H. 2016. Dinámica de la producción de hojarasca y el índice de área foliar (IAF) en un bosque tropical seco en Yucatán. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Centro de Investigación Científica de Yucatán, México. <https://cicy.repositorioinstitucional.mx>.
- Jastrow, J.D. y R.M. Miller. 1997. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: Feedbacks through organomineral associations. In. R. Lal, J. Kimble, R. Follett, y B.A. Stewart (Eds.). Soil processes and the carbon cycle. CRC Press. Boca Raton. 207-223 pp.
- Karlen, D.L., N.C. Wollenhaupt, D.C. Erbach, E.C. Berry, J.B. Swan, N.S. Eash y J.L. Jordahl. 1994. Crop residues effects on soil quality following 10-years of no-till corn. *Soil Tillage Res.* 31:149-167.
- Kern, J.S. y M.G. Johnson. 1993. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:200-210.
- Kvet, J., J.P. Ondork, J. Necas y P.G. Jarvis. 1971. Methods of growth analysis. En: Plant photosynthetic production. Manual of Methods. Z. Sestak, J. Castky y P. G. Jarvis (Eds.). W. Junk, N. V. Publisher. The Hague. 343 p.
- Kononova, M.M. 1975. Humus of virgin and cultivated soils. En: *Soil components*. Vol. I. (Ed. J.E. Giesecking). Springer-Verlag. Nueva York. 475 p.
- Longhi, S.J., L.B. Chami, L.F. Watzlawick y A. Ebling. 2011. Produção de serapilheira e retorno de macronutrientes em três grupos florísticos de uma floresta ombrófila mista, RS. *Ciência Florestal* 21(4):699-710.
- López-Carrasco, C., M.P. Rodríguez, A. San Miguel, F.G. Fernández y S. Roig. 2011. Pastos, paisajes culturales entre tradición y nuevos paradigmas del siglo XXI. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos, ISBN 978-84-614-8713-4.
- Machado, W. 2000. Planificación y análisis de experimentos de campo en grandes parcelas sin repetición. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. *Revista de la Facultad de Agronomía. Alcance* (59): 73.
- Martín, A.E. 1995. Reciclado de bioelementos a través de la hojarasca en ecosistemas forestales de la Sierra de Gata. Sistema Central Español. Universidad de Salamanca. Facultad de Ciencias Químicas. España.
- Mata, D. 1986. Evaluación de gramíneas forrajeras en el sureste del estado Guárico. Trabajo de Ascenso. Universidad nacional Experimental Simón Rodríguez. Valle de la Pascua. 135 p.

- Medina E. y G. Sarmiento. 1981. Ecosystèmes pâturés tropicaux du Venezuela; I: Etudes écophysologiques dans les savanes à Trachypogon (Llanos du Centre). En: Ecosystèmes pâturés tropicaux: Recherche sur les ressources naturelles. UNESCO, PNUD y FAO. Boletín no. 16. UNESCO, París, Francia. p. 631-649.
- Mctierman, K.B., M.M. Couteaux, B. Berg, M.P. Berg, R. Calvo de Ant, A. Gallardo, W. Kratzs, P. Piussi, J. Remade y A. Virzo de Santos. 2003. Changes in chemical composition of *Pinus silvestris* needle litter during decomposition along a European coniferous forest climatic transect. *Soil Biology & Biochemistry* 35:801-812.
- Padrino, M. 2005. Dinámica de la descomposición de coberturas en un sistema conservacionista maíz-ganado del estado Guárico. Tesis en Maestría en Ciencias del Suelo. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay. 93 p.
- Pérez, E. y P. Smid. 1984. Observaciones de la dinámica de la biomasa aérea de una comunidad herbácea de sabana. *Acta Bot. Cub.* 20:41.
- Quinto, H., Y. Mena-Domínguez y H. Valoyes-Hinestroza. 2017. Relación entre la producción de hojarasca y las condiciones edáficas en bosques pluviales tropicales del Chocó Biogeográfico, Colombia. *Actualidades Biológicas* 39(106):29-40.
- R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>.
- Ramia, M. 1967. Tipos de Sabanas en los llanos de Venezuela. *Boletín Sociedad Venezolana Ciencias Naturales* 27:264-288.
- Ramírez, E., R.M. Hernández y P. Herrera. 2017. Relaciones suelo-planta-animal en un sistema agroecológico de siembra directa y asociación de coberturas maíz-ganado en sabanas bien drenadas de Venezuela. *Acta Biol. Venez.* 37(1):67-87.
- Rezende, C.P., R.B. Cantarutti, J.M. Braga, J.A. Gomide, J.M. Pereira, E. Ferreira, R. Tarré, R. Macedo, B.J. Alves, S. Urquiaga, G. Cadisch, K.E. Giller y R.M. Boddey. 1999. Litter deposition and disappearance in *Brachiaria* pastures in the Atlantic Forest region of the South of Bahia, Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 54-99.
- Ribeiro, F., A. Bussinguer, A. Rodrigues, C. Maisa, L.J. Mikaela, M. Ilvan Valadão y A. Gatto. 2022. How long does it take to decompose all litter in Brazilian savanna forest? 1-8 pp. CERNE. 28. 10.1590/01047760202228012819.
