

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**DINÁMICA DE NUTRIENTES Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA
HOJARASCA DURANTE EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN
EN EL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO DEL NORESTE
DE NUEVO LEÓN**

POR

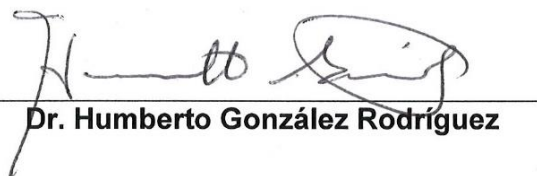
ANA MARÍA VÁSQUEZ GONZÁLEZ

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

AGOSTO, 2019

DINÁMICA DE NUTRIENTES Y COMPOSICIÓN QUÍMICA
DE LA HOJARASCA DURANTE EL PROCESO DE
DESCOMPOSICIÓN EN EL MATORRAL ESPINOSO
TAMAULIPECO DEL NORESTE DE NUEVO LEÓN

Comité de Tesis



Dr. Humberto González Rodríguez

Director



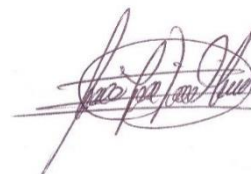
Dr. Israel Cantú Silva

Co-Director



Dr. Mauricio Coterá Correa

Asesor



Dr. Tilo Gustavo Domínguez

Gómez

Asesor externo

Linares, Nuevo León

Agosto, 2019

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de Maestría y por el financiamiento de esta investigación por medio del proyecto “Caracterización y análisis de la diversidad vegetal y su relación con los servicios ecosistémicos” con clave 250732.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León y a la Facultad de Ciencias Forestales, por su formación académica y otorgar los apoyos necesarios para culminar dicho estudio.

Al Dr. Humberto González Rodríguez, por ser el director de esta investigación y compartir sus conocimientos con paciencia y entusiasmo. Quien siempre mantuvo el empeño en seguir mi estancia y desarrollo durante estos años de estudio. Le agradezco el hecho de transmitir su vocación de investigación que ahora me han hecho crecer profesionalmente.

Al Dr. Israel Cantú Silva por su buena participación en formar parte del comité de esta tesis, por las revisiones tan acertadas y por sus valiosas sugerencias que sirvieron para enriquecer esta investigación.

Al Dr. Mauricio Cotera Correa le agradezco por su entera disposición y asesoría para esta tesis.

Al Dr. Tilo Gustavo Domínguez Gómez por ser parte del comité y brindar sus conocimientos muy importantes para la culminación de dicha investigación.

Agradezco a la Sra. Elsa Dolores González Serna por su colaboración y apoyo en todos los análisis de laboratorio y sus asesorías tan importantes.

A mi compañero de investigación el Mc. Jonathan Lazcano quien compartió su investigación y quien realizó parte de la colecta de datos.

DEDICATORIAS

A dios: Por haberme permitido llegar hasta esta etapa de mi vida que sin duda alguna es la mejor y haberme dado salud para lograr mis objetivos.

A mis padres: Sr. Fausto Vásquez García y Sra. María del Rosario González Sánchez por haberme dado el regalo más importante “Educación” por lo que ahora culmino una etapa más en vida llena de alegría y felicidad. Gracias a sus consejos he podido formarme profesionalmente y el amor que siempre me han brindado me ha hecho cada vez más fuerte. ¡Gracias padres! por dar todo de ustedes para que siempre saliera adelante. Los amo infinitamente.

A mi hermana: Rosario Alejandra Vásquez González a la que quiero y amo mucho, que es parte importante en mi vida. A quien deseo el mejor de los éxitos. Gracias por tu comprensión hermana.

A mi sobrina: Mía Ayari Vásquez González que aunque aún es muy pequeña es parte importante en mi vida, que amo con todo mí ser. ¡Te amo mi pequeña!

A mi compañero: Julián González Juan que ha compartido conmigo los momentos más felices, me ha cuidado, amado y apoyado haciendo cada momento de mi vida más emocionante. Que al pasar de los años mantenemos en común una gran meta que hoy está a punto de cumplirse “Crecer juntos profesionalmente”.

A mi familia: La familia González quienes me han enseñado e inspirado a ser cada día mejor. Gracias por sus consejos de vida y todas sus atenciones que con amor me brindaron.

A todas esas personas que han estado con conmigo, que sin duda alguna les doy gracias por su cariño.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. OBJETIVOS	6
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	6
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
5. HIPÓTESIS	6
6. MATERIALES Y MÉTODOS	7
6.1. DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO	7
6.2. MÉTODO DE LA BOLSA	9
6.3. MUESTREO DE LA DESCOMPOSICIÓN DE LA HOJARASCA	9
6.4. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS	10
6.5. DETERMINACIÓN DE MACRO Y MICRO NUTRIMENTOS	10
6.6. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA	10
6.7. VARIABLES AMBIENTALES.....	10
6.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	12
7. RESULTADOS	13
7.1. CONTENIDO DE MACRO-NUTRIMENTOS	14
7.1.1. Contenido de Calcio (Ca)	14
7.1.2. Contenido de Magnesio (Mg)	15
7.1.3. Contenido de Potasio (K)	16
7.2. CONTENIDO DE MICRO-NUTRIMENTOS	17
7.2.1. Contenido de Cobre (Cu)	17
7.2.2. Contenido de Hierro (Fe).....	18
7.2.3. Contenido de Manganeseo (Mn).....	19
7.2.4. Contenido de Zinc (Zn).....	20
7.2.5. Contenido total de macro y micro nutrientes por sitio.....	21

7.3.	CONTENIDO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA	22
7.3.1.	Contenido de Fibra Ácida Detergente	23
7.3.2.	Contenido de Fibra Neutro Detergente	24
7.3.3.	Contenido de Lignina	25
7.3.4.	Contenido de Celulosa	26
7.3.5.	Contenido de Hemicelulosa	27
8.	DISCUSIÓN	28
9.	CONCLUSIONES	31
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	32
11.	ANEXOS	39

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tiempos (día-mes-año) de incubación programados para la recolecta de las bolsas de degradación en cada sitio.	9
Cuadro 2. Prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios para diferentes tiempos de incubación durante el proceso de degradación de la hojarasca. Valores P en negritas ($P < 0.05$) indican diferencias entre los sitios de estudio en los nutrientes analizados.	13
Cuadro 3. Aportación total de macro (Ca, Mg y K; mg g^{-1} ps) y micro-nutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn; $\mu\text{g g}^{-1}$ ps) durante el proceso de descomposición de la hojarasca por sitio de estudio.	21
Cuadro 4. Resumen del análisis de la prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios para los diferentes constituyentes químicos durante el proceso de degradación de la hojarasca. Valores P en negritas ($P < .05$) indican diferencias entre los sitios de estudio en la composición química analizada.	22
Cuadro A 1. Resultados de las pruebas de normalidad de los nutrientes por fecha de muestreo entre los sitios. Valores P en negritas ($P < .05$) indican que no hay distribución normal.	39
Cuadro A 2. Resultados de las pruebas de normalidad de la composición química por fecha de muestreo entre los sitios. Valores P en negritas ($P < .05$) indican que no presentan distribución normal.	41
Cuadro A 3. Coeficientes de correlación de Spearman ($P < 0.01$) entre en los nutrientes y las variables climáticas en los sitios de estudio (Valores P en negritas indican diferencias significativas). Los valores que se encuentran por encima de la diagonal representan el coeficiente de correlación y por debajo de la diagonal el valor de P.....	43
Cuadro A 4. Coeficientes de correlación de Spearman ($P < 0.01$) entre la composición química y las variables climáticas en los sitios de estudio (Valores P	

en negritas indican diferencias significativas). Los valores que se encuentran por encima de la diagonal representan el coeficiente de correlación y por debajo de la diagonal el valor de P 44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio.....	8
Figura 2. Temperatura media del aire (a), humedad relativa media (b) y precipitación acumulada (b), registrada entre tiempos de incubación, en cada sitio de estudio.	11
Figura 3. Patrón del contenido de Ca en la hojarasca durante el proceso de descomposición en los tres sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=10) ± error estándar. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas.....	14
Figura 4. Patrón del contenido de Mg en la hojarasca durante el proceso de descomposición en los tres sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=10) ± error estándar. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas.....	15
Figura 5. Patrón del contenido de K en la hojarasca durante el proceso de descomposición en los tres sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=10) ± error estándar. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas.....	16
Figura 6. Patrón del contenido de Cu en la hojarasca durante el proceso de descomposición en los tres sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=10) ± error estándar. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas.....	17
Figura 7. Patrón del contenido de Fe en la hojarasca durante el proceso de descomposición en los tres sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=10) ± error estándar. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis	

para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas..... 18

Figura 8. Patrón del contenido de Mn en la hojarasca durante el proceso de descomposición en los tres sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=10) ± error estándar. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas..... 19

Figura 9. Patrón del contenido de Zn en la hojarasca durante el proceso de descomposición en los tres sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=10) ± error estándar. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas..... 20

Figura 10. Contenido de FDA en la hojarasca durante el proceso de descomposición a diferentes tiempos de incubación en los tres sitios. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas. 23

Figura 11. Contenido de FDN en la hojarasca durante el proceso de descomposición a diferentes tiempos de incubación en los tres sitios. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas. 24

Figura 12. Contenido de Lignina en la hojarasca durante el proceso de descomposición a diferentes tiempos de incubación en los tres sitios. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas. 25

Figura 13. Contenido de Celulosa en la hojarasca durante el proceso de descomposición a diferentes tiempos de incubación en los tres sitios. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas

entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas.
..... 26

Figura 14. Contenido de Hemicelulosa en la hojarasca durante el proceso de descomposición a diferentes tiempos de incubación en los tres sitios. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas.
..... 27

RESUMEN

La hojarasca es una de las formas principales de entrada de los nutrientes en el suelo por tal motivo, el objetivo del presente estudio fue determinar el contenido de nutrientes y la composición química durante el proceso de descomposición de la hojarasca en el Matorral Espinoso Tamaulipeco en tres sitios del noreste de Nuevo León. Se utilizó el método de la bolsa "litter bag", con la finalidad de cuantificar el contenido de macro- (Ca, K y Mg) y micro-nutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) y la composición química mediante la determinación del contenido de Fibras (FDN y FDA), Lignina, Celulosa y Hemicelulosa, así como también, la determinación de las variables climáticas (temperatura del aire, humedad relativa y precipitación). Los resultados emanados de la prueba estadística muestran diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los sitios, con una liberación más rápida de K con $4.11 \text{ mg g}^{-1}\text{ps}$ siendo un 50.25% en Facultad; Crucitas de $6.40 \text{ mg g}^{-1}\text{ps}$ (20.45%) y Los Ramones con $7.81 \text{ mg g}^{-1}\text{ps}$ (29.78%) y con acumulaciones en los micro nutrientes siendo mayor en Fe con una acumulación respecto a su valor inicial en el sitio Facultad de $713.3 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}\text{ps}$; Crucitas de $737.8 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}\text{ps}$ y Los Ramones de $666.2 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}\text{ps}$, mostrando el siguiente patrón $\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$ y sus aportaciones totales por sitio fueron Facultad > Crucitas > Los Ramones. Entre la FDA, FDN y Lignina se presentaron concentraciones superiores a los valores iniciales con sus puntos máximos (FDA y FDN en los tiempos de incubación 510 días en los sitios Crucitas y Los Ramones con valores en FDA de 45.40 a 48.57% y FDN 71.58 a 76.48%, en el sitio Facultad en los días 60 (41.17% en FDA) y 15 (73.03% en FDN); y finalmente la Lignina en Facultad en el día 390 de 29.80%; Crucitas y Los Ramones en el día 270 de 31.05% y 35.71% y sus concentraciones por sitio fue Los Ramones > Crucitas > Facultad. Estas diferencias entre sitios se infiere que pueden estar relacionadas con las condiciones de la calidad de la hojarasca, las variaciones en la temperatura y precipitación, los cuales influyen en la eficiencia de la descomposición de la hojarasca y la productividad de los sitios.

Palabras clave: Aportación de nutrientes, Descomposición, Composición química, Retorno potencial, Hojarasca.

