



PRODUCCIÓN Y TASA DE DESCOMPOSICIÓN DE HOJARASCA EN ACAHUALES DE SELVA CADUCIFOLIA EN CHIAPAS

PRODUCTION AND LITTER DECOMPOSITION RATE IN ACAHUALES OF DECIDUOUS TROPICAL FOREST IN CHIAPAS

Ricardo Rivera Vázquez¹, Lorena Soto Pinto², Carlos A. Núñez Colín¹, Bernardus De Jung², Ma. Graciela Hernández Rivera³ y José A. B. Ordóñez Díaz⁴

RESUMEN

Los bosques y otros ecosistemas terrestres fungen como fuentes o sumideros de carbono a partir de su estado de conservación; una fracción substancial del fijado anual de este elemento al suelo se deriva de la descomposición de la hojarasca, que se altera por el cambio de uso de suelo. Es necesario, entonces, conocer dichas dinámicas en el proceso, así como en la producción y acumulación de este material. Por esa razón se diseñó un estudio en el que se establecieron cuatro parcelas permanentes de muestreo en acahuals de selva caducifolia de diferentes edades en Chiapas, México; en cada una se colocaron 15 trampas (de 1.0 m²) y 36 bolsitas de descomposición con 10 g de hojas (peso seco). El periodo de muestreo fue de octubre de 2009 a septiembre de 2010. La mayor caída de hojarasca ocurrió de marzo a mayo, cuando el componente hoja fue el preponderante con más de 64 % del total; el acahual más joven presentó la mayor producción, con 5.05 t ha⁻¹ año⁻¹. En contraste, la tasa de descomposición (k) fue más rápida para el acahual de mayor edad; se estimó un lapso de 75.9 días para actuar sobre 50 % del material y 504.3 días para 99 % del mismo. Los resultados indican que la edad de los acahuals es determinante para la producción y la tasa de descomposición de la hojarasca, lo cual es importante para estimar la acumulación de carbono en estos sistemas.

Palabras clave: Acahuals, Chiapas, descomposición de la hojarasca, producción de hojarasca, Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, selva caducifolia.

ABSTRACT

Forests and other terrestrial ecosystems act as carbon sources or sinks from their conservation status; a substantial fraction of this element that each year is fixed to the ground is derived from the decomposition of litter, which is altered by the change of land use. Therefore, it is then necessary to know these dynamics involved in this process and in the production and accumulation of this material. For this reason a study was designed in which four permanent sampling plots were established in deciduous forest fallows ("acahual") of different ages in Chiapas, Mexico, in each one of them were placed 15 traps (1.0 m² area) and 36 decomposition bags with 10 g of leaves (dry weight). The sampling period was from October 2009 to September 2010. The greatest litterfall occurred from March to May, when leaves were the predominant component with more than 64 % of the total; the youngest acahual registered the highest production (5.05 t ha⁻¹ yr⁻¹). In contrast, the decomposition rate (k) was faster for the more mature acahual; estimated within 75.9 days to act on 50% of the material and 504.3 days for 99 % thereof. Results show that the age of acahual is critical for the production and the rate of litter decomposition, which is important for estimating carbon accumulation in these systems

Key words: Acahuals, Chiapas, litter decomposition, litter production, El Ocote Rain Forest Biosphere Reserve, deciduous tropical forest.

Fecