



Aporte y descomposición de hojarasca en bosques templados de la región de El Salto, Durango

María Emma Moreno Valdez¹, Tilo Gustavo Domínguez Gómez^{1*}, María del Socorro Alvarado², José Guadalupe Colín¹, Sacramento Corral Rivas¹, Humberto González Rodríguez³

¹División de Estudios de Posgrado. Instituto Tecnológico de El Salto. México.

²Cátedra de Conacyt. El Colegio de Michoacán. México.

³Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

*Autor por correspondencia; correo-e: gustavo_dguezg@hotmail.com

Resumen:

A fin de conocer el aporte y descomposición de hojarasca como un proceso ecosistémico a través del cual se transfieren nutrientes al suelo, se evaluaron dos sitios de estudio (2 500 m²) durante un año: El Brillante, donde la estructura forestal está condicionada por *Quercus sideroxyla* y *Pinus cooperi* var. *Ornelasii*; y Santa Bárbara, con *Cupressus lusitanica* y *Pseudotsuga menziesii* y diferente composición de especies; en cada uno se instalaron 10 colectores de hojarasca de 1 m², en los que la recolecta se hizo quincenalmente. Dicho material fue separado en componentes: hojas, estructuras reproductivas, ramas, corteza, insectos, heces y otros (musgo, resina y tejido no identificado). Para medir la descomposición foliar se distribuyeron, por sitio, 160 bolsas con 10 g de hojarasca seca que se revisaron cada mes. La producción de hojarasca total fue de 5.9 (El Brillante) y de 3.6 Mg ha⁻¹ año⁻¹ (Santa Bárbara). Mediante un análisis de regresión, el modelo Exponencial Negativo Simple fue el mejor para describir la relación entre el peso inicial y final en la descomposición. Para la descomposición de 50 y 90 % de la masa de las hojas, el tiempo requerido fue de 1.6 y 10.8 años, respectivamente. El Brillante tiene una mayor producción de hojarasca; sin embargo, el proceso de descomposición es semejante al de Santa Bárbara. La comparación de promedios en el aporte de hojarasca y descomposición de la fracción foliar para los sitios de estudio se realizó con la prueba no paramétrica de U de *Mann-Whitney*.

Palabras clave: Deposición de hojarasca, hojarasca, modelos de descomposición, *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, *Quercus sideroxyla* Humb & Bompl., tasa de descomposición foliar.

Fecha de recepción/Reception date: 14 de diciembre de 2017

Fecha de aceptación/Acceptance date: 17 de abril de 2018.

Introducción

El estudio de los ciclos biogeoquímicos es un requisito previo para el desarrollo de mejores estrategias en los planes de manejo forestal sustentable (Mansillas, 2012; Martínez, 2014). Algunos de los procesos importantes que ocurren en los bosques y selvas es la descomposición de la biomasa, la transformación en nutrientes y su disponibilidad en el suelo (Álvarez *et al.*, 2014). Diversos autores han identificado como factores de incidencia en la producción y descomposición de la hojarasca a las variables climáticas del sitio, la composición de especies, el contenido nutricional en la hojarasca y las condiciones edáficas, entre otros (Salazar, 2008; Aponte, 2011). Por su parte, los efectos importantes en las tasas iniciales de descomposición de la hojarasca de acuerdo con Ibarra *et al.* (2011) se asocian a los cambios microclimáticos ocasionados por la reducción en el dosel de los árboles y a los contenidos de nutrientes.

La tasa de descomposición de la hojarasca en los bosques tropicales es rápida, comparada con la que se verifica en los bosques de climas templado-fríos (Kim *et al.*, 1996). Una alta producción de hojarasca puede propiciar una baja tasa de descomposición, aumenta la biomasa y la acumulación de nutrientes en el horizonte superficial del suelo, lo que a su vez ocasiona una limitación de nutrientes para los productores primarios (Melillo y Aber, 1982; Didham, 1998).

Los bosques de clima templado frío en la región forestal de El Salto, Durango son una mezcla de especies de los géneros *Pinus* sp. y *Quercus* sp., a menudo con presencia de pies aislados de los géneros *Pseudotsuga* sp., *Arbutus* sp. y *Juniperus* sp. (Wehenkel *et al.*, 2011); estos bosques en su mayoría tienen algún tipo de manejo forestal (SRNMA, 2006).

Por lo tanto, los supuestos teóricos que enmarcan la presente investigación expresan que el tipo de comunidad vegetal no influye en el aporte de hojas, ni en la

descomposición de la fracción foliar en los sitios de estudio. Para ello, se cuantificó la producción de hojas y su velocidad de descomposición, y se compararon los resultados obtenidos entre ellos. Bajo la premisa anterior, el objetivo del trabajo aquí descrito consistió en cuantificar la producción de hojarasca y la tasa de descomposición en dos sitios de bosque templado en la región de El Salto Pueblo Nuevo, Durango. Dichos hallazgos ofrecen elementos útiles para los gestores de los bosques templados sobre el manejo del material que recibe el suelo.

Materiales y Métodos

La presente investigación se realizó durante un año (marzo de 2016 a febrero de 2017) en el ejido El Brillante, municipio Pueblo Nuevo, localizado al suroeste del estado de Durango entre las coordenadas geográficas 23°40'30" y 23°50'35" de latitud norte y 105°30'30" y 105°19'30" de longitud oeste, las cuales se registraron con un navegador GPS *Garmin® Rino 650* (Figura 1). El muestreo se llevó a cabo en dos sitios: i) El Brillante dentro de una masa forestal donde predominan *Quercus sideroxyla* Humb & Bompl. y *Pinus cooperi* var. *ornelasii* Martínez; y ii) Santa Bárbara dentro de un rodal localizado en el área de conservación de la reserva estatal del mismo nombre, con una extensión de 53.9 ha y una mezcla de *Pinus* sp., *Abies* sp., *Picea* sp. y *Pseudotsuga* sp., entre otras especies. Las dos localidades pertenecen a la zona de las subprovincias fisiográficas conocidas como Gran Meseta y Cañones Duranguenses y Mesetas y Cañadas del Sur, con cerros que tienen un intervalo altitudinal de 2 500 a 3 000 m, y fondos de cañadas de hasta 700 msnm (Inegi, 2015).