ABSTRACT

Leaf litter is one of the main forms of entry of nutrients in the soil for this reason, the objective of the present study was to determine the nutrient content and chemical composition during the process of litter decomposition in the Matorral Espinoso Tamaulipeco in three sites of the northeast of Nuevo León. The bag method "litter bag" was used to quantify the content of macro- (Ca, K and Mg) and micro-nutrients (Cu, Fe, Mn and Zn) and the chemical composition by means of the determination of the content of Fibers (FDN and FDA), Lignin, Cellulose and Hemicellulose, as well as the determination of the climatic variables (air temperature, relative humidity and precipitation). The results emanating from the statistical test show significant differences ($P < 0.05$) between the sites, with a faster release of K with 4.11 mg g⁻¹ps being 50.25% in Faculty; Crucitas of 6,40 mg g⁻¹ps (20.45%) and Los Ramones with 7,81 mg g⁻¹ps (29.78%) and with accumulations in the micro nutrients being higher in Fe with an accumulation with respect to its initial value in the Faculty site of 713,3 µg g⁻¹ps; Crucitas of 737,8 µg g⁻¹ps and Los Ramones of 666,2 µg g⁻¹ps, showing the following pattern Ca > K > Mg > Fe > Mn > Zn > Cu and their total contributions per site were Faculty > Crucitas > Los Ramones. Between the FDA, NDF and Lignin concentrations higher than the initial values with their maximum points (FDD and NDF in the 510 incubation times at the Crucitas and Los Ramones sites with FDA values of 45,40 to 48,57% and NDF 71,58 to 76,48 were presented. %, in the Faculty site in the 60 days (41.17% in FDA) and 15 (73.03% in FDN); and finally the Lignin in Faculty in day 390 of 29.80%, Crucitas and Los Ramones in day 270 of 31.05% and 35.71 % and its concentrations per site was Los Ramones > Crucitas > Faculty. These differences between sites are inferred that they can be related to litter quality conditions, to variations in temperature and precipitation, which influence the efficiency of the decomposition of litter and the productivity of the sites.

Keywords: Nutrient supply, Decomposition, Chemical composition, Potential return, Leaf litter.

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas generan diversas funciones ecológicas importantes en distintos niveles tanto regional como mundial, como el ciclaje de nutrientes, alimento y forraje para la fauna en estado silvestre y ganadería extensiva, protección contra la erosión del suelo, conservación y protección de la biodiversidad, regulación del clima, conservación hidrológica, entre otras funciones (Oyarzún *et al.*, 2005). Por tal motivo, la hojarasca es parte fundamental de la entrada principal de los nutrientes en el suelo y es una importante vía en la modificación de la materia orgánica (Sánchez *et al.*, 2008). Genera el aporte de los nutrientes, procesos y funciones biológicas de la planta que son de vital importancia no solo en ella, sino que también, en determinar la cantidad y calidad en los forrajes e incrementar la producción en condiciones climáticas favorables y óptimas (González & Cantú, 2001).

Un ecosistema forestal que presenta equilibrio, su pérdida anual de hojarasca debe ser compensada por el total de aportes (Hans *et al.*, 1949); en caso contrario, se presentaría una acumulación y retención de bioelementos que a su vez genera una disminución progresiva de la productividad (Toutain, 1981; Santa-Regina y Gallardo, 1989). Es por ello, que la degradación es clave en el desarrollo y funcionamiento de los bosques. Muchos estudios han sugerido que factores abióticos como la temperatura, radiación, aireación, humedad y la precipitación, podrían influir en el proceso de degradación considerando conjuntamente la calidad de la hojarasca (Di Stefano & Fournier, 2005; Averti & Dominique, 2011).

Otra de las razones importantes de la hojarasca, es el valor nutritivo que posee como alimento, determinado por su composición química y la eficacia de extracción de nutrientes por los animales durante el proceso de la digestión (Sanon *et al.*, 2008). La composición química y los nutrientes digeribles son la fuente de alimentos de los animales (Canbolat, 2012). Algunos compuestos cuando se presentan en altas concentraciones en la composición química,

pueden ser retardantes en la descomposición de materia orgánica (Tian, 1992). La composición química de la hojarasca durante la degradación, es atribuida a distintas razones como la estructura de la especie vegetal, mediante la transformación de sus compuestos para finalmente utilizarlos en la nutrición de nuevas plantas (Martínez, 2013). La actividad biótica llevada a cabo en el suelo, es de suma importancia ya que es la responsable en la transformación del humus mejorando su estructura y funcionalidad (Dick, 1992).

A pesar de que se han llevado a cabo investigaciones ecológicas, biológicas y florísticas en distintos tipos de vegetación de México y particularmente en el Matorral Espinoso Tamaulipeco (Domínguez, 2013), la información existente es escasa sobre el contenido nutrimental y la composición química de la hojarasca en estado de descomposición. Por ello, es importante entender los procesos ecológicos básicos que mantienen el funcionamiento de los ecosistemas para identificar, conservar y aprovechar los servicios que nos brindan de una manera sustentable, realizando estudios sobre la aportación de nutrientes y composición química en el estado de Nuevo León generando un avance fundamental para entender el estado de los ecosistemas.

2. ANTECEDENTES

En Colombia, Flórez-Flórez *et al.* (2013) determinaron los nutrientes de hojarasca en plantaciones forestales con la especie *Azadirachta indica* (Meliaceae) mediante el método “litter-bag” durante un periodo de 365 días. En dicho estudio, se encontró un patrón descendiente en los elementos analizados; K>P>Mg>Ca>N. La máxima liberación fue del K de 99.9% y la mínima en N con 40.9%, mientras que el P fue el nutriente con menor aportación y disponibilidad en el suelo. Por otra parte, los contenidos de lignina presentaron valores iniciales y finales de 10.40% y 23.40%, respectivamente.

Gaspar-Santos *et al.* (2015), se enfocaron en identificar determinantes de degradación de la hojarasca en bosques secundarios con degradación en la cuenca alta del río Grijalva, en Chiapas, obteniendo muestras durante 290 días en especies de *Alnus acuminata*, *Quercus segoviensis* y *Pinus tecunumanii*. Los resultados mostraron que la especie *A. acuminata* presenta potencial en la utilidad de restauración, seguida de *Q. segoviensis*. Con *P. tecunumanii*, se presentaron mayores contenidos de celulosa, taninos, C/N y lignina/nitrógeno en las hojas. Finalmente, se propuso plantar al inicio de la restauración, la especie *Alnus acuminata*, seguida de *Q. segoviensis* para mejorar la estructura y estabilidad del suelo.

Domínguez *et al.* (2014), determinaron durante un año el contenido de macronutrientes y micronutrientes y la composición química de las siguientes especies arbustivas: *Acacia amentacea*, *Parkinsonia texana*, *Forestiera angustifolia* y *Celtis pallida*. La especie *Celtis pallida*, mostró los mayores contenidos de macro nutrientes en los tres sitios evaluados y *Parkinsonia texana* con altos contenidos de micro nutrientes para los sitios Los Ramones y Linares, mientras para el sitio China, la especie *Celtis pallida*. En total, el sitio Linares presentó los contenidos mayores de Fibra Detergente Neutro, Fibra Detergente Ácido, Lignina Ácido Detergente, Hemicelulosa, Celulosa, Proteína Cruda,

Materia Digestible, Energía Metabolizable y Energía Digestible, posteriormente los sitios China y Los Ramones.

Sabin *et al.* (2014), estudiaron la velocidad de la degradación de la hojarasca y sus cambios en las características químicas del humus mediante el método de la bolsa "litter bag" en cinco especies: *Azelia africana*, *Anogeissus leiocarpa*, *Ceiba pentandra*, *Dialium guineense* y *Diospyros mespiliformis*, en una reserva forestal de un bosque tropical en Benín. Las diferencias encontradas se presentaron en la calidad inicial del mantillo que provocaron una gran variación de las tasas absolutas de decaimiento (valores de K_a) entre las especies, de 1.69 a 4.67 año⁻¹. Entre los controles químicos principales de la degradación foliar fue la lignina.

3. JUSTIFICACIÓN

En particular, el Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET) constituye una amplia gama de especies nativas deciduas y perennes que a través del tiempo han desarrollado características fisiológicas y morfológicas para sobrevivir a cambios adversos tales como factores ambientales (González & Cantú, 2001). Además, de poseer un distintivo rango de crecimiento y persistencia foliar (González *et al.*, 2011). La mayoría de los procesos fundamentales llevados a cabo en los suelos forestales, se deben a la calidad de la materia orgánica (Santa-Regina *et al.*, 2005). Gran parte de la materia descompuesta es parte de residuos orgánicos que caen sobre el suelo como la liberación de hojas, ramas y otros materiales vegetales (Carnevale & Lewis, 2001).

Uno de los procesos principales que desencadena la degradación del suelo es la disminución de materiales orgánicos, debido a que este componente interviene de manera determinante en la capacidad productiva del suelo (Porta-Casanellas *et al.*, 2003).

La degradación de la hojarasca en los bosques contribuye a más de la mitad de la absorción de los nutrientes, generando con ello una fuente primordial de minerales disponibles (Del Valle-Arango, 2003). En consecuencia de lo anterior, el estudio de la dinámica de nutrientes y las concentraciones químicas en la hojarasca son fuente importante de información ya que poseen diversas funciones en el entorno. Estudios aunados a los procesos de descomposición son muy escasos, sobre todo en el MET, por ello es importante seguir contribuyendo al desarrollo y generación de información más completa y propiciar la investigación para los diferentes tipos de ecosistemas que se encuentran en México y conocer los futuros impactos para aprovechar los recursos de una manera más sustentable o en su caso, la restauración de áreas degradadas.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Determinar el aporte de nutrientes y la composición química durante el proceso de degradación de la hojarasca del Matorral Espinoso Tamaulipeco, en tres sitios del noreste del estado de Nuevo León, México.

4.2. Objetivos específicos

- a. Cuantificar el contenido de macro (Ca, K y Mg) y micro-nutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) durante el proceso de degradación de la hojarasca.
- b. Caracterizar la composición química en base al contenido de fibras (FDN y FDA), lignina, celulosa y hemicelulosa durante el proceso de degradación de la hojarasca.

5. HIPÓTESIS

- a. El contenido nutrimental y la composición química durante el proceso de descomposición de la hojarasca, entre los sitios de estudio, es de manera diferencial.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Descripción de los sitios de estudio

La ubicación de los sitios de la presente investigación fue en áreas pertenecientes a la vegetación típica del matorral con distintas condiciones biológicas y altitudes (Figura 1).

Sitio 1.

Este sitio se estableció dentro del Campus Experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León "Facultad", en el municipio de Linares (24° 46' 43" N; 99° 31' 39" O); con una elevación de 370 msnm. La temperatura media mensual varía entre 14°C en Enero a 22°C en Agosto, con una precipitación anual de 805 mm, con suelos Vertisoles y su vegetación predominante es el Matorral Espinoso Tamaulipeco (INEGI, 2009).

Sitio 2.

El sitio se encuentra dentro del ecotono o transición del bosque mixto de pino-encino y el matorral alto subinerme. Específicamente se ubicó en el ejido "Crucitas", en el municipio de Linares. Su localización geográfica es 24° 46' 35" N; 99° 41' 44" O; a una altitud de 550 msnm. Los tipos de suelo que se pueden identificar corresponden a los Castañozem y Chernozem. La temperatura media anual de 21°C y la precipitación anual de 755 mm (Bravo, 1999).

Sitio 3.

Se estableció en un predio particular llamado Rancho El Abuelo, ubicado en el municipio de "Los Ramones"; el predio cuenta con una superficie de 100 ha. Su localización geográfica es 25° 39' 42" N; 105° 27' 49" con una altitud de 200 msnm. La temperatura media anual varía de 20 a 24°C y una precipitación anual que varía de 500 a 800 mm. Los suelos dominantes son Vertisoles, Castañozem y Calcisol con una vegetación predominante de matorral (INEGI, 2009).