- Riera, J. e I. Guerrero. 1984. Caracterización agroecológica de la región oriental de Guárico. Subestación Experimental Valle de la Pascua. FONAIAP. (Inédito). 159 p.
- Salas, E., L. Parton, A. Joyce y K. Lauenroth. 1988. Primary production of the central grassland region of the United States: spatial pattern and major controls. *Ecology* 69(1):40-45.
- Sánchez, S., G. Crespo, M. Hernández e Y. Ortega. 2008a. Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* y en un sistema silvopastoril asociado con *Leucaena leucocephala*. *Zootecnia Tropical* 26(3):269-273.
- Sánchez, S., G. Crespo, M. Hernández y Y. García. 2008b. Factores bióticos y abióticos que influyen en la descomposición de la hojarasca en pastizales. *Pastos y Forrajes* 31(2):99-118.
- Sánchez, C.S., L.G. Crespo y C.M. Hernández. 2007. Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* y en un sistema silvopastoril de *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala*. *Pastos y Forrajes* 30(3):357-371.
- Sánchez, S. 2007. Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* Jacq y en un sistema silvopastoril de *P. maximum* y *Leucaena*

- leucocephala* (Lam.) de Wit. Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. 123 p.
- Sandoval, I.E. 2006. Producción de hojarasca y reciclaje de nutrientes de dos especies arbóreas y dos gramíneas en pasturas de Muy, Muy, Nicaragua. Tesis para optar por el grado de Magister Scientiae en Agroforestería Tropical. CATIE. Turrialba, Costa Rica. p. 160
- Sayer E.J, C. Rodtassana, M. Sheldrake, L.M. Bréchet, O.S. Ashford, L. Lopez-Sangil, D. Kerdraon-Byrne, B. Castro, B.L. Turner, S.J. Wright y E.V.J Tanner. 2020. Revisiting nutrient cycling by litterfall-Insights from 15 years of litter manipulation in oldgrowth lowland tropical forest. *Advances in Ecological Research* 62:173-223.
- Sims, P.L. y J.S. Singh. 1978. The structure and function of ten western north American grasslands. IV. Compartmental Transfers and Energy Flow Within the Ecosystem. *J. Ecol.* 66: 547.
- Singh, K.P y R.P. Singh. 1981. Seasonal variation in biomass and energy of small root of tropical dry deciduous forest, Vernasi, India. *Oikos* 37: 88.
- Singh, K.P. 1969. Studies in decomposition of leaf litter of important trees of tropical deciduous forest at Varanasi. *Trop. Ecol.* 20:292.
- Smika, D.E. y P.W. Unger. 1986. Effect of surface residues on soil water storage. *Adv. Soil Sci.* 5:111-138.
- Soler, P., J.L. Berroterán, J. Gil y R. Acosta. 2008. Producción de hojarasca de la vegetación nativa en los llanos altos centrales de Venezuela. *Zootecnia Trop.*, 26(3):265-268.
- Solórzano, N., E. Arends y E. Escalante. 1998. Efectos del Samán (*Samanea saman* (Jacq.) Merrill) sobre la fertilidad del suelo en un pastizal de *Cynodon nlemfuensis* (Vanderyst) en Portuguesa. *Revista Forestal Venezolana* 42:149.
- Taylor, R.E., O.E. Hays, C.E. Bay y R.M. Dixon. 1964. Corn stover mulch for control of runoff and erosion on land planted to corn after corn. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28:123-125.
- Thomas, R.J. y M.M. Asakawa. 1993. Descomposición de leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biology and Biochemistry* 25:1351.
- Trofymow, J.A., T. Moore, B. Titus, C. Prescott, T. Morrison, M. Siltanen, S. Smith, J. Fyles, R. Wein, C. Camire, L. Duschene, L. Kozak, M. Kranabetter y S. Visser. 2002. Rates of litter decomposition over 6 years in Canadian forests: influence of litter quality and climate. *Can. J. For. Res.* 32:789.
- UNESCO-CIFCA. 1980. Ecosistemas de Bosques Tropicales. Informe sobre el Estado de los Conocimientos. Preparado por UNESCO/CIFCA/FAO: 771 pp.
- Vásquez, K., L.D. Alfaro, R. Cordero y A. Morera. 2024. Hojarasca como indicador de producción primaria y su relación con variables climáticas en bosques ribereños de los Corredores Biológicos Montes del Aguacate y Lago Arenal Tenorio, Costa Rica. *Revista Environment & Technology* 5(1):1-27.
- Wei, T. y V. Simko. 2017. R package "corrplot": Visualization of a Correlation Matrix (Version 0.84). <https://github.com/taiyun/corrplot>.
- Wu, Z., P. Dijkstra, G.W. Koch, J. Peñuelas y B.A. Hungate. 2011. Responses of terrestrial ecosystems to temperature and precipitation change: a meta-analysis of experimental manipulation. *Global Change Biology* 17:927-942.
- Zhao, M. y S.W. Running. 2010. Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000–2009. *Science* 329:940-943.