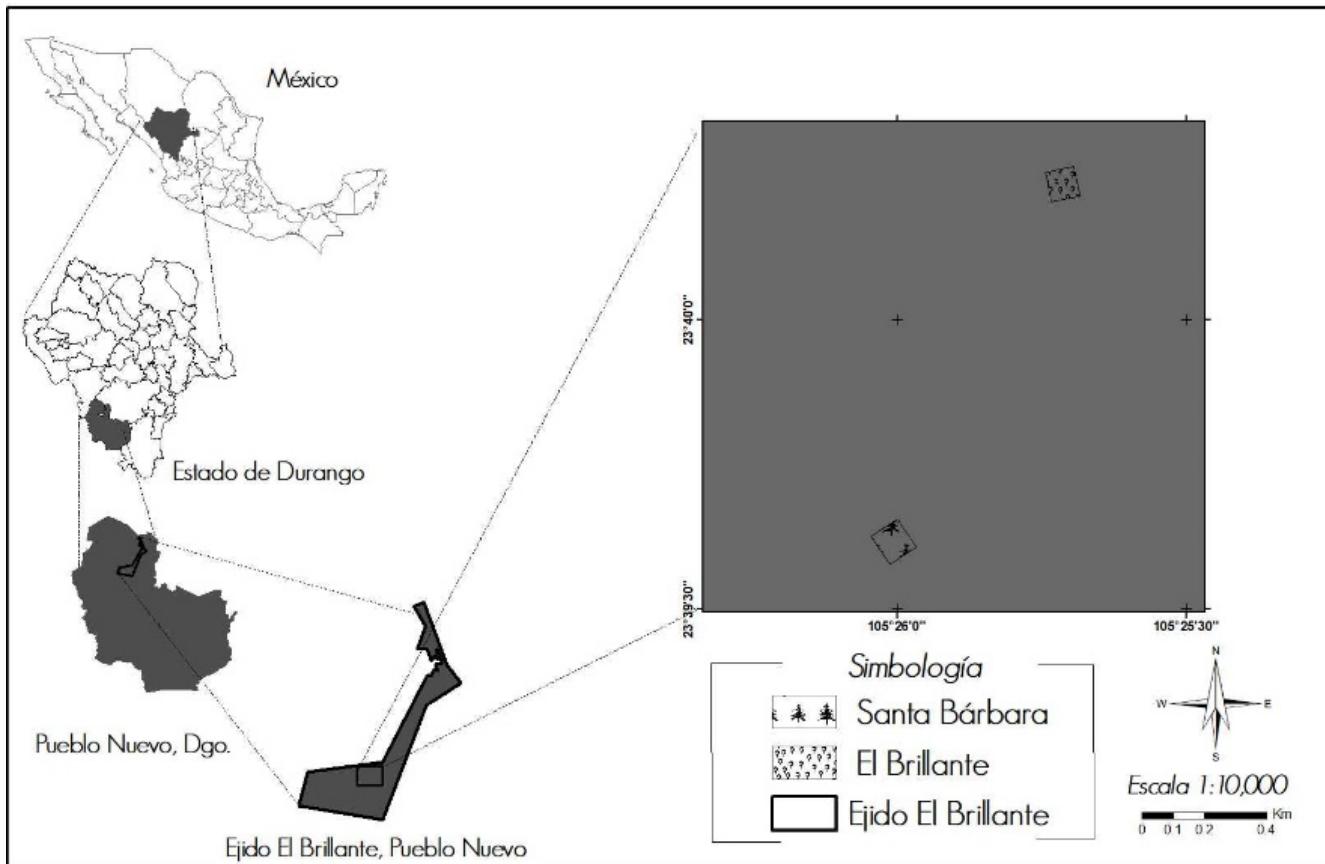


Figura 1. Área de estudio.

Predominan los climas semifrío-subhúmedo [C (E) (W₂)] con lluvias en verano, así como el clima templado-subhúmedo [C (W₂)] y precipitación media anual de 1 200 mm (García, 1988). Como consecuencia de los frentes fríos que llegan con dirección NE, de septiembre a marzo, se producen heladas con temperaturas de hasta -8 °C; y, con los de dirección NO, al combinarse con la humedad del Mar de Cortés pueden producir lluvias invernales o nevadas. La velocidad máxima de los vientos oscila entre los 60 y 65 km h⁻¹.

Los sitios de estudio se localizan a 17 y 20 km de la población conocida como El Salto, Pueblo Nuevo, respectivamente. La distancia entre El Brillante y Santa Bárbara es de 1.5 km.

Descripción de la vegetación

Las dimensiones de los sitios fueron de 50 × 50 m (El Brillante y Santa Bárbara). En cada uno se instalaron 10 cuadrados de 10 × 10 m (100 m²), los cuales se delimitaron con una cinta diamétrica *Truper® CM112 50 m*. Se registró la especie de todos los individuos presentes; así como el diámetro normal (d, cm), con una forcípula *Haglöf mantax Blue 950Mm*; la altura total (h, m), con hipsómetro *Vertex Laser IV Haglöf HS102*; y la cobertura de copa (CC, m² ha⁻¹), que consideró dos mediciones: de norte-sur y de oriente-poniente, con cinta métrica *Truper® CM112 50 m* (León *et al.*, 1996). Con estos datos se calcularon el Índice de Valor de Importancia (IVI) y el Índice de diversidad de especies de *Shannon-Wiener (H')*.

Variables ambientales

Se instalaron sensores automatizados tipo *HOBO (Familia H8, Forestry Suppliers, Inc.)* para registrar la temperatura ambiente (°C) con base horaria. La cantidad diaria de precipitación pluvial (mm) se cuantificó mediante un pluviómetro automatizado *Davis® S-RGC-M002*, conectado a un registrador *HOBO Event Onset*.

Aporte de hojarasca

Bajo un diseño experimental completamente al azar, en cada sitio de estudio se instalaron 10 trampas o colectores de hojarasca de 1.0 × 1.0 m con marco de madera de 10 cm de altura, cuyo fondo se cubrió con malla plástica fina (1.0 mm) para evitar la acumulación del agua de lluvia. Las trampas se colocaron a una altura de 50 cm sobre el suelo. La recolección y cuantificación de la hojarasca fue en intervalos de 15 días a partir del 15 de marzo de 2016 hasta el 28 de febrero de 2017. Las muestras

se clasificaron por número de trampa o repetición y fecha de muestreo; posteriormente fueron analizadas en el Laboratorio de Química del Instituto Tecnológico de El Salto y separadas por fracciones o componentes de acuerdo a la clasificación de Arunachalam *et al.* (1998). Adicionalmente, se incorporó la fracción de insectos y heces que contienen las muestras, para tener una mejor perspectiva de las características del proceso de deposición (Veneklass, 1991; Domínguez, 2009; Ávila y Zamora, 2010).

Las fracciones o componentes estudiados fueron: i) hojas, ii) estructuras reproductivas (flores, frutos y semillas), ii) ramas (< 2.0 cm de diámetro), iii) corteza, iv) insectos y heces, y v) otros componentes (musgo, resina y materiales no identificados). Una vez clasificada la hojarasca se secó en una estufa de aire forzado *Yamato Scientific America Inc.* DNE910 a 65 °C durante 72 horas, hasta obtener un peso seco constante ($Mg\ ha^{-1}\ año^{-1}$), para tal efecto se utilizó una balanza digital (*Marca Explorer Pro*, Modelo EP214C), con resolución de milésimas de gramo.

Descomposición de la hojarasca

Para estimar la tasa de descomposición de la fracción foliar se colocaron 10 gramos de hojas previamente secadas a 65 °C durante 144 horas en bolsas de 20 × 15 cm de tela nylon (1 mm). Fueron instaladas 16 bolsas por trampa o repetición para un total de 160 bolsas (Bärlocher, 2005). Todas se cubrieron con una capa de materia orgánica del mismo sitio. La recolección de las muestras se realizó con intervalos de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 360 días. Durante el periodo de evaluación cada colecta consistió en una muestra de 10 bolsas (una por canasta o repetición).

La degradación de la hojarasca en las bolsas se determinó de acuerdo con la diferencia de peso seco inicial y peso seco final (expresado en porcentaje):

$$PR\ (\%) = \left(\frac{X_t}{X_0} \right) * 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$PR (\%)$ = Proporción de peso remanente

X_t = Peso seco en el tiempo t (días)

X_0 = Peso seco inicial

Para describir el proceso de descomposición, los datos obtenidos de pérdida de peso seco fueron utilizados en la evaluación de distintas funciones lineales, alométricas, exponenciales, potencial y el Modelo Exponencial Negativo Simple propuesto por Olson (1963).

Análisis estadístico

Dadas las características de las variables estudiadas, se empleó la prueba no paramétrica de *Kruskal-Wallis* (Ott, 1993), para probar la hipótesis de normalidad se utilizó el *test* de *Shapiro Wilk* y *Levene* (Steel y Torrie, 1980) con el *software Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versión 24 (SPSS, 2016).

Las pruebas de normalidad demostraron que los datos no proceden de una población normal; por lo tanto, la comparación de promedios en el aporte de hojarasca y descomposición de la fracción foliar para los sitios de estudio se realizó con la prueba no paramétrica de U de *Mann-Whitney*. Se aplicó el método de corrección de *Bonferroni* (Wackerly *et al.*, 2002) para un nivel de significancia de 0.05, con un criterio de selección de $P < 0.025$.

El análisis de la capacidad de ajuste de las ecuaciones utilizadas para estimar la tasa de descomposición foliar se basó en las gráficas de los residuos y en los valores de dos estadísticos: el coeficiente de determinación (R^2) y la raíz del error medio cuadrático (RMCE).

Finalmente, el ajuste de las ecuaciones de descomposición se realizó con la función *nls* de R (R Core Development Team, 2016).

Resultados y Discusión

Estructura arbórea

Las principales características en la estructura y composición florística de los sitios de estudio El Brillante y Santa Bárbara se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Estructura y composición florística en El Brillante y Santa Bárbara.

Sitios de estudio	Especie	Individuos	F (%)	Cobertura (m ²)	Altura media (m)	D	Do	H'	IVI
El Brillante	<i>Quercus sideroxyla</i> Humb. & Bonpl.	323	51.0	861.66	2.09	31.07	18.91	0.36	100.99
	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	29	5.98	89.45	2.45	8.26	1.16	0.20	15.40
	<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	19	6.17	80.86	2.73	6.78	3.24	0.18	16.19
	<i>Pinus strobus</i> Engelm.	46	13.17	661.47	6.39	16.18	14.92	0.29	44.27
	<i>Pinus cooperi</i> var. <i>ornelascii</i> Martínez	68	13.09	978.14	8.03	29.85	55.18	0.36	98.12
	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	17	10.60	56.70	2.30	7.86	6.59	0.20	25.04
Total		502	100	2728.20		100	100	1.61	300
Santa Bárbara	<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schtdl. et Cham.	31	9.54	198.82	4.69	2.52	9.24	0.09	21.30
	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	5	4.29	9.56	1.36	0.01	3.51	0.00	7.80
	<i>Cupressus lusitanica</i> L.	185	40.27	1755.00	7.81	26.55	28.74	0.35	95.56
	<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	7	6.14	197.12	7.21	0.99	5.18	0.05	12.31
	<i>Picea chihuahuana</i> Martínez	3	3.97	28.74	12.80	4.89	4.77	0.15	13.63
	<i>Pinus cooperi</i> var. <i>ornelascii</i>	2	2.37	20.34	18.35	4.90	2.90	0.15	10.17
	<i>Pinus durangensis</i> Martínez	3	2.78	62.71	21.77	12.47	6.23	0.26	21.49
	<i>Pinus strobus</i> Engelm.	7	4.88	120.79	7.34	9.48	6.83	0.22	21.19
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	54	14.57	1198.06	16.55	33.94	22.94	0.37	71.45
	<i>Quercus crassifolia</i> Humb. & Bonpl.	5	5.98	70.58	6.86	0.96	4.38	0.04	11.31
Total		309	100	3828.76		100	100	1.79	300

D = Densidad (árboles ha⁻¹); Do = Dominancia (árboles ha⁻¹); F = Frecuencia; H' = Índice de *Shannon-Wiener*; IVI = Índice de valor de importancia.

VARIABLES AMBIENTALES

La temperatura media mensual y la precipitación mensual registrada durante el periodo de estudio se ilustran en la Figura 2.