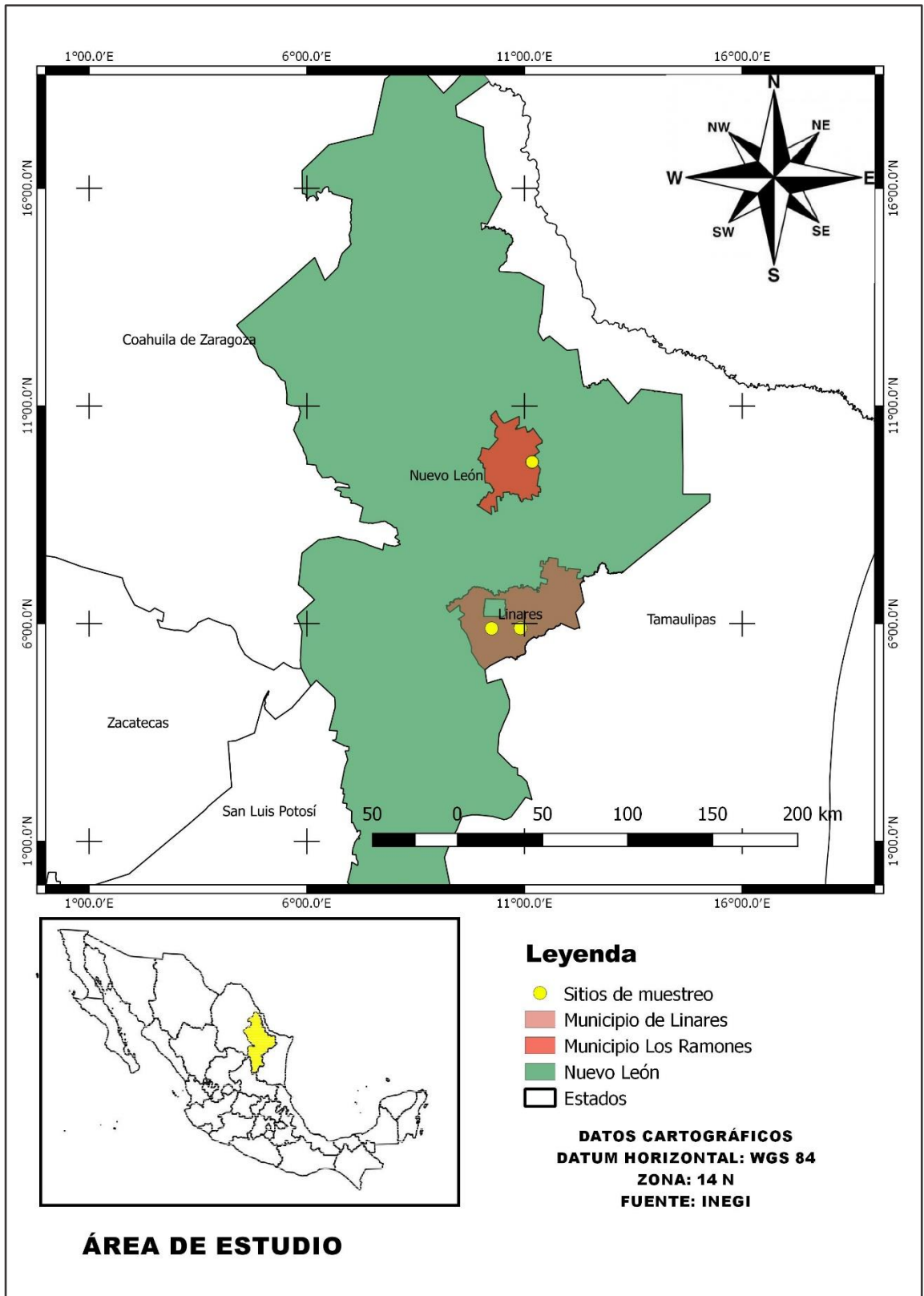


Figura 1. Área de estudio.

6.2. Método de la bolsa

Para llevar a cabo el proceso del estudio de la degradación de la hojarasca, se utilizó el método de la bolsa de hojarasca “litter bag” (Bocock & Gilbert, 1957); el cual consiste en coleccionar hojarasca recién caída en cada uno de los sitios, considerando 5.0 g para cada bolsa utilizada en la degradación y posteriormente colocadas en bolsas de 15 cm x 20 cm de tela nylon de 1 mm de luz. La apertura de la bolsa permite el acceso de detritívoros invertebrados y minimiza las pérdidas (Douce & Crossley, 1982). En cada bolsa, se depositó una mezcla homogénea de los componentes de la hojarasca (hojas, ramas, estructuras reproductivas y otros elementos de la hojarasca). Se colocaron 60 bolsas en cinco parcelas experimentales (20 m x 20 m) por cada sitio de estudio y 10 bolsas pertenecieron al tiempo de incubación 0 las cuales no fueron colocadas en campo.

6.3. Muestreo de la descomposición de la hojarasca

Se recolectaron 10 bolsas de hojarasca en cada sitio en las fechas correspondientes a su colecta (Cuadro 1) para los tiempos de incubación 0, 15, 60, 150, 270, 390 y 510 posterior a la fecha de establecimiento o “siembra” en campo mediante una selección al azar de colocación y extracción, para ser posteriormente transportadas al Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL, donde se procedió a secarlas a 65°C, hasta alcanzar un peso constante.

Cuadro 1. Tiempos (día-mes-año) de incubación programados para la recolecta de las bolsas de degradación en cada sitio.

Sitio	Tiempo de incubación (días)						
	0	15	60	150	270	390	510
Facultad	31-03-17	15-04-17	30-05-17	28-08-17	26-12-17	25-04-18	23-08-18
Crucitas	16-05-17	31-05-17	15-07-17	13-10-17	10-02-18	10-06-18	08-10-18
Los Ramones	11-05-17	26-05-17	10-07-17	08-10-17	05-02-18	05-06-18	03-10-18

6.4. Preparación de las muestras

Una vez que la bolsa de nylon con la muestra de hojarasca y que su peso fue cuantificado, se procedió a molerlas utilizando un molino (Thomas Scientific Apparatus, Modelo 3383) con malla del No. 60 (1 mm x 1 mm). Enseguida, el material molido se colocó en bolsas tipo “Ziploc” etiquetadas por sitio, tiempo de incubación y repetición para su posterior análisis químico.

6.5. Determinación de macro y micro nutrientes

El análisis de los nutrientes se llevó a cabo mediante espectrofotometría de absorción atómica, en los que se determinaron los macro y micro-nutrientes a los tiempos 0, 15, 60, 150, 270, 390 y 510 días de incubación, de cada repetición proveniente de cada sitio y fecha de colecta usando un 1.0 g de la muestra remanente. Posteriormente, se procedió a incinerar la muestra en una mufla a 550°C durante 3.5 horas. Las cenizas emanadas fueron digeridas en una solución de HCl y HNO₃ utilizando la técnica de digestión húmeda (AOAC, 1990). Las determinaciones se llevaron a cabo con el espectrofotómetro marca Perkin-Elmer, modelo PinAAcle-900F, donde se cuantificó el Ca (óxido nitroso/llama de acetileno), K, Mg, Cu, Mn, Fe y Zn (aire/llama de acetileno).

6.6. Determinación de la composición química

Del material recolectado y molido de cada bolsa, se analizó 0.5 g para conocer el contenido de Fibra Detergente Neutro (FDN), la Fibra Detergente Ácido (FDA) y Lignina (L); dichos contenidos fueron estimados por los procesos definidos por Van Soest *et al.* (1991), utilizando el aparato Fiber Analyzer (modelo ANKOM 200). Se estimaron por diferencias la Hemicelulosa (FDN-FDA) y la Celulosa (FDA-L).

6.7. Variables ambientales

Las variables ambientales que se determinaron mediante el uso de sensores automatizados HOBO Pro Series Onset RH Temp, fue la temperatura del aire (°C) y humedad relativa (%) en cada sitio de estudio. En el caso de la

precipitación pluvial (mm) diaria, se utilizó un pluviómetro automatizado marca Davis, conectado a un registrador HOBO Event Onset. Estos sensores se programaron de tal manera que el registro de datos fuera tomado cada hora para tener un registro más específico en cada uno de los tiempos de incubación evaluados (Figura 2).

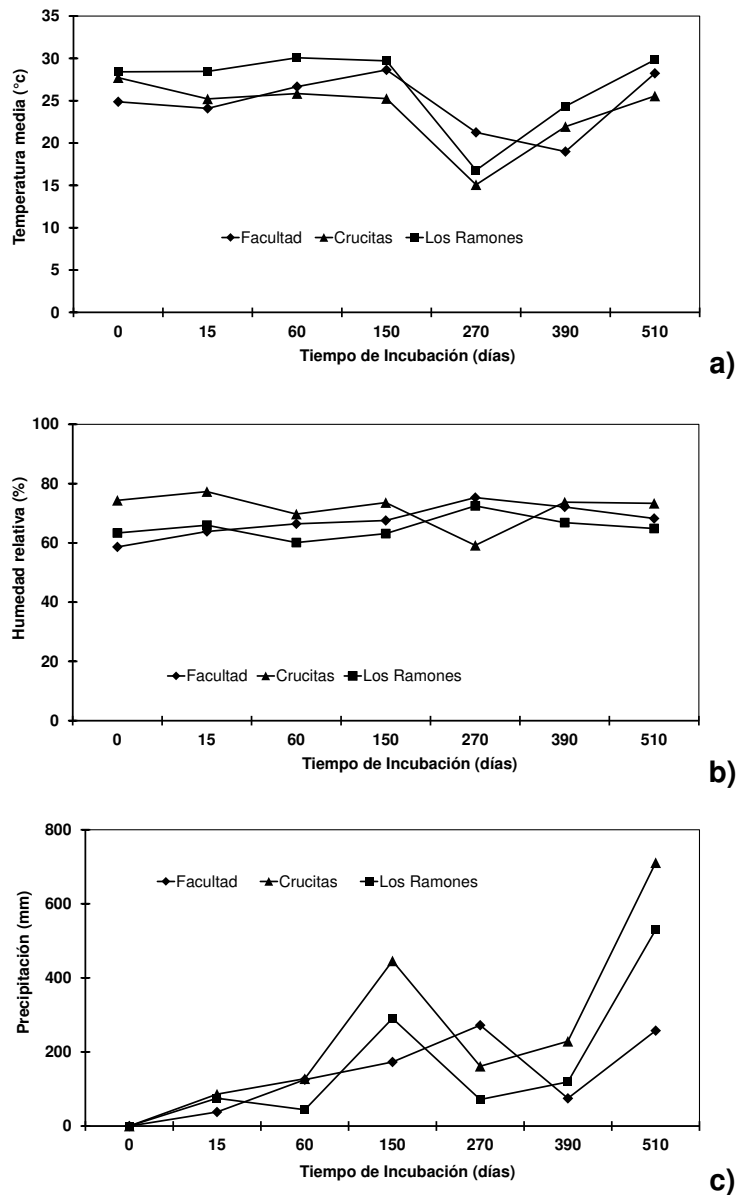


Figura 2. Temperatura media del aire (a), humedad relativa media (b) y precipitación acumulada (c), registrada entre tiempos de incubación, en cada sitio de estudio.

6.8. Análisis estadístico

Los datos de los contenidos de los nutrimentos originados en la degradación de la hojarasca por tiempo de incubación y sitio de muestreo se sometieron a análisis de varianza (ANDEVA) de acuerdo al diseño experimental con un criterio de clasificación (Steel & Torrie, 1980). Los resultados del análisis no presentaron homogeneidad de varianzas en los nutrimentos (Cuadros A1) ni en la composición química (Cuadros A2), de acuerdo a las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk (Brown & Forsythe, 1974). De igual manera, la distribución no fue normal aun cuando los datos se transformaron logarítmicamente por lo que se optó analizar los datos mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Ott, 1993) con el fin de detectar diferencias estadísticas entre los sitios para cada nutrimento y composición química en cada uno de los tiempos de incubación, estableciendo un nivel de significancia mínimo de $P < 0.05$. Para evaluar la asociación entre los nutrimentos (Cuadro A3), la composición química (Cuadro A4) y variables ambientales (temperatura, humedad relativa y precipitación) entre sitios, los datos se sometieron al análisis de correlación de Spearman (Ott, 1993). Todos los procedimientos estadísticos emanados en la presente investigación se aplicaron mediante el uso del Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS, por sus siglas en inglés) versión estándar 22.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL).

7. RESULTADOS

La hojarasca, mediante su descomposición, genera la liberación de nutrimentos que mejoran la fertilidad del suelo propiciando con ello un mejor desarrollo en las plantas; sin embargo, poseen diversas aportaciones a lo largo de la degradación. La dinámica de dichos nutrientes en esta investigación fue comprobada mediante la prueba Kruskal-Wallis para mostrar diferencias significativas entre los sitios (Cuadro 2). Los macro nutrimentos mostraron diferencias significativas en los días 15, 60, 150 y 390 en los tres nutrientes analizados. En relación a los micro nutrimentos (Cu, Fe, Mn y Zn), sus aportaciones presentaron diferencias significativas en los días 390 y 510.

Cuadro 2. Prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios para diferentes tiempos de incubación durante el proceso de degradación de la hojarasca. Valores P en negritas ($P < 0.05$) indican diferencias entre los sitios de estudio en los nutrimentos analizados.

Tiempo de incubación (Días)	Estadístico	Nutrimento						
		Ca	Mg	K	Cu	Fe	Mn	Zn
0	χ^2	1.332	16.746	15.146	12.715	5.499	17.128	19.861
	Valor P	0.514	<0.001	<0.001	0.002	0.064	<0.001	<0.001
15	χ^2	6.63	13.99	20.317	4.532	9.578	3.355	2.381
	Valor P	0.036	0.001	<0.001	0.104	0.008	0.187	0.304
60	χ^2	9.835	19.419	15.734	17.422	3.885	12.731	17.876
	Valor P	0.007	<0.001	<0.001	<0.001	0.143	0.002	<0.001
150	χ^2	3.659	14.158	14.736	7.722	2.698	20.034	5.951
	Valor P	0.160	0.001	0.001	0.021	0.26	<0.001	0.051
270	χ^2	3.513	18.256	10.958	7.664	1.387	15.257	4.186
	Valor P	0.173	<0.001	0.004	0.022	0.500	<0.001	0.123
390	χ^2	19.595	6.02	6.549	14.099	13.415	6.291	9.02
	Valor P	<0.001	0.049	0.038	0.001	0.001	0.043	0.011
510	χ^2	14.726	9.815	1.205	12.62	9.477	6.832	9.98
	Valor P	0.001	0.007	0.547	0.002	0.009	0.033	0.007

7.1. Contenido de macro-nutrientes

7.1.1. Contenido de Calcio (Ca)

La dinámica del contenido de Ca durante la degradación de la hojarasca en los tres sitios de estudio no presentó diferencias significativas entre los sitios en los tiempos de incubación 0 (0.51), 150 (0.16) y 270 (0.17). Sus aportaciones mínimas y máximas para el sitio Facultad fue de 0.77 mg g⁻¹ ps (270 días) a 56.04 mg g⁻¹ ps (510 días); en el sitio Crucitas, de 0.78 (270 días) a 61.30 (390 días); y en el sitio Los Ramones, de 0.77 (270 días) a 46.53 mg g⁻¹ ps (390 días), presentado acumulaciones a partir del tiempo de incubación 270 en el sitio Los Ramones y Crucitas mientras que el sitio Facultad fue a partir del día 390 (Figura 3).

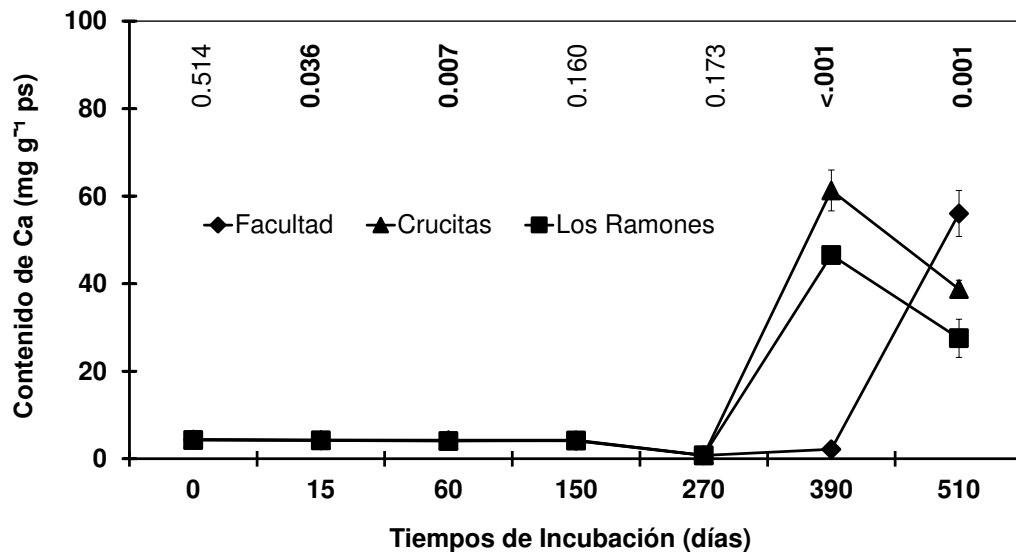


Figura 3. Patrón del contenido de Ca en la hojarasca durante el proceso de descomposición en los tres sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=10) ± error estándar. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas.

7.1.2. Contenido de Magnesio (Mg)

El patrón del contenido de Mg en los tres sitios de estudio presentó diferencias significativas en todos los tiempos de incubación (Figura 4), con su máxima liberación de nutrientes respecto al inicial en el día 510. La concentración de Mg para el sitio Facultad fluctuó de 1.49 (510 días) a 3.68 mg g⁻¹ ps (0 días); en el sitio Crucitas, de 2.13 (510 días) a 4.47 (0 días); y en el sitio Los Ramones, de 2.10 (510 días) a 6.31 mg g⁻¹ ps (15 días).

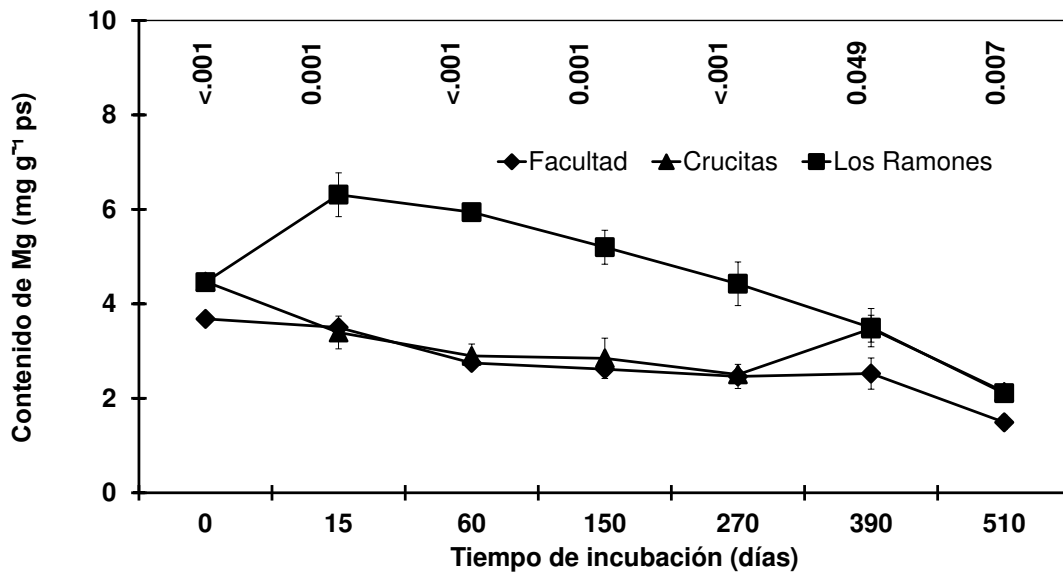


Figura 4. Patrón del contenido de Mg en la hojarasca durante el proceso de descomposición en los tres sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=10) ± error estándar. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas.

7.1.3. Contenido de Potasio (K)

La fluctuación presentada en el nutriente K para los tres sitios de estudio, mantuvo una tendencia similar (Figura 5), el sitio Los Ramones fue el que obtuvo una mayor concentración total de 29.48 mg g⁻¹ps. En el sitio Facultad, se presentó de 1.06 (510 días) a 8.62 mg g⁻¹ps (0 días); en el sitio Crucitas de 0.87 (150 días) a 9.248 (510 días); y en el sitio Los Ramones de 1.39 (390 días) a 11.12 mg g⁻¹ps (0 días). Presentando su mayor liberación en el día 15 en los tres sitios.

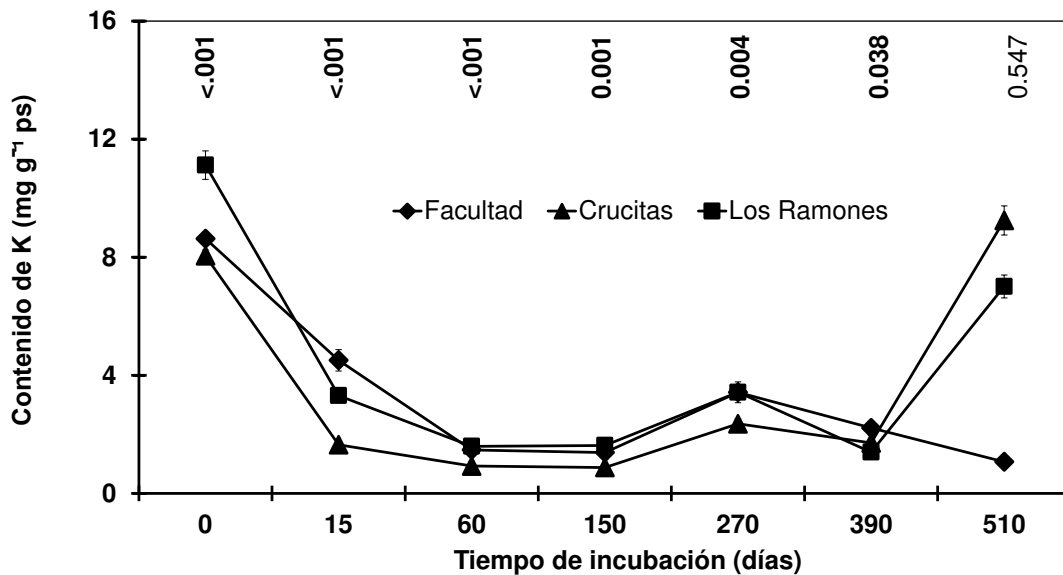


Figura 5. Patrón del contenido de K en la hojarasca durante el proceso de descomposición en los tres sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=10) ± error estándar. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas.

7.2. Contenido de micro-nutrientes

7.2.1. Contenido de Cobre (Cu)

El contenido de Cu en la hojarasca en los tres sitios de estudio presentó diferencias significativas en seis de los siete tiempos evaluados (Figura 6). En el sitio Facultad, los contenidos fluctuaron de 3.1 (15 días) a 12.4 $\mu\text{g g}^{-1}$ ps (510 días); en el sitio Crucitas, de 3.3 (0 días) a 15.1 $\mu\text{g g}^{-1}$ ps (150 días); y en el sitio Los Ramones, de 3.6 (15 días) a 9.1 $\mu\text{g g}^{-1}$ ps (150 días).

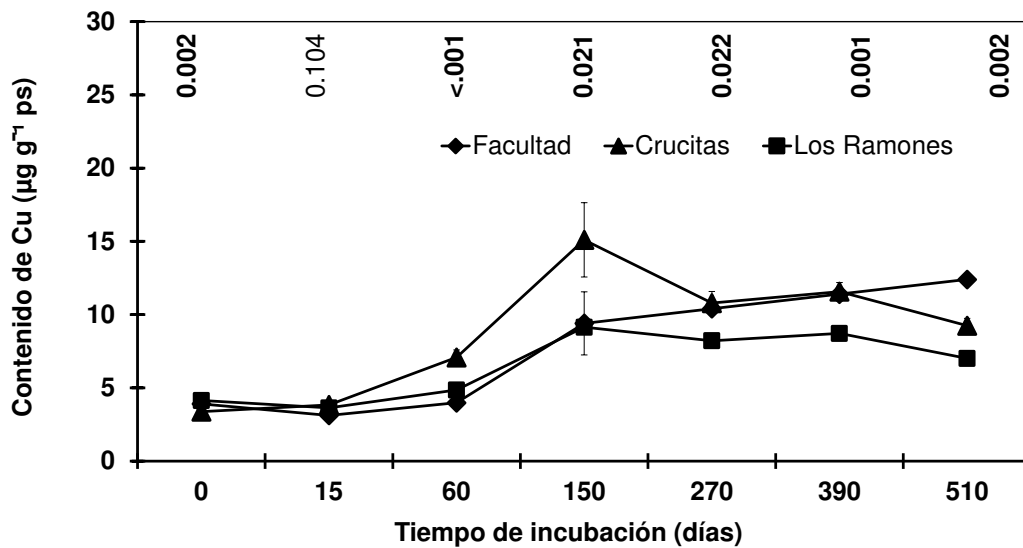


Figura 6. Patrón del contenido de Cu en la hojarasca durante el proceso de descomposición en los tres sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media ($n=10$) \pm error estándar. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas.

7.2.2. Contenido de Hierro (Fe)

La fluctuación del contenido en Fe no mostró tendencia en el tiempo evaluado, más sin embargo, tres tiempos de incubación presentaron diferencias significativas de los siete evaluados y su mayor concentración se mostró en el sitio Facultad con 3257.5 $\mu\text{g g}^{-1}$ ps (Figura 7). El contenido en el sitio Facultad fue de 19.4 (510 días) a 943.7 (60 días) $\mu\text{g g}^{-1}$ ps; en el sitio Crucitas, de 23.6 (390 días) a 958.6 (150 días); y en el sitio Los Ramones, de 21.3 (60 días) a 822.4 $\mu\text{g g}^{-1}$ ps (15 días).

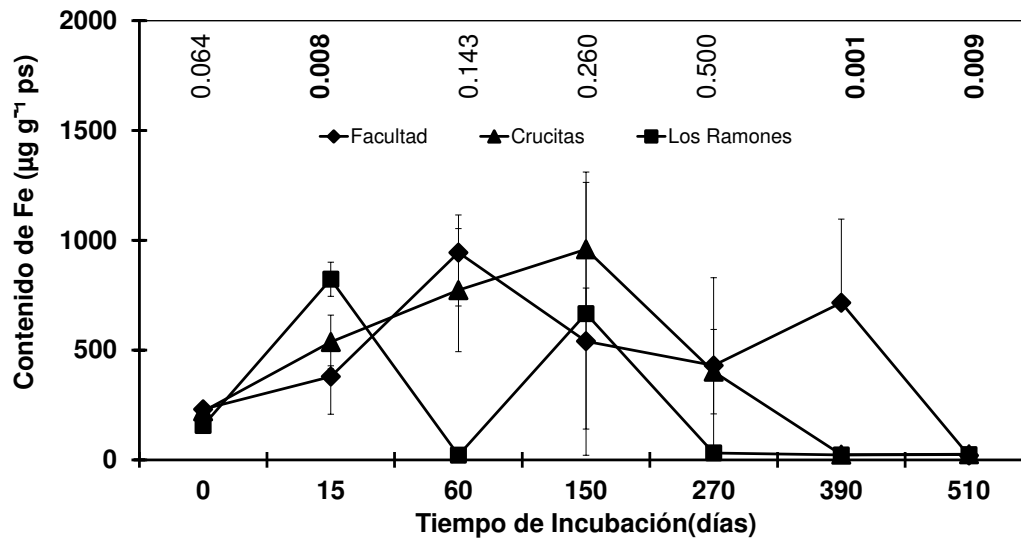


Figura 7. Patrón del contenido de Fe en la hojarasca durante el proceso de descomposición en los tres sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media ($n=10$) \pm error estándar. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas.