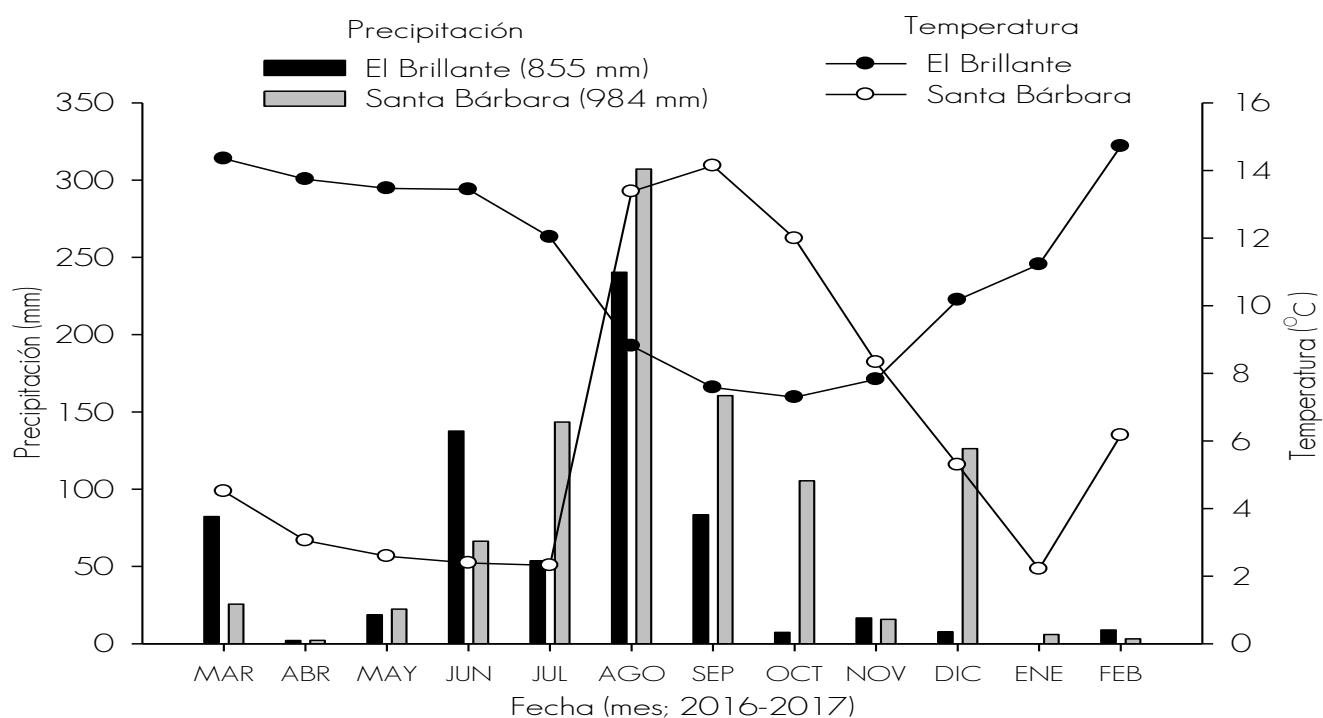
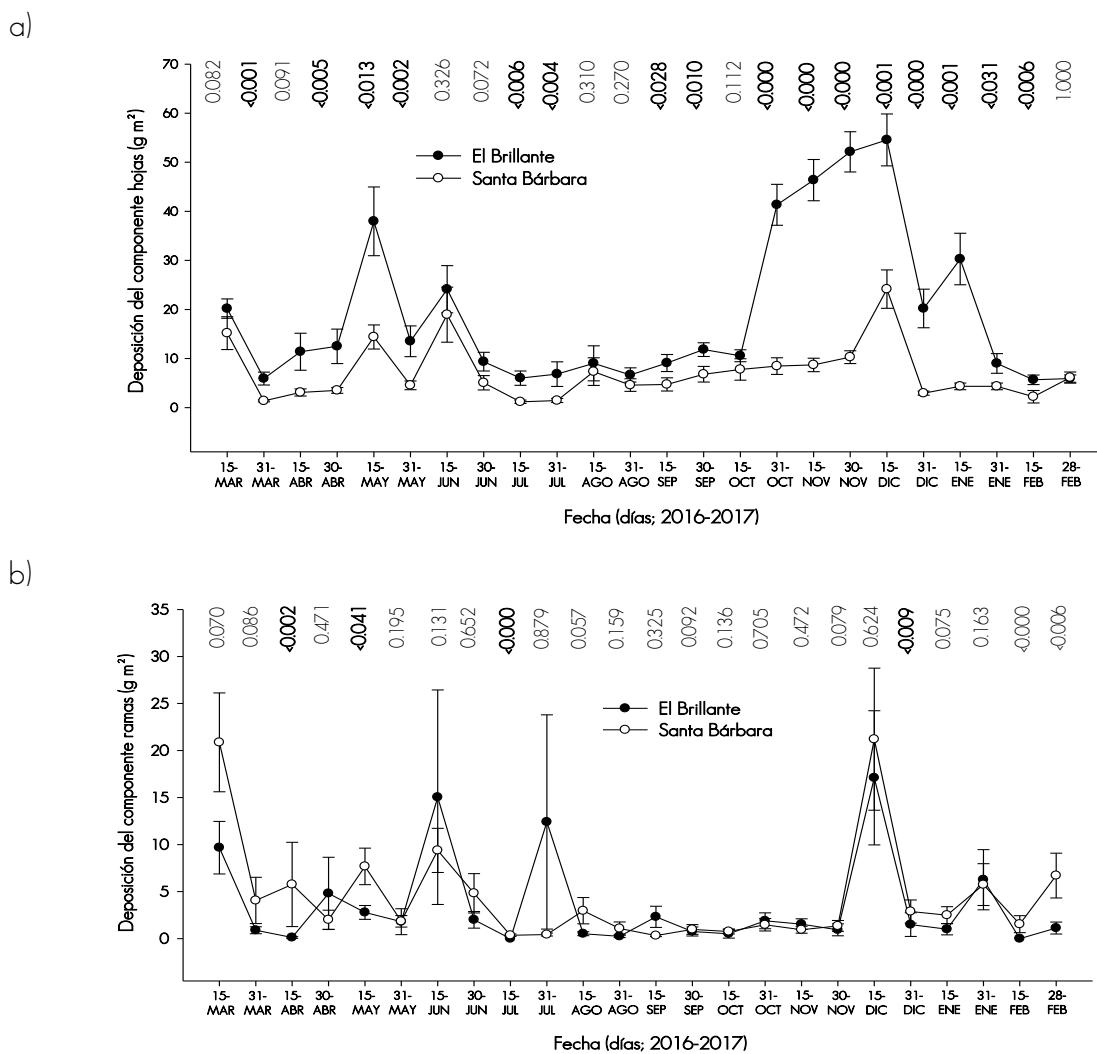


Figura 2. Variables ambientales.

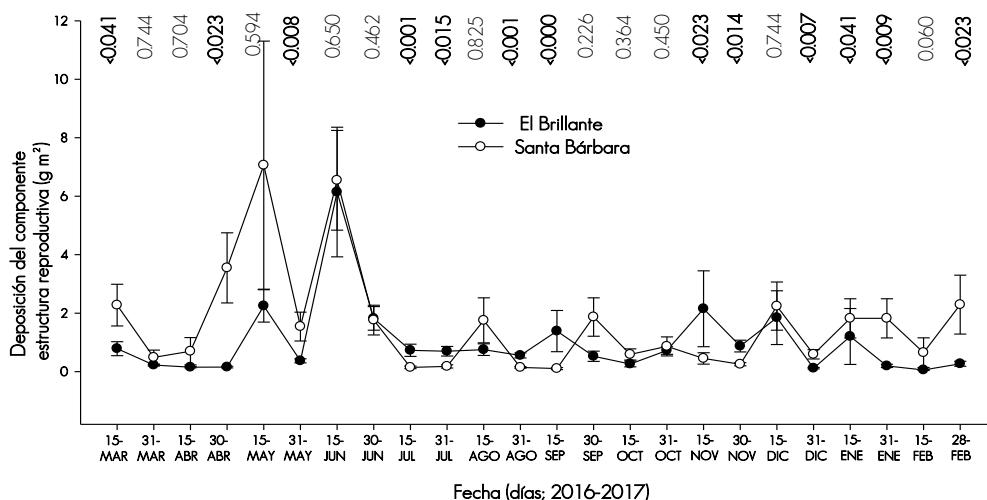
APORTE DE HOJARASCA

Prueba de medias. Los resultados indican diferencias en el aporte de la fracción hojas en ambos sitios, por lo que se rechaza la hipótesis de que no existen diferencias en el aporte de hojas en los sitios de estudio.