7.2.3. Contenido de Manganeso (Mn)

Las concentraciones de Mn en la hojarasca en los tres sitios de estudio mantuvieron una acumulación respecto a su tiempo 0 y presentó diferencias significativas en seis de los siete tiempos evaluados (Figura 8). En el sitio Facultad, fluctuó de 43.0 a 96.8 $\mu\text{g g}^{-1}$ ps (0 y 510 días); en el sitio Crucitas, de 31.4 (0 días) a 126.2 (390 días); y en el sitio Los Ramones de 31.4 (0 días) a 136.9 $\mu\text{g g}^{-1}$ ps (390 días).

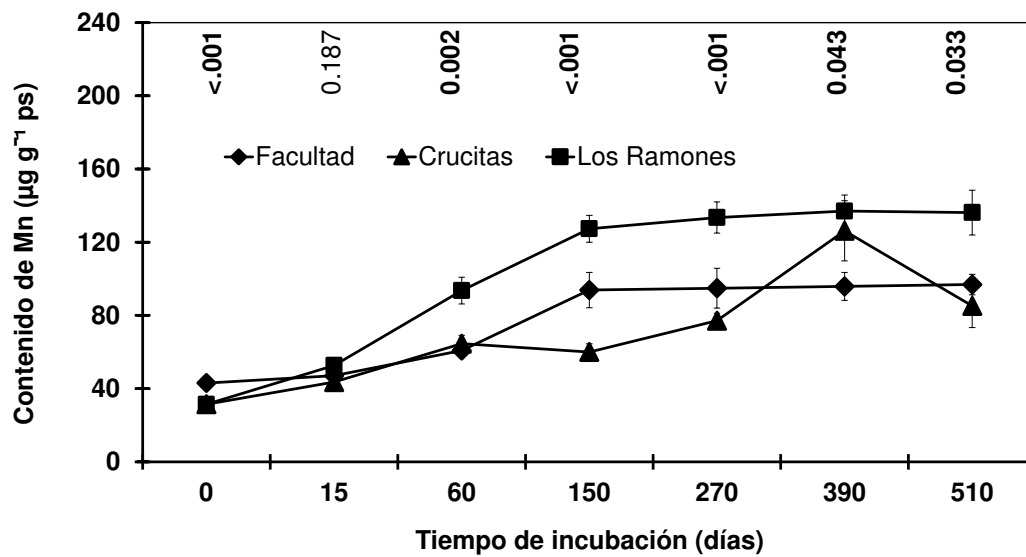


Figura 8. Patrón del contenido de Mn en la hojarasca durante el proceso de descomposición en los tres sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media ($n=10$) \pm error estándar. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas.

7.2.4. Contenido de Zinc (Zn)

La mayor acumulación presentada en el contenido de Zn fue en el día 60 en los sitios Crucitas y Los Ramones, posteriormente se observa una acumulación en el sitio Facultad en el día 150 (Figura 9). El contenido de Zn para el sitio Facultad, fluctuó de 18.7 (0 días) a 113.3 $\mu\text{g g}^{-1}$ ps (150 días); en el sitio Crucitas, de 18.0 (0 días) a 142.7 (60 días); y en el sitio Los Ramones, de 42.4 (0 días) a 141.5 $\mu\text{g g}^{-1}$ ps (60 días).

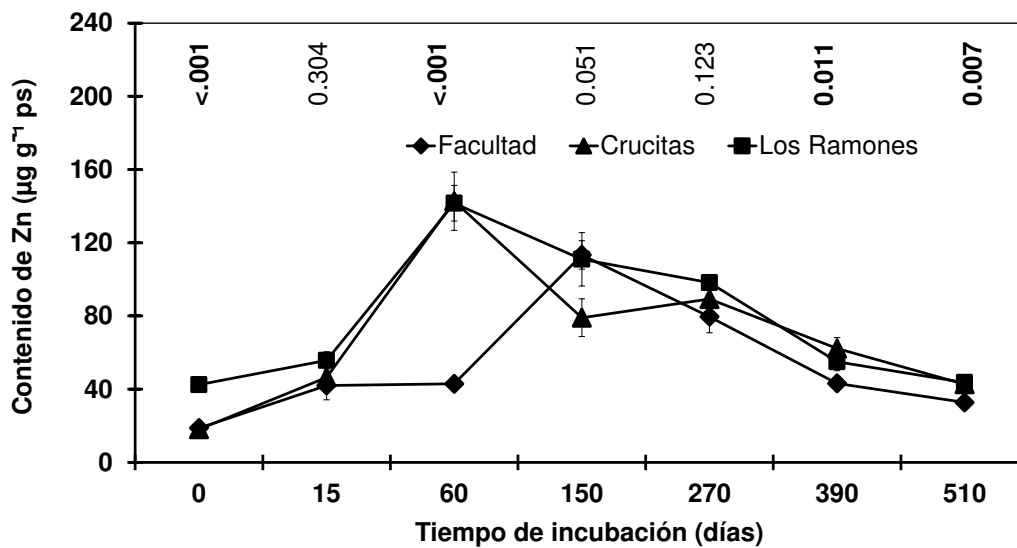


Figura 9. Patrón del contenido de Zn en la hojarasca durante el proceso de descomposición en los tres sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media ($n=10$) \pm error estándar. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas.

7.2.5. Contenido total de macro y micro nutrientes por sitio

Las aportaciones totales de los macro (Ca, Mg y K) y micro-nutrientos (Cu, Fe, Mn y Zn) en cada uno de los sitios fue diferente (Cuadro 3). Con respecto al Ca, las aportaciones fluctuaron de 75.7 (Facultad) a 117.9 mg g⁻¹ps (Crucitas); Mg de 19.0 (Facultad) a 31.9 (Los Ramones) y el K, de 22.6 (Facultad) a 29.4 mg g⁻¹ps (Los Ramones). De manera particular, los aportes totales en cada sitio fueron de 117.5, 152.9 y 164.5 mg g⁻¹ps para la Facultad, Los Ramones y Crucitas, respectivamente, siendo el sitio Facultad el que presentó las menores aportaciones de Ca, K y Mg.

Respecto a los micro-nutrientos, la tendencia de aportaciones fue muy variable; en Cu, la menor aportación fue de 45.6 µg g⁻¹ ps (Los Ramones) y la mayor de 60.9 µg g⁻¹ ps (Crucitas); Fe de 1743.7 (Los Ramones) a 3257.5 µg g⁻¹ ps (Facultad); Mn de 488.1 (Crucitas) a 711.7 µg g⁻¹ ps (Los Ramones) y finalmente el Zn, de 372.4 (Facultad) a 547.4 µg g⁻¹ ps (Los Ramones). Mientras que las aportaciones totales se observaron de la siguiente manera: 3048.5, 3968.8 y 4217.0 µg g⁻¹ ps para Los Ramones, Crucitas y Facultad, respectivamente.

Cuadro 3. Aportación total de macro (Ca, Mg y K; mg g⁻¹ ps) y micro-nutrientos (Cu, Fe, Mn y Zn; µg g⁻¹ ps) durante el proceso de descomposición de la hojarasca por sitio de estudio.

Nutriente	Sitio		
	Facultad	Crucitas	Los Ramones
Macro			
Ca	75.77	117.99	91.48
Mg	19.03	21.73	31.94
K	22.69	24.80	29.48
Total	117.50	164.53	152.91
Micro			
Cu	54.62	60.99	45.69
Fe	3257.55	2939.32	1743.73
Mn	532.40	488.18	711.71
Zn	372.48	480.36	547.44
Total	4217.06	3968.86	3048.59

7.3. Contenido de la composición química

De acuerdo a la prueba de Kruskal-Wallis, el Cuadro 4 muestra los estadísticos para detectar diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre los sitios de estudio para los diferentes componentes químicos analizados durante el proceso de degradación de la hojarasca. En todos los componentes analizados, se detectaron diferencias significativas al inicio del estudio en el tiempo de incubación 0 días. De manera individual, la FDN presentó diferencias en el día 15, 60, 150 y 510. Con respecto a FDA, en el día 15, 150 y 510. En lo que respecta a Lignina, el día 60, 150, 270 y 390. Celulosa en el día 15, 150, 270 y 510 y finalmente, la Hemicelulosa en el día 15, 60 y 510.

Cuadro 4. Resumen del análisis de la prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios para los diferentes constituyentes químicos durante el proceso de degradación de la hojarasca. Valores P en negritas ($P < 0.05$) indican diferencias entre los sitios de estudio en la composición química analizada.

Tiempo de incubación (Días)	Estadístico	Constituyente químico				
		FDN	FDA	Lignina	Celulosa	Hemicelulosa
0	χ^2	21.099	23.631	25.806	13.339	18.715
	Valor P	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001
15	χ^2	13.566	6.893	2.377	14.098	19.672
	Valor P	0.001	0.032	0.305	<0.001	0.008
60	χ^2	8.720	3.827	6.397	2.446	10.539
	Valor P	0.013	0.148	0.041	0.294	0.005
150	χ^2	8.043	8.007	12.293	9.701	3.424
	Valor P	0.018	0.018	0.002	0.008	0.180
270	χ^2	5.785	5.949	6.822	6.909	4.651
	Valor P	0.055	0.051	0.033	0.032	0.098
390	χ^2	1.651	2.831	9.103	3.571	5.206
	Valor P	0.438	0.243	0.011	0.168	0.074
510	χ^2	6.300	6.300	2.927	6.745	6.745
	Valor P	0.043	0.043	0.231	0.034	0.034

7.3.1. Contenido de Fibra Ácida Detergente

El contenido de Fibra Ácida Detergente (FDA) mantuvo sus concentraciones en aumento con respecto al tiempo 0 (Figura 10). El sitio Facultad fluctuó de 31.25 (0 días) a 41.17% (60 días); en el sitio Crucitas de 23.53 (0 días) a 45.40% (150 días); y en el sitio Los Ramones de 34.25 (0 días) a 48.57% (510 días). Las diferencias significativas encontradas en FDA, fueron en cuatro de siete tiempos de incubación.

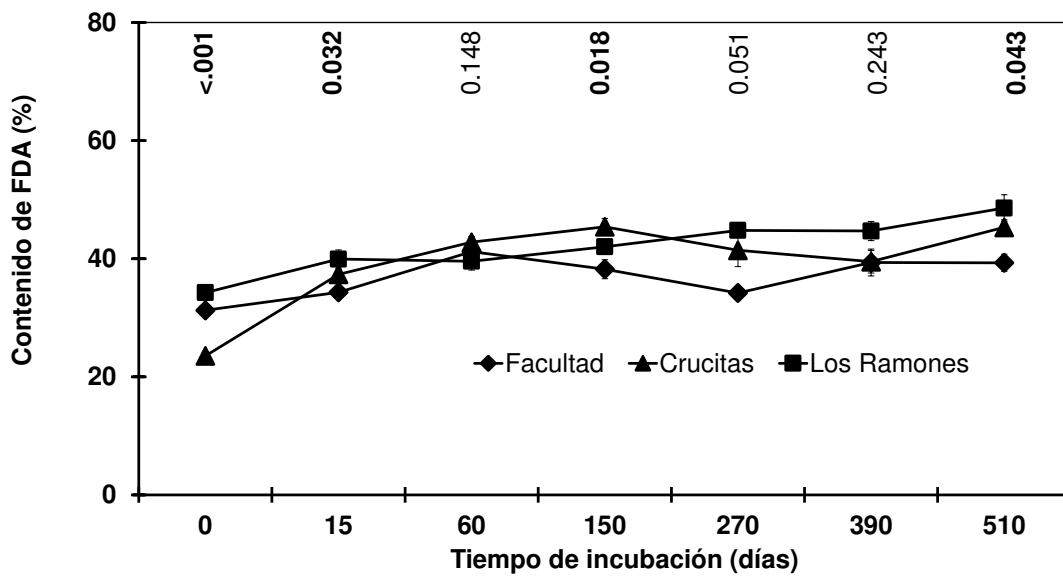


Figura 10. Contenido de FDA en la hojarasca durante el proceso de descomposición a diferentes tiempos de incubación en los tres sitios. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas.

7.3.2. Contenido de Fibra Neutro Detergente

El contenido de Fibra Neutro Detergente (FDN) se ilustra en la Figura 11. Para el sitio Facultad fluctuó de 45.78 (270 días) a 73.03% (15 días); en el sitio Crucitas de 38.64 (0 días) a 76.48% (510 días); y en el sitio Los Ramones de 54.06 (60 días) a 71.58% (510 días). Se observaron diferencias significativas en cinco de los siete tiempos evaluados. Los mayores contenidos de FDN se detectaron en el día 510 para el sitio Crucitas y Los Ramones; en el día 15 para el sitio Facultad.

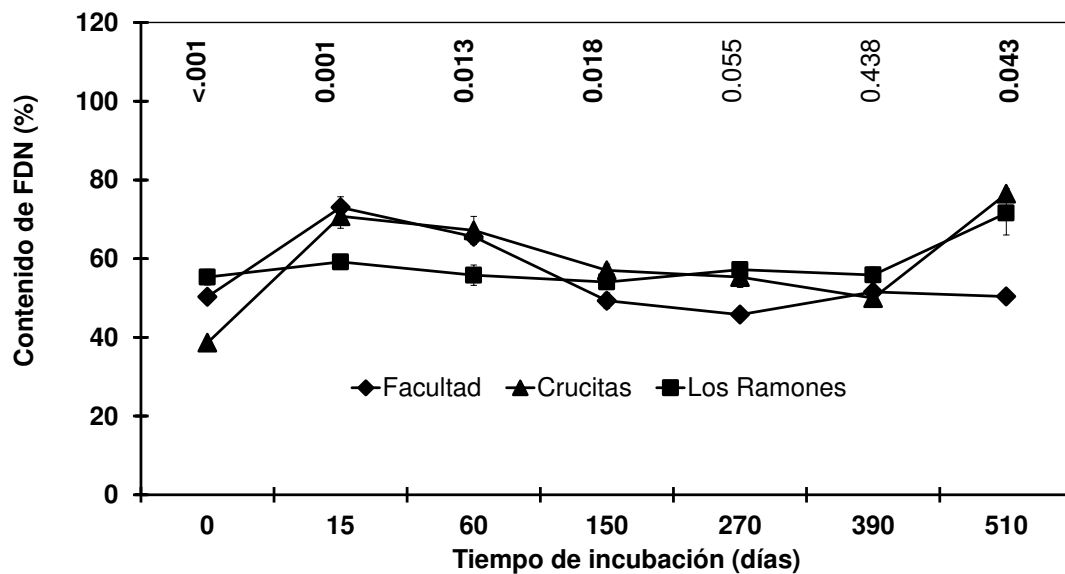


Figura 11. Contenido de FDN en la hojarasca durante el proceso de descomposición a diferentes tiempos de incubación en los tres sitios. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas.

7.3.3. Contenido de Lignina

La cantidad de Lignina en los tres sitios de estudio muestra una tendencia acumulativa respecto a su tiempo 0, presentándose con mayor contenido en el sitio Los Ramones (Figura 12). En el sitio Facultad fluctuó de 14.45 (0 días) a 29.80% (390 días); en el sitio Crucitas de 9.55 (0 días) a 31.05 (270 días) y en el sitio Los Ramones de 18.20 (0 días) a 35.71% (270 días). Las diferencias significativas observadas fueron en cinco de siete tiempos evaluados.

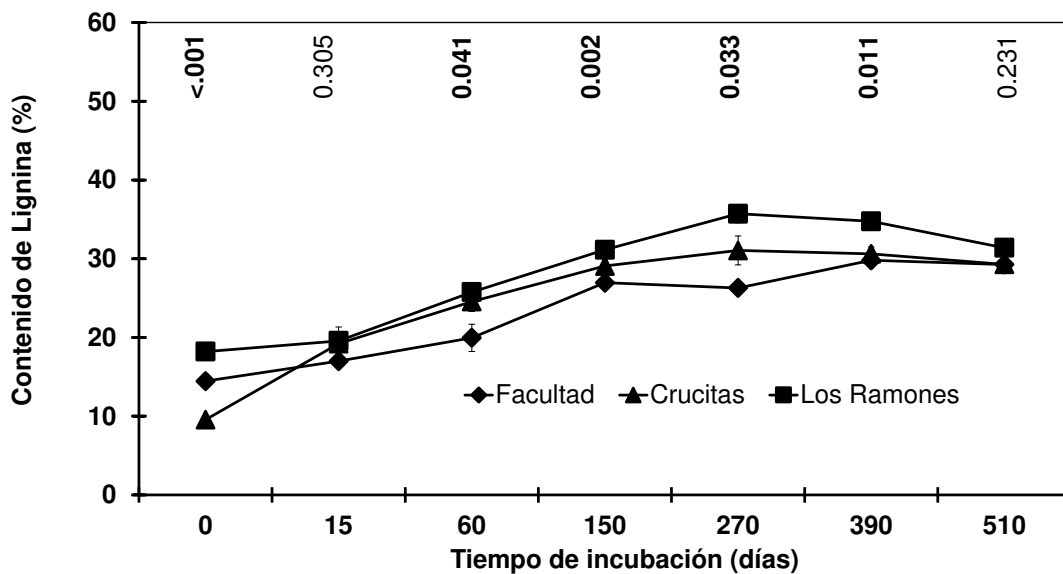


Figura 12. Contenido de Lignina en la hojarasca durante el proceso de descomposición a diferentes tiempos de incubación en los tres sitios. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas.

7.3.4. Contenido de Celulosa

El contenido de Celulosa en los tres sitios de estudio muestra diferencias significativas entre los sitios en cinco de los siete tiempos evaluados (Figura 13). En el sitio Facultad presentó contenidos del 13.47 (270 días) a 23.39% (60 días); en el sitio Crucitas de 13.68 (0 días) a 23.47% (60 días) y en el sitio Los Ramones de 16.38 (0 días) a 25.48% (15 días).

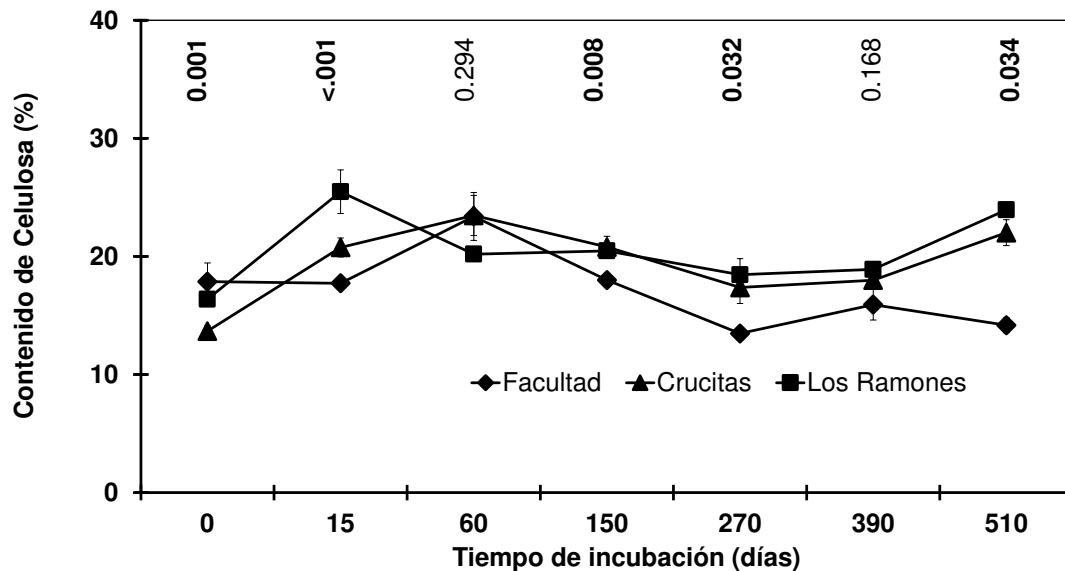


Figura 13. Contenido de Celulosa en la hojarasca durante el proceso de descomposición a diferentes tiempos de incubación en los tres sitios. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas.

7.3.5. Contenido de Hemicelulosa

El contenido de Hemicelulosa no manifestó un patrón entre los sitios, observándose diferencias significativas en cuatro de siete tiempos de incubación (Figura 14). El sitio Facultad fluctuó de 11.07 (510 días) a 38.73% (15 días); en el sitio Crucitas de 10.49 (390 días) a 33.42% (15 días) y en el sitio Los Ramones de 11.17 (390 días) a 23.00% (510 días).

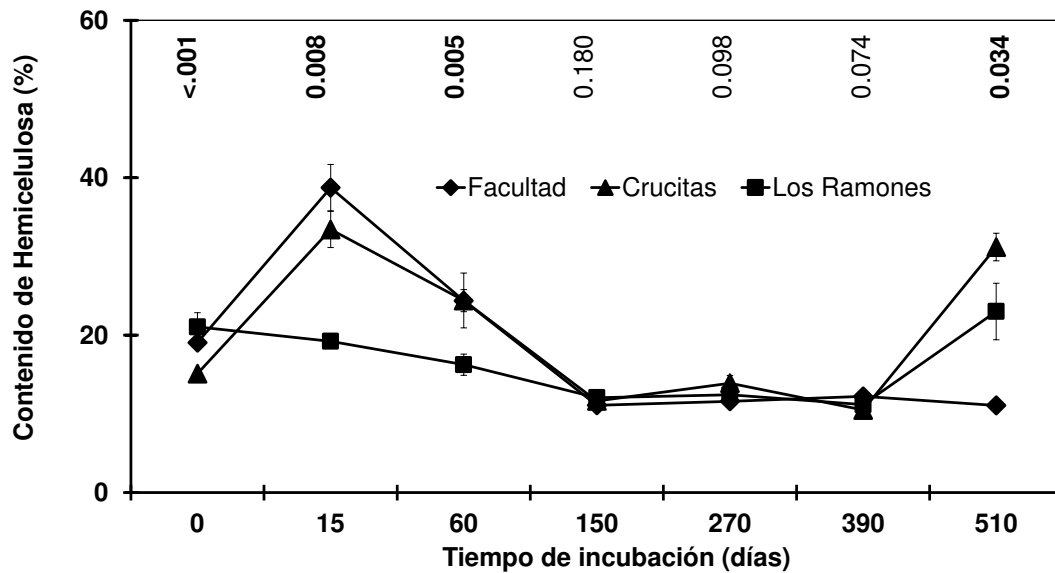


Figura 14. Contenido de Hemicelulosa en la hojarasca durante el proceso de descomposición a diferentes tiempos de incubación en los tres sitios. El valor P del análisis de la prueba Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios de estudio para cada tiempo de incubación, se denota en negritas.

8. DISCUSIÓN

La hipótesis sobre las diferencias en el contenido nutrimental y composición química durante el proceso de degradación de la hojarasca entre los sitios de estudio fue confirmada, debido que la aportación de nutrientes y las concentraciones químicas fueron muy variadas entre los sitios, además de presentar asociación con las variables ambientales.

Determinación de macro y micro nutrimentos. De manera general, la liberación en los nutrimentos ha sido más rápida en K, presentándose en el tiempo de incubación 15 con una liberación en el sitio Facultad de $4.11 \text{ mg g}^{-1}\text{ps}$ (50.25%); Crucitas de $6.40 \text{ mg g}^{-1}\text{ps}$ (20.45%) y Los Ramones con $7.81 \text{ mg g}^{-1}\text{ps}$ (29.78%). Esta tendencia se ha reportado ampliamente, dado a su carácter móvil, presentándose principalmente porque no se encuentra ocluido a estructuras orgánicas en los tejidos foliares sino de manera libre por lo que resulta ser fácilmente lixiviable y/o removible (Parker, 1983). En un estudio similar, Castellanos-Barliza & León (2011) observaron el mismo comportamiento de este elemento en los 169 días de su investigación. Por otra parte, la acumulación se ha reflejado en los micros nutrimentos, específicamente con mayor concentración en Fe, con una acumulación respecto a su valor inicial en el sitio Facultad de $713.3 \text{ } \mu\text{g g}^{-1} \text{ ps}$; Crucitas de $737.8 \text{ } \mu\text{g g}^{-1} \text{ ps}$ y Los Ramones de $666.2 \text{ } \mu\text{g g}^{-1} \text{ ps}$. Lo que puede inferir a lo documentado por Gosz *et al.* (1973) y Rustad & Cronan, (1988), donde mencionan que el aumento está propiciado por la alta humedad del suelo principalmente en invierno y primavera, generando que este elemento favorezca el humus por la ferrosidad soluble del nutrimento o en su caso, a otras condiciones como la reabsorción por medio de la filtración de lluvia. González-Rodríguez *et al.* (2013), en un estudio realizado en el matorral desértico micrófilo perteneciente al noreste de México, encontraron que las hojas analizadas presentaban altas concentraciones de hierro lo que es determinante en la acumulación encontrada en los sitios analizados en este estudio.