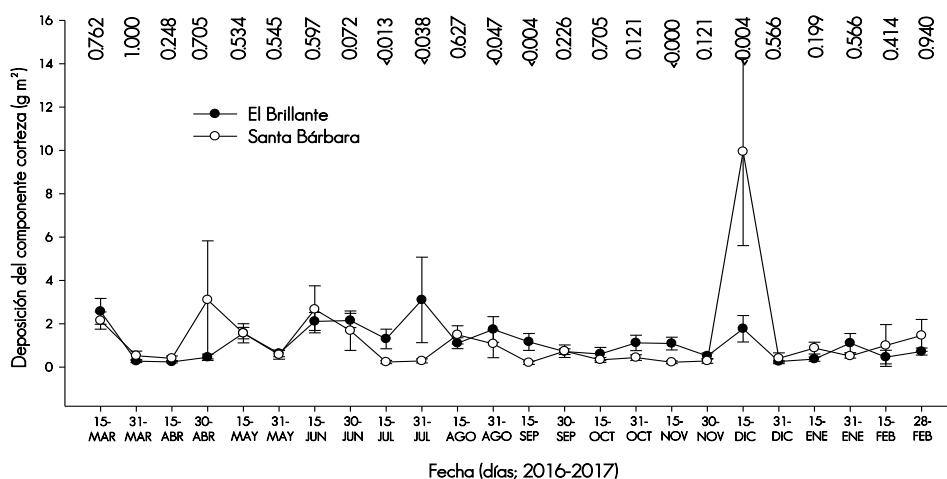
Comparación de medias por fracción arbórea. Al analizar los componentes de manera independiente y la hojarasca total por fecha de muestreo (Figura 3), los resultados coinciden con los registrados por Rocha y Ramírez (2009) y López (2014) en un bosque de pino-encino bajo diferentes condiciones sucesionales en Chiapas, quienes obtuvieron diferencias significativas en la producción anual de hojarasca. Dichas variaciones pueden ser atribuibles a las características particulares de la composición florística, fenología de las especies y estructura de las comunidades vegetales en los sitios de estudio. La dinámica de deposición anual de la producción total de hojarasca y por componentes, durante el periodo de investigación, se observa en la Figura 3.



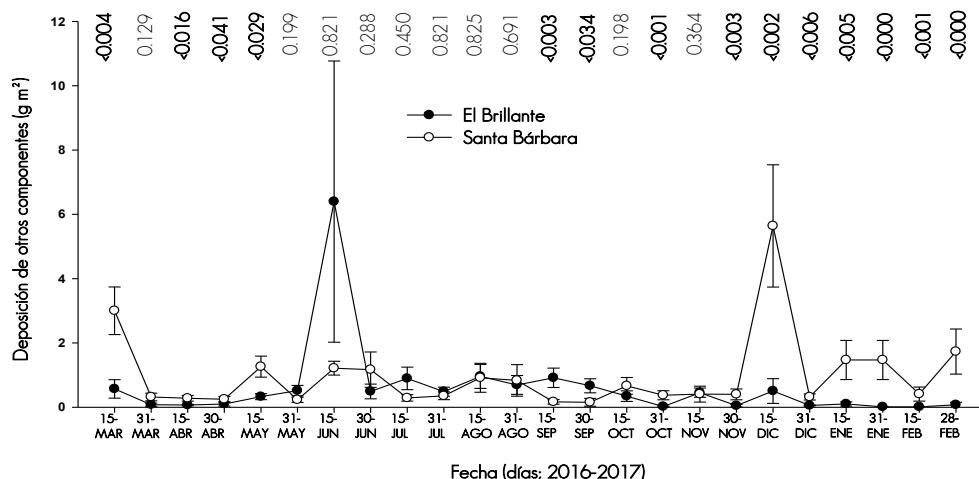
c)



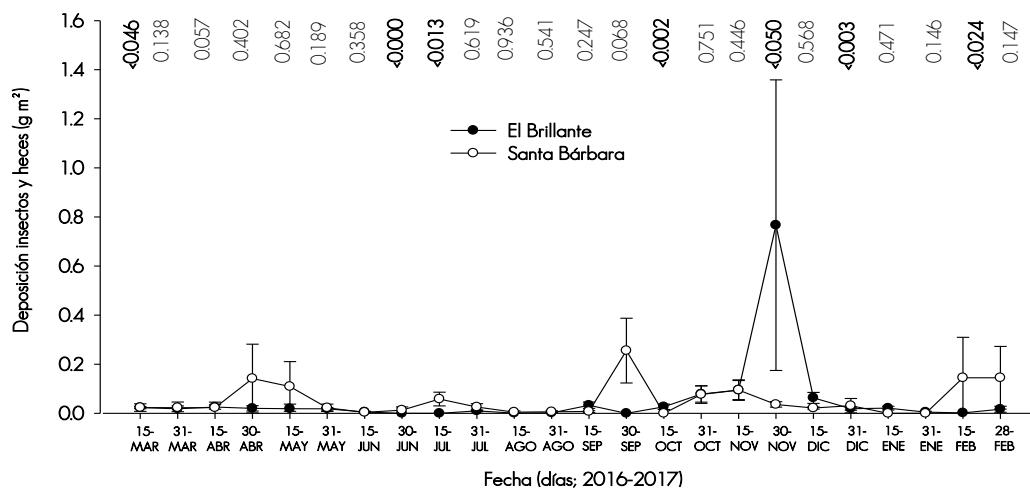
d)



e)



f)



Los valores graficados corresponden a la media \pm error estándar.

Figura 3. Deposición de los componentes a) hojas; b) ramas; c) estructura reproductiva; d) corteza; e) otros componentes y f) insectos y heces.

Hojarasca total. Al comparar la producción de hojarasca total en los dos sitios de estudio se detectaron diferencias estadísticas ($P < 0.015$). En general, El Brillante presentó una mayor ganancia en el aporte de hojarasca total ($5.9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) respecto a Santa Bárbara ($3.6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). La producción total anual en el primer sitio coincide con lo documentados por Pérez (2009) para un bosque de pino y encino en el centro de México, cuando registró una producción de hojarasca fina de $5.9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. La dinámica de deposición se observa en la Figura 4.



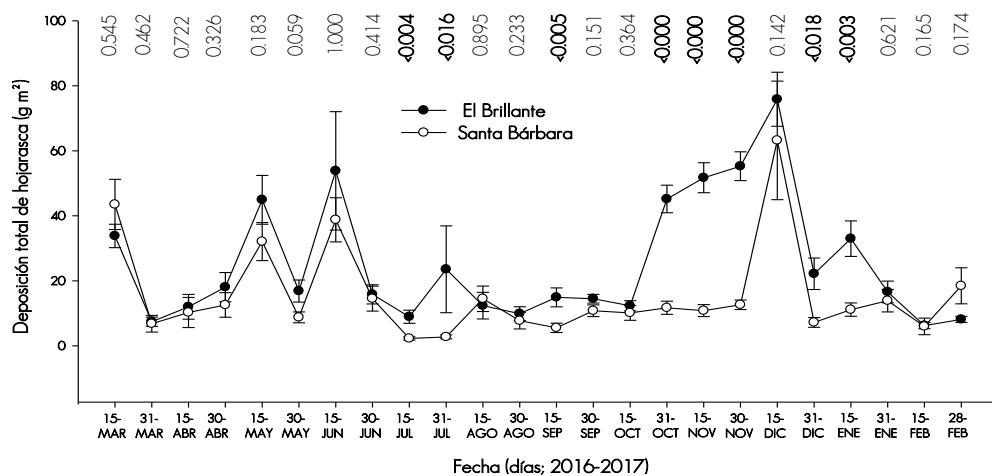


Figura 4. Deposición total de hojarasca.