La concentración de macro nutrientes, mostraron una secuencia descendiente $Ca > K > Mg$, de igual manera, en los tres sitios el orden de aportaciones de micro nutrimentos fue $Fe > Mn > Zn > Cu$; misma tendencia que observaron Domínguez (2009) y López-Hernández *et al.* (2013) en estudios llevado a cabo en comunidades vegetales en el estado de Nuevo León. De mismo modo, Castellanos-Barliza & León (2011), observaron esta misma tendencia en Colombia, en plantaciones de *Acacia mangium*.

Las aportaciones totales fue de Facultad > Crucitas > Los Ramones. Las diferencias encontradas en la presente investigación pueden ser por diversos factores que determinan la reabsorción de nutrientes en las plantas establecidas en cada uno de los sitios como su estado nutricional y condiciones edáficas (Pavón *et al.*, 2005; Rentería *et al.*, 2005). Algunos autores hacen énfasis que la movilidad de cada elemento o nutriente es propia, y su disponibilidad depende de lo requerido así como su comportamiento de liberación y acumulación está en función de cada ecosistema (Barrera *et al.*, 2004).

Determinación de la composición química. Los valores determinados en los componentes químicos de la hojarasca tendieron a obtener una mayor presencia debido a que estos compuestos tienen estructuras más complejas que dificultan su degradación. Las concentraciones por sitio al finalizar el estudio se presentaron de manera descendiente: Los Ramones > Crucitas > Facultad; tendencia que coincide con lo observado por Domínguez *et al.* (2014) en un estudio llevado a cabo en el Matorral Espinoso Tamaulipeco, donde indica que las especies poseen altos contenidos en su composición química.

El presente estudio, constó de 510 días evaluados donde las concentraciones químicas determinadas fueron primordiales para entender el proceso de degradación y dinámica de nutrientes, que en su caso presentaron valores mayores al iniciar el estudio haciendo con ello la degradación lenta.

Algunos componentes, como el FDA y el FDN, sus puntos máximos de concentración fueron en los tiempos de incubación 510, en los sitios Crucitas y Los Ramones, mientras que en el sitio Facultad a los 60 días; resultados similares obtenidos en otros estudios (Domínguez, 2013; Alvarado, 2013

Mientras que el contenido de Lignina ha presentado un alto valor en relación al estado inicial en los sitios Facultad en el día 390 mientras que Crucitas y Los Ramones en el día 270, lo que afecta en la pérdida de materia orgánica (Sánchez *et al.*, 2007; Flórez-Flórez *et al.*, 2013). Sin embargo, a partir del día de incubación 270 disminuyó, resultando benéfico por ser parte de una estabilización y con ello la intervención de organismos descomponedores (bacterias y hongos). En la descomposición en la primera etapa se descomponen azúcares y aminoácidos (Martius *et al.*, 2004); posteriormente, el proceso se vuelve más lento con la participación de hongos que degradan la celulosa, lignina y proteínas. Coincidiendo con lo anterior, este patrón fue observado en los contenidos de dichos componentes observando que la Celulosa y Hemicelulosa tendieron a disminuir a partir del día 60 y la Lignina a partir del día 270.

Esta acción es relevante considerando que la degradación posee tres etapas según lo estipulado por Martín (1995): 1) Degradación de los compuestos pluviolavados observada en los primeros 20 o 30 días posterior a su establecimiento de manera más rápida; 2) Disminución más retardada de compuestos hidrosolubles fenólicos y hemicelulosa llevado a cabo por la micro fauna; 3) Tiende a presentar aumentos en las proteínas y la lignina obteniendo un sustrato línico más bioresistente.

Las variables ambientales presentaron una relación mayor en la composición química, más sin embargo, en ambos análisis mostraron una mutua y consistente correlación.

9. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la investigación mostraron diferenciación en los diversos componentes analizados de la hojarasca mediante su degradación y una relación con las variables ambientales analizadas. El sitio que presentó una aportación mayor de sus macro nutrientes fue Crucitas con $164.53 \text{ mg g}^{-1} \text{ ps}$; en relación a los micro nutrientes fue Facultad con $4217.06 \text{ } \mu\text{g g}^{-1} \text{ ps}$, así como también, una lignificación menor en toda la etapa de evaluación con una concentración inicial y final de 14.45% y 29.80% respectivamente. Sin embargo los tres sitios son capaces de mantener la nutrición en el suelo principalmente por que generan una actividad de liberación adecuada contribuyendo al desarrollo de nuevas masas forestales. Las zonas áridas presentan un ambiente propio con la capacidad de utilizar los nutrientes que ahí se reciclan.

Sin embargo, las diferencias obtenidas en el aporte de los minerales y composición química pueden atribuirse a las distintas condiciones del suelo, fenología de las especies, composición florística y las fluctuaciones climáticas. Además el proceso de degradación es de suma importancia para el sustento de los ecosistemas debido a que mantiene la actividad microbiana e interviene en diferentes ciclos como el del agua.

Conocer el comportamiento de la degradación en los sitios de matorral presenta un primer avance sobre la aportación de la vegetación nativa particularmente bajo un esquema de cambio climático. Principalmente por mostrar diversos cambios bruscos en el clima que influyen en la dinámica de la aportación de nutrientes y composición química. Por tal razón, se sugiere continuar con estudios sobre el proceso de degradación de la hojarasca para contribuir en la evaluación y conservación de los ecosistemas.

10. BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, M.S. (2013). Perfil nutricional de arbustivas del matorral espinoso tamaulipeco consumidas por el venado cola blanca. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, Nuevo León, México. 104 pp.

AOAC. (1990). Official Methods of Analysis. (15th Ed). Association of Official Analytical Chemist International. U.S.A.

Averti, I., & Dominique, N. (2011). Litterfall, accumulation and decomposition in forest groves established on Savannah in the Plateau Teke, Central Africa. *Journal of Environmental Science Technology*, 4(6), 601-610. doi:10.3923/jest.2011.601.610

Barrera, D.M., Frangi, L.J., Ferrando, J.J., & Goya, F.J. (2004). Descomposición del mantillo y liberación foliar neta de nutrientes de *Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic. Serm. et Bizzarri en El Bolsón, Río Negro. *Ecología Austral*, 14(2), 99-112. Obtenido de file:///C:/Users/Ana%20Maria/Downloads/DescomposicinCipresBarrera%20(1).pdf

Bocock, K.L., & Gilbert, O.J.W. (1957). The disappearance of leaf litter under different woodland conditions. *Plant and Soil*, 9(2), 179-185. Obtenido de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2FBF01398924.pdf>

Bravo, G.M.R. (1999). Distribución de la materia orgánica del suelo en ecosistemas naturales e inducidos en el Estado de Nuevo León. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, Nuevo León, México.

Brown, M.B., & Forsythe, A.B. (1974). Robust tests for the equality of variances. *Journal of the American Statistical Association*, 69(346), 364-367. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1974.10482955>

- Canbolat, O. (2012). Comparison of *in vitro* gas production, organic matter digestibility, relative feed value and metabolizable energy contents of some cereal forages. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 18(4), 571-577. Obtenido de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20123245282>
- Carnevale, J.N., & Lewis, J.P. (2001). Litterfall and organic matter decomposition in a seasonal forest of the eastern Chaco (Argentina). *Revista Biología Tropical*, 49(1), 203-212. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/16871>
- Castellanos-Barliza, J., & León, P.J.D. (2011). Descomposición de hojarasca y liberación de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium* (Mimosaceae) establecidas en suelos degradados de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 59(1), 113-128. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44918841009>
- Del Valle-Arango, J.I. (2003). Cantidad, calidad y nutrientes reciclados por la hojarasca fina de bosques pantanosos del Pacífico Sur Colombiano. *Interciencia*, 28(8), 443-449. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33908303>
- Di Stefano, J.F., & Fournier, L.A. (2005). Caída de hojarasca y tasas de descomposición de las hojas de *Vochysia guatemalensis* en una plantación de 10 años, Tabarcia de Mora, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 29(1), 9-16. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6312824>
- Dick, R.P. (1992). Long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 40(1-4), 25-36. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(92\)90081-L](https://doi.org/10.1016/0167-8809(92)90081-L)
- Domínguez, G.T.G. (2009). Deposición de hojarasca y retorno potencial de nutrimentos en diferentes comunidades de vegetación. Tesis de Maestría,

Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, Nuevo León, México. 133 p.

Domínguez, G.T.G. (2013). Composición nutrimental de cuatro especies forrajeras xerófitas del noreste de Nuevo León, México. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, Nuevo León, México. 124 p.

Domínguez, G.T.G., Ramírez, L.R.G., González, R.H., Cantú, S.I., Gómez, M.M.V., & Alvarado, M.D.S. (2014). Mineral content in four browse species from Northeastern Mexico. *Pakistan Journal of Botany*, 46(4), 1421-1429. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/6075/>

Douce, G.K., & Da Crossley. (1982). The effect of soil fauna on litter mass loss and nutrient dynamics in arctic tundra at Barrow, Alaska. *Ecology*, 63(2), 523-537. Obtenido de <https://doi.org/10.2307/1938968>

Flórez-Flórez, C.P., León-Peláez, J.D., Osorio-Vega, N.W., & Restrepo-Llano, M.F. (2013). Dinámica de nutrientes en plantaciones forestales de *Azadirachta indica* (Meliaceae) establecidas para restauración de tierras degradadas en Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 61(2), 515-529. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44927436004>

Gaspar-Santos, E.S., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., & Álvarez-Solís, J.D. (2015). Acumulación y descomposición de hojarasca en bosques secundarios del sur de la Sierra Madre de Chiapas, México. *Bosque*, 36(3), 467-480. doi:10.4067/S0717-92002015000300013

González, R.H., & Cantú, S.I. (2001). Adaptación a la sequía de plantas arbustivas de Matorral Espinoso Tamaulipeco. *Ciencia UANL*, 4(4), 454-461. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/891/>

González, R.H., Domínguez, G.T.G., Cantú, S.I., Gómez, M.M.V., Ramírez, L.R.G., Pando, M.M., & Fernández, C.J. (2011). Litterfall deposition and leaf

litter nutrient return in different locations at Northeastern Mexico. *Plant Ecology*, 212(10), 1747-1757. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11258-011-9952-9>

González-Rodríguez, H., Ramírez-Lozano, R.G., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M.V., Cotera-Correa, M., Carrillo-Parra, A., & Marroquín-Castillo, J.J. (2013). Producción de hojarasca y retorno de nutrientes vía foliar en un matorral desértico micrófilo en el noreste de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(2), 249-262. doi: 10.5154/r.rchscfa.2012.08.048

Gosz, J.R., Gene, E.L., & Bormann, F.H. (1973). Nutrient release from decomposing leaf and branch litter in the Hubbard Brook experimental forest, New Hampshire. *Ecological Monographs*, 43(2), 173-191. Obtenido de <https://doi.org/10.2307/1942193>

Hans, J., Gessel, S.P., & Bingham F.T. (1949). Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil Science*, 68(6), 419-432. Obtenido de https://journals.lww.com/soilsci/Citation/1949/12000/COMPARATIVE_STUDY_OF_DECOMPOSITION_RATES_OF.1.aspx

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Linares, Nuevo León. Consultado 20-02-2019 en http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/19/19033.pdf .