Desafortunadamente, debido a la brevedad del período de trabajo y a la falta de información de algunas variables como factores bióticos y abióticos, no fue posible hacer un análisis más detallado de los resultados, lo que hace difícil llegar a una conclusión más sustentada sobre los agentes que inciden en la producción en los parajes estudiados (Cutini, 2002). No obstante, se puede afirmar que la producción total de hojarasca no está relacionada con las estructuras reproductivas de las especies estudiadas, por lo que el aporte por componente resultó ser semejante al de González *et al.* (2013) en el Matorral Espinoso Tamaulipeco en el noreste de México, y al de Ávila y Zamora (2010) en un estudio en sistemas agroforestales cafetaleros marginados en Ocotl Chico, Veracruz, México.

Cabe mencionar que las diferentes metodologías empleadas, las características particulares de los sitios de estudio y las separaciones de los componentes de la hojarasca dificultan comparar los resultados con otras investigaciones (Rocha y Ramírez, 2009).

Hojas. Son el componente de mayor proporción en la acumulación total de hojarasca, que corresponde a 74.8 % (4.4) y 46.4 % (1.6 Mg ha⁻¹ año⁻¹) en El Brillante y Santa Bárbara, respectivamente. Al practicar el análisis estadístico de la producción total de hojas, se verificaron diferencias significativas entre los

promedios de ambos sitios ($P < 0.001$). En Santa Bárbara los registros sitúan la producción por debajo de los señalados por Martínez (2014) para un bosque sin manejo, y los de Ibarra *et al.* (2011) en bosques naturales de Chile con *Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.) Krasse, con una deposición de hojarasca de $6.5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para el primero y de 3.8 (bosque virgen) para el segundo.

Al contrastar la producción de El Brillante con los valores de Ibarra *et al.* (2011) dentro de la misma investigación en la que la acumulación de hojarasca fue de 2 y $2.8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en un bosque bajo cortas de protección y bosques raleados, respectivamente, los resultados la colocan por encima de dichos datos.

Ramas. El aporte en la producción de ramas fue superior en Santa Bárbara que en El Brillante, pero al comparar estadísticamente la producción total de este componente no se obtuvieron diferencias significativas entre sus promedios ($P < 0.224$). Las ramas representan el segundo componente de mayor aporte a la producción total de hojarasca; para El Brillante contribuye con $14.1\% (0.8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1})$ y para Santa Bárbara con $28.3\% (1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1})$. Las cifras calculadas en el presente estudio están por arriba de las registradas por Nájera y Hernández (2009) ($0.7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), en bosques coetáneos de la región de El Salto, Pueblo Nuevo, Dgo.

Estructura reproductiva. Al contrastar la producción de estructuras reproductivas entre los sitios de estudio, El Brillante presentó el menor porcentaje. En términos estadísticos, la producción total de este componente no presentó diferencias ($P < 0.293$). Dicha variable obtuvo la cuarta posición en la producción total en El Brillante y el tercer lugar en Santa Bárbara. Su acumulación en la primera localidad representa $3.9\% (0.2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1})$ de la producción total de hojarasca, mientras que para Santa Bárbara la producción promedio de aporte fue de $10.2\% (0.3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1})$ del total. Las cantidades registradas para ambos sitios de estudio están por debajo de lo citado por Vargas y Varela (2007), que fue de $0.9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Corteza. Los promedios más altos se presentaron en el sitio Santa Bárbara con $8.4\% (0.3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1})$ de la producción de hojarasca total, en tanto que la producción de este componente en El Brillante contribuyó con $4.4\% (0.2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1})$.

Sin embargo, el análisis de la caída total de corteza parece no diferir estadísticamente entre sitios ($P < 0.458$). Este elemento ocupa el cuarto lugar en producción total de hojarasca. Al comparar los resultados con los indicados por López *et al.* (2013), quienes estudiaron dos especies de *Pinus* en localidades de la Sierra de Arteaga, Coahuila, México, registraron $0.04 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ solo para *P. cembroides* Zucc.; los valores calculados en esta investigación son superiores a los registrados en la literatura.

Otros componentes. Al analizar la producción promedio de este rubro entre los sitios de estudio, los resultados indican que los valores más altos que contribuyen a la producción total de hojarasca se registran en El Brillante, con 6.0 % ($0.1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$); mientras que, en Santa Bárbara, 2.4 % ($0.2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). La suma total destaca que difieren de manera significativa entre los sitios de interés ($P < 0.043$). La variable referida ocupa la quinta posición en la producción total de hojarasca. En este contexto, Rocha y Ramírez (2009) documentaron $0.07 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en un bosque de pino y encino; en tanto que, Vargas y Varela (2007), $1.5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Insectos y heces. Durante el periodo de estudio este componente fue mayor en el sitio Santa Bárbara; el valor máximo representa 0.3 % ($0.01 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) de la producción total y estadísticamente parece no existir diferencias en el aporte total ($P < 0.103$). Se acerca a los valores obtenidos por Ávila y Zamora (2010) que fluctuaron alrededor de 0.001 (selva media) a $0.01 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (bosque caducifolio).

Descomposición de la hojarasca

La comparación de la tasa promedio del componente foliar en los sitios de estudio a través de la prueba de Kruskal-Wallis se observa en la Figura 5; sugiere un patrón semejante de descomposición a partir del cuarto mes, para ambas localidades, por lo que se acepta la hipótesis en relación al proceso de descomposición. Cuando se contrastó la pérdida de masa orgánica al final del estudio (1 año), el porcentaje de descomposición para el primer sitio de interés fue de 31.7 %, en tanto que para el segundo fue de 34.7 %. Estos valores coinciden con los de Ibarra *et al.* (2011) durante un período de dos años en rodales de *Nothofagus*

pumilio en la región de Magallanes, donde documentaron las variaciones de la masa relativa de la hojarasca. En un estudio de descomposición de la fracción foliar de *Pinus patula* Schiede ex Schltld. & Cham., Martínez (2014) puso de manifiesto que en ninguno de los sitios estudiados el porcentaje de reducción de peso de la hojarasca fue diferente.

La tasa de descomposición difiere de la calculada por Martínez (2014), en la cual el proceso es mayor en los primeros meses y después su pendiente se reduce significativamente. La lenta descomposición puede ser atribuida a las características químicas de la hojarasca (variables no analizadas en la presente investigación), la composición de especies y disponibilidad de agua. La dinámica de descomposición se observa en la Figura 5.