López-Hernández, J.M., González-Rodríguez, H., Ramírez-Lozano, R.G., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M.V., Pando-Moreno, M., & Estrada-Castillón, A.E. (2013). Producción de hojarasca y retorno potencial de nutrientes en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *Polibotánica*, 35, 41-64. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n35/n35a3.pdf>

- 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
- Martius, C., Höfer, H., García, M.V.B., Römbke, J., & Hanagarth, W. (2004). Litter fall, litter stocks and decomposition rates in rainforest and agroforestry sites in central Amazonia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 68(2), 137-154. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1023/B:FRES.0000017468.76807.50>
- Martínez, J. (2013). Producción y descomposición de hojarasca en sistemas silvopastoriles de estratos múltiples y su efecto sobre propiedades bioorgánicas del suelo en el valle medio del Río Sinú. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. 161 p.
- Ott, L. (1993). An introduction to statistical methods and data analysis (2nd edn). Boston, Massachusetts: Duxbury Press.
- Oyarzún, C., Nahuelhual, L., & Núñez, D. (2005). Los servicios ecosistémicos del bosque templado lluvioso: producción de agua y su valoración económica. *Ambiente y Desarrollo*, 20(3), 88-95. Obtenido de http://www.uvm.edu/~jfarley/UFSC/literatura/literatura%20em%20portugues/sa_bosque_producao_agua_valoracao_econ_chile.pdf
- Parker, G.G. (1983). Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. *Advances in Ecological Research*, 13(1), 57-133. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60108-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60108-7)
- Pavón, H.N., O, Briones., & Flores. R.J. (2005). Litterfall production and nitrogen content in an intertropical semi-arid Mexican scrub. *Journal of Arid Environments*, 60(1), 1-13. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.03.004>

- Porta-Casanellas, J., López-Acevedo, R.M., & Roquero de Laburu, C. (2003). Edafología: para la agricultura y el medio ambiente. España: Editorial Mundi-Prensa.
- Rentería, L.Y., Jaramillo, J.V., Martínez-Yrizar, A., & Pérez-Jiménez, A. (2005). Nitrogen and phosphorus resorption in trees of a Mexican tropical dry forest. *Trees*, 19(4), 431-441. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-004-0402-3>
- Rustad, L.E., & Cronan. S.C. (1988). Element loss and retention during litter decay in a red spruce stand in Maine. *Canadian Journal of Forest Research*, 18(7), 947-953. Obtenido de <https://doi.org/10.1139/x88-144>
- Sabin, G.G.H., Liski, J., Tuomi, M., Mansourou, M., Sinsin, B., & Mäkipää, R. (2014). Decomposition and changes in chemical composition of leaf litter of five dominant tree species in a West African tropical forest. *Tropical Ecology*, 55(2), 207-220.
- Sánchez, C.S., Crespo, L.G., Hernández, C.M., & García, O.Y. (2008). 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., Crespo, G., & Hernández, M. (2007). Estudio de la descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* Jacq cv. Likoni. *Pastos y Forrajes*, 30(4), 469-482. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v30n3/pyf06307.pdf>
- Sanon, H.O., Kabore, Z.C., & Ledin, I. (2008). Nutritive value and voluntary feed intake by goats of three browse fodder species in the Sahelian zone of West Africa. *Animal Feed Science and Technology*, 144(1-2), 97-110. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.10.004>

- Santa-Regina, I. & Gallardo, J.F. (1989). Ciclos biogeoquímicos en bosques de la Sierra de Béjar. *Options Méditerranéennes-Série Séminaires*, 3(1), 147-149. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10261/58499>
- Santa-Regina, J., Salazar, S., Leonardi, S., & Rapp, M. (2005). Nutrient pools to the soil through organic matter in several *Castanea sativa* Mill. coppices of Mountainous mediterranean climate areas. *Acta Horticulturae*, 693(1), 341-348. doi:<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.693.43>
- Steel, R.G.D. & Torrie, J.H. (1980). Principles and procedures of statistics. A biometrical approach (2nd edn). New York, NY: McGraw-Hill Book Company.
- Tian, G. (1992). Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions on plant soil under humid tropical conditions. Ph.D. Thesis. Wageningen Agricultural University Netherlands.
- Toutain, F. (1981). Les humus forestiers. Structure et modes de fonctionnement. *Revue Forestière Française*, 33(6), 449-477. Obtenido de http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/21533/RFF_1981_6_449.pdf?s
- Van Soest, P.J., Robertson J.B., & Lewis B.A. (1991). Methods for dietary, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/M_Mahesh/post/Whats_the_easiest_way_to_test_a_samples_lignin_content/attachment/59d63d57c49f478072ea86d5/AS:273759313825801@1442280714636/download/van1991.pdf

11. ANEXOS

Cuadro A 1. Resultados de las pruebas de normalidad de los nutrientes por fecha de muestreo entre los sitios. Valores P en negritas ($P < .05$) indican que no hay distribución normal.

Tiempo de incubación (Días)	Nutrimento	Pruebas de normalidad ^a					
		Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	g. l.	Valor P	Estadístico	g. l.	Valor P
0	Ca	0.110	29	0.200*	0.980	29	0.838
	Mg	0.093	29	0.200*	0.960	29	0.321
	K	0.250	29	0.001	0.863	29	0.001
	Cu	0.199	29	0.005	0.807	29	0.001
	Fe	0.121	29	0.200*	0.920	29	0.030
	Mn	0.274	29	0.001	0.830	29	0.001
	Zn	0.338	29	0.001	0.689	29	0.001
15	Ca	0.167	22	0.115	0.944	22	0.237
	Mg	0.226	22	0.005	0.885	22	0.015
	K	0.138	22	0.200*	0.945	22	0.256
	Cu	0.252	22	0.001	0.785	22	0.000
	Fe	0.247	22	0.001	0.871	22	0.008
	Mn	0.178	22	0.069	0.929	22	0.116
	Zn	0.125	22	0.200*	0.962	22	0.527
60	Ca	0.200	16	0.085	0.919	16	0.161
	Mg	0.244	16	0.012	0.866	16	0.024
	K	0.103	16	0.200*	0.967	16	0.793
	Cu	0.301	16	0.001	0.817	16	0.005
	Fe	0.270	16	0.003	0.830	16	0.007
	Mn	0.231	16	0.022	0.847	16	0.012
	Zn	0.224	16	0.031	0.884	16	0.044
150	Ca	0.185	19	0.086	0.899	19	0.046
	Mg	0.188	19	0.077	0.933	19	0.194
	K	0.170	19	0.149	0.905	19	0.061
	Cu	0.346	19	0.001	0.637	19	0.001
	Fe	0.278	19	0.001	0.628	19	0.001
	Mn	0.144	19	0.200*	0.923	19	0.128
	Zn	0.146	19	0.200*	0.938	19	0.238

(^a)Tiempo de incubación; (^b) Con la corrección de Lilliefors; * Con limite inferior de la significación.

Cuadro A 1. Continuación

Tiempo de incubación (Días)	Nutrimento	Pruebas de normalidad ^a					
		Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	g. l.	Valor P	Estadístico	g. l.	Valor P
270	Ca	0.150	24	0.171	0.942	24	0.183
	Mg	0.205	24	0.010	0.696	24	0.001
	K	0.120	24	0.200*	0.966	24	0.574
	Cu	0.210	24	0.008	0.822	24	0.001
	Fe	0.477	24	0.001	0.442	24	0.001
	Mn	0.104	24	0.200*	0.972	24	0.715
	Zn	0.085	24	0.200*	0.989	24	0.995
390	Ca	0.212	22	0.011	0.854	22	0.004
	Mg	0.152	22	0.200*	0.954	22	0.376
	K	0.252	22	0.001	0.802	22	0.001
	Cu	0.161	22	0.141	0.903	22	0.034
	Fe	0.492	22	0.001	0.404	22	0.001
	Mn	0.159	22	0.154	0.888	22	0.017
	Zn	0.168	22	0.108	0.927	22	0.104
510	Ca	0.166	19	0.177	0.923	19	0.131
	Mg	0.093	19	0.200*	0.980	19	0.944
	K	0.096	19	0.200*	0.974	19	0.848
	Cu	0.173	19	0.136	0.933	19	0.200
	Fe	0.134	19	0.200*	0.937	19	0.231
	Mn	0.180	19	0.107	0.924	19	0.132
	Zn	0.196	19	0.052	0.855	19	0.008

^(a)Tiempo de incubación; ^(b) Con la corrección de Lilliefors; * Con límite inferior de la significación.

Cuadro A 2. Resultados de las pruebas de normalidad de la composición química por fecha de muestreo entre los sitios. Valores P en negritas ($P < .05$) indican que no presentan distribución normal.

Tiempo de incubación (Días)	Compuesto	Pruebas de normalidad ^a					
		Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	g. l.	Valor P	Estadístico	g. l.	Valor P
0	FDN	0.130	30	0.200*	0.943	30	0.107
	FDA	0.184	30	0.011	0.883	30	0.003
	Lignina	0.151	30	0.079	0.941	30	0.095
	Hemicelulosa	0.181	30	0.013	0.802	30	0.001
	Celulosa	0.249	30	0.001	0.633	30	0.001
15	FDN	0.145	30	0.106	0.947	30	0.137
	FDA	0.129	30	0.200*	0.940	30	0.093
	Lignina	0.162	30	0.042	0.969	30	0.512
	Hemicelulosa	0.159	30	0.052	0.912	30	0.016
	Celulosa	0.182	30	0.012	0.881	30	0.003
60	FDN	0.097	30	0.200*	0.968	30	0.476
	FDA	0.138	30	0.152	0.968	30	0.489
	Lignina	0.218	30	0.001	0.889	30	0.005
	Hemicelulosa	0.187	30	0.009	0.860	30	0.001
	Celulosa	0.165	30	0.037	0.922	30	0.029
150	FDN	0.101	26	0.200*	0.956	26	0.311
	FDA	0.140	26	0.200*	0.960	26	0.394
	Lignina	0.104	26	0.200*	0.971	26	0.653
	Hemicelulosa	0.098	26	0.200*	0.950	26	0.232
	Celulosa	0.088	26	0.200*	0.967	26	0.540

^(a)Tiempo de incubación; ^(b) Con la corrección de Lilliefors; * Con límite inferior de la significación.

Cuadro A 2. Continuación

Tiempo de incubación (Días)	Compuesto	Pruebas de normalidad ^a					
		Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	g. l.	Valor P	Estadístico	g. l.	Valor P
270	FDN	0.210	10	0.200*	0.899	10	0.212
	FDA	0.176	10	0.200*	0.908	10	0.267
	Lignina	0.188	10	0.200*	0.910	10	0.284
	Hemicelulosa	0.204	10	0.200*	0.913	10	0.303
	Celulosa	0.198	10	0.200*	0.876	10	0.116
390	FDN	0.142	14	0.200*	0.938	14	0.389
	FDA	0.157	14	0.200*	0.940	14	0.413
	Lignina	0.114	14	0.200*	0.950	14	0.559
	Hemicelulosa	0.238	14	0.030	0.854	14	0.025
	Celulosa	0.191	14	0.176	0.906	14	0.137
510	FDN	0.139	10	0.200*	0.948	10	0.642
	FDA	0.112	10	0.200*	0.967	10	0.865
	Lignina	0.160	10	0.200*	0.896	10	0.196
	Hemicelulosa	0.169	10	0.200*	0.890	10	0.171
	Celulosa	0.297	10	0.013	0.815	10	0.022

^(a)Tiempo de incubación; ^(b) Con la corrección de Lilliefors; * Con limite inferior de la significación.

Cuadro A 3. Coeficientes de correlación de Spearman ($P < 0.01$) entre en los nutrientes y las variables climáticas en los sitios de estudio (Valores ***P*** en negritas indican diferencias significativas). Los valores que se encuentran por encima de la diagonal representan el coeficiente de correlación y por debajo de la diagonal el valor de *P*

		Correlaciones								
	Ca	Mg	K	Cu	Fe	Mn	Zn	Temp	HR	PP
Ca		-0.115	-0.271	-0.070	-0.303	-0.138	-0.418	0.265	0.113	0.132
Mg	0.11		0.527	-0.316	0.089	-0.104	0.148	0.247	-0.233	-0.51
K	<0.001	<0.001		-0.449	0.238	-0.263	-0.255	-0.184	-0.226	-0.69
Cu	0.333	<0.001	<0.001		-0.383	0.626	0.499	-0.245	0.18	0.665
Fe	<0.001	0.259	0.002	<0.001		-0.536	-0.136	-0.145	-0.002	-0.381
Mn	0.056	0.145	<0.001	<0.001	<0.001		0.496	-0.092	0.041	0.516
Zn	<0.001	0.038	<0.001	<0.001	0.088	<0.001		0.026	-0.054	0.283
Temp	<0.001	<0.001	0.009	<0.001	0.064	0.197	0.717		-0.306	0.107
HR	0.116	<0.001	<0.001	0.011	0.984	0.563	0.45	<0.001		0.256
PP	0.065	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.123	<0.001	

(Temp) Temperatura; (HR) Humedad Relativa; (PP) Precipitación Pluvial.

Cuadro A 4. Coeficientes de correlación de Spearman ($P < 0.01$) entre la composición química y las variables climáticas en los sitios de estudio (Valores **P** en negritas indican diferencias significativas). Los valores que se encuentran por encima de la diagonal representan el coeficiente de correlación y por debajo de la diagonal el valor de P

Correlaciones								
	Ca	Mg	K	Cu	Fe	Mn	Zn	Temp
FDN		0.551	0.121	0.707	0.575	-0.073	-0.009	0.160
FDA	<0.001		0.710	-0.108	0.646	0.123	0.046	0.619
Lignina	0.141	<0.001		-0.500	0.180	0.013	0.039	0.717
HC	<0.001	0.189	<0.001		0.240	-0.066	-0.111	-0.377
Temp	<0.001	<0.001	0.028	0.003		0.268	-0.09	0.347
HR	0.378	0.135	0.876	0.425	<0.001		-0.306	0.107
PP	0.915	0.576	0.64	0.176	0.274	<0.001		0.256
Tem	0.051	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.123	<0.001	

(Temp) Temperatura; (HR) Humedad Relativa; (PP) Precipitación Pluvial.