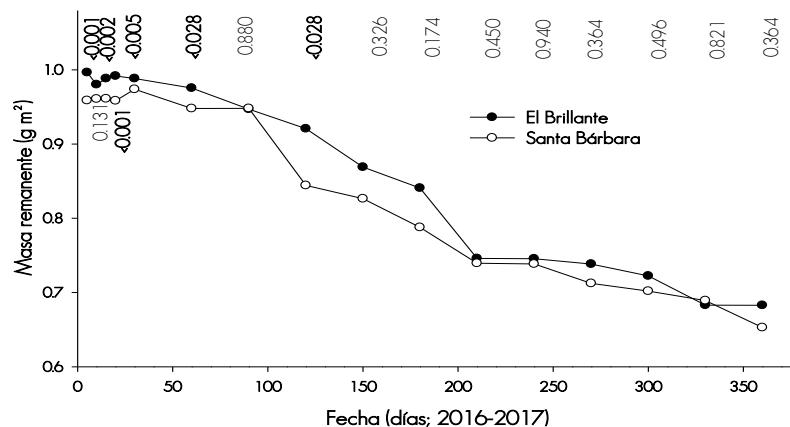


Figura 5. Masa remanente de la fracción foliar a través del tiempo (días).

Berg (2000) menciona que, en los primeros meses de la descomposición la concentración de sustancias solubles en agua decrece rápidamente, mientras la lignina (en grandes cantidades en agujas de pino) no se descompone de esa forma. Además, la presencia de sustancias como el N puede limitar la descomposición de la materia orgánica (Prause y Lifschitz, 2001).

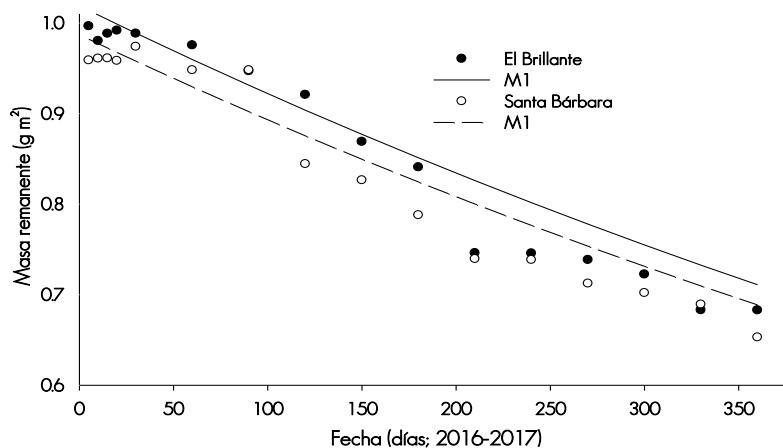
La tasa de descomposición en El Brillante y Santa Bárbara parece ser más semejante a la calculada por Verdú (1984), quien consignó una pérdida de 25.7 % en 374 días para *Quercus ilex* L., y de 16.8 % en 354 días para *Abies alba* Mill.

Para evaluar el proceso de descomposición se probaron varios modelos matemáticos lineales, alométricos, potenciales y exponenciales (Cuadro 2); se tomó en cuenta a los residuales y por la naturaleza de los datos, se seleccionó el Modelo Exponencial Negativo Simple propuesto por Olson (1963) (Figura 6).

Cuadro 2. Modelos de regresión utilizados para la estimación de la masa remanente de la fracción foliar en los dos sitios de estudio.

Sitio de estudio	Ecuación	Modelo	Estimador		Estadísticos	
			β_0	β_1	R^2	RECM
El Brillante			1.019	0.001	0.969	0.022
Santa Bárbara	$H(t) = \beta_0 * \exp^{-\beta_0 * t}$	(1)	0.987	0.001	0.965	0.023
El Brillante			1.011	-0.000	0.971	0.021
Santa Bárbara	$H(t) = \beta_0 + \beta_1(t)$	(2)	0.097	-0.000	0.961	0.024
El Brillante			0.247	-0.091	0.741	0.077
Santa Bárbara	$\ln H(t) = \beta_0 + \beta_1 \ln(t)$	(3)	0.218	-0.092	0.761	0.073
El Brillante			1.237	-0.082	0.726	0.066
Santa Bárbara	$H(t) = \beta_0 * t^{\beta_1}$	(4)	1.203	-0.083	0.740	0.063
El Brillante			-0.328	0.686	0.447	0.094
Santa Bárbara	$H(t) = \exp(\beta_0 + \beta_1 / \ln(t))$	(5)	-0.360	0.688	0.450	0.091

β_0, β_1 = Parámetros del modelo; R^2 = Coeficiente de determinación; RECM = Raíz del cuadrado medio del error.



Los valores graficados corresponden a la media ($n=10$). La línea sólida se refiere a datos del sitio El Brillante y la línea punteada al sitio Santa Bárbara.

Figura 6. Estimación de la masa orgánica remanente del componente foliar con el Modelo 1.

Los parámetros son similares a los registrados por Del Valle (2003), Ibarra *et al.* (2011) y Castellanos y de León (2011), quienes probaron modelos exponenciales con buenos estadísticos de ajuste.

La tasa de descomposición (constante K) durante el tiempo evaluado fue muy similar en los dos sitios de estudio: -0.424 para El Brillante y -0.425 año^{-1} para Santa Bárbara. En ambos, el tiempo requerido para la descomposición de la fracción foliar de 50 y 90 % fue de 1.6 y 10.8.

Conclusiones

Se compararon dos sitios con diferente composición de especies; las más tolerantes (*Pinus* sp. y *Quercus* sp.) son las que aportan la mayor cantidad de hojarasca en El Brillante. La diversidad más alta de especies se presenta en el sitio Santa Bárbara (11 especies); sin embargo, la dominancia de la estructura forestal está

condicionada por especies intolerantes (*Pseudotsuga* sp. y *Cupressus* sp.), con hojas muy pequeñas y ritmos de aporte más pronunciados.

Al analizar el proceso de descomposición de la fracción foliar *in situ*, la tasa o ritmo de pérdida de la masa resulta ser igual en ambos sitios; este hallazgo confirma que se trata de una misma unidad climática, por lo tanto, se recomienda replicar el ensayo en diferentes calidades de sitio y, sobre todo, controlar a las especies que aportan las hojas.

Los cinco modelos de descomposición evaluados tienen buenos ajustes estadísticos en términos del coeficiente de determinación y el error medio cuadrático. Pero al tomar en cuenta los residuales todos, excepto el Modelo Exponencial Negativo Simple, evidencian autocorrelación de errores. El modelo propuesto, que estima la fracción foliar remanente como un capital colocado a una tasa negativa de interés compuesto (la tasa de descomposición) es estadísticamente superior o igual a la mayoría de los modelos tradicionales.

Agradecimientos

El apoyo recibido para la realización de la presente investigación se derivó de los proyectos titulados Ciclos Biogeoquímicos en Bosques de la Sierra Madre Occidental de la Región de El Salto, Durango, México [Proyecto TECNM. 5746.16-P], y Deposición de Hojarasca en Tres Sitios de la Sierra Madre Occidental, Durango, México. [Proyecto SEP-ITM-ITESA-PTC-002].

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

María Emma Moreno Valdez: toma de datos de campo, análisis de datos y redacción y corrección del manuscrito; Tilo Gustavo Domínguez Gómez: toma de datos de campo, análisis de datos y corrección del manuscrito; María del Socorro Alvarado: corrección del manuscrito; José Guadalupe Colín: toma de datos de campo y corrección del manuscrito; Sacramento Corral Rivas: análisis de datos y corrección del manuscrito; Humberto González Rodríguez: corrección del manuscrito.

Referencias

Álvarez A., O., P. Cairo C., A. Mollineda T., Y. García L., P. Torres A., A. Rodríguez U. y F. Cuevas H. 2014. Caracterización química de la biomasa del Bambú (*Bambusa vulgaris* Schrader ex. Wendlan): perspectivas para su utilización. Centro Agrícola 41 (2):91-93.

Aponte, C. 2011. Interacciones planta-suelo en un bosque mediterráneo. Ecosistemas 20 (2): 95-100.

Arunachalam, A., K. Arunachalam M., H. Pandey N. and R. Tripathi S. 1998. Fine litterfall and nutrient dynamics during forest regrowth in the humid subtripics of north-eastern India. Forest Ecology and Management 110: 209-219.

Ávila B., C. H. y P. Zamora M. 2010. Producción de hojarasca y materia orgánica en agroecosistemas cafetaleros marginales de Ocotal Chico, Veracruz, México. Polibotánica 30: 69-87.

Bärlocher, F. 2005. Leaf mass loss estimated by litter bag technique. In: Graca A., S., F. Barloche and O. Gessner M. (eds.). Methods to study litter decomposition: a practical guide Springer-Verlag. Dordrecht, Germany. pp. 37-42.

Berg, B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecology and Management* 133: 13-22.

Castellanos B., J. y J. de León P. 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.

Cutini, A. 2002. Litterfall and leaf area index in the CONECOFOR permanent monitoring plots. *Journal of Limnology* 61:62-68.

Del Valle A., J. I. 2003. Descomposición de la hojarasca fina en bosques pantanosos del pacífico colombiano. *Interciencia* 28 (3):148-153.

Didham, R. 1998. Altered leaf-litter decomposition rates in tropical forest fragments. *Oecologia* 116: 397-406.

Domínguez, G. T. 2009. Deposición de hojarasca y retorno potencial de nutrientos en diferentes comunidades de vegetación. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL., México, 133 p.

García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf (2 de noviembre de 2017).

González R., H., R. G. Ramírez L., I. Cantú S, M. V. Gómez M., M. Cotera C., A. Carrillo P. y J. J. Marroquín C. 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.

Ibarra, M., J. Caldentey y A. Promis. 2011. Descomposición de hojarasca en rodales de *Nothofagus pumilio* de la región de Magallanes. *Bosque* 32 (3):227-233.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). 2015. Anuario Estadístico Durango. http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxER_Docs/DGO_ANUARIO_PDF15.pdf (2 de noviembre de 2017).

Kim, C., T. Sharik and M. Jurgensen. 1996. Canopy cover effects on mass loss, and nitrogen and phosphorus dynamics from decomposing litter in oak and pine stands in northern Lower Michigan. *Forest Ecology and Management* 80:13-20.

León de la L., J. L., R. Coria B. y M. Cruz E. 1996. Fenología floral de una comunidad árido-tropical de Baja California Sur, México. *Acta Botánica Mexicana* 35:45-64.

López H., J. M. 2014. Producción de hojarasca y retorno potencial de nutrientes en tres sitios del Estado de Nuevo León, México. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL., México. 83 p.

López L., J. D., G. Méndez, J. A. Nájera L., P. Cerano, J. D. Flores F. y J. A. Najera C. 2013. Producción de hojarasca en *Pinus halapensis* Mill. y *Pinus cembroides* Zucc. y su relación con algunos factores climáticos. *Agrociencia* 47:495-510.

Mansillas, P. R. 2012. Evaluación de la alteración y restauración de los ciclos biogeoquímicos en bosques de *Nothofagus pumilio* de Tierra del Fuego afectados por prácticas de manejo forestal. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. 140 p.

Martínez C., B. E. 2014. Descomposición de la fracción foliar de *Pinus patula* Shcltdl.& Cham. y dinámica de la producción de hojarasca en un bosque manejado. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 112 p.

Melillo, J. and J. Aber. 1982. Nitrogen and ligning control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology* 63: 621-626.

Nájera L., J. A. y E. Hernández H. 2009. Acumulación de biomasa aérea en un bosque coetáneo de la región de El Salto, Durango. *Ra Ximhai* 5 (2):225-230.

Olson, J. S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 44:322-333.

Ott, L. 1993. An introduction to statistical methods and data analysis. Duxbury Press. Boston, MA, USA. 775 p.

Pérez S., M. 2009. Understanding the role of *Pinus cembroides* and *Quercus potosina* in water and nutrient dynamics in a semi-arid forest ecosystem of central-northwest Mexico applying the functional matrix approach. Tesis Doctoral. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. San Luis Potosí, S.L.P., México. 98 p.

Prause, J. y P. Lifschitz A. 2001. Ciencia y Técnica.
<http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2001/5-Agrarias/A-072.pdf> (2 de noviembre de 2017).

Rocha L., A. G. y N. Ramírez M. 2009. Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales del bosque de pino-encino en Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Biológica de México* 84:1-12.

R Core Development Team. 2016. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc. (3.3.0). Boston, MA. <http://www.rstudio.com> (2 de noviembre de 2016).

Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente (SRNMA). 2006. Programa Estratégico Forestal 2030 para Durango. Durango, Dgo., México. 44 p.

Salazar I., S. 2008. Estudio de procesos ecológicos para el desarrollo sostenible del castaño *Castanea sativa* Mill. de la sierra de Francia. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca. Departamento de Biología Animal, Ecología, Parasitología, Edafología y Química Agrícola. Salamanca, España. 340 p.

Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). 2016. SPSS Statistics. Standard released (Versión 24). for Windows. SPSS Inc. Chicago, IL USA. n/p.

Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. McGraw-Hill Book Company. New York, NY, USA. 633 p.

Vargas, P. L. y A. Varela. 2007. Producción de hojarasca de un bosque de niebla en la reserva natural La Planada (Nariño, Colombia). Revista de la Facultad de Ciencias 12: 35-49.

Veneklaas, E. J. 1991. Litterfall and nutrient fluxes in two montane tropical rain forests, Colombia. *Journal of Tropical Ecology* 7:319-336.

Verdú G., A. M. C. 1984. Circulació de nutrients en tres ecosistemes forestals del Montseny: caiguda de virosta i descomposició de la fullaraca. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España, 47 p.

Wackerly, D. D., W. Mendenhall and R. L. Scheaffer. 2002. Estadística matemática con aplicaciones. Editorial Thomson International. México, D. F., México. 872 p.

Wehenkel, C., J. J. Corral R., J. C. Hernández D. and K. V Gadow. 2011. Estimating balanced structure areas in multi-species forests on the Sierra Madre Occidental, Mexico. *Annals of Forest Science* 68: 385-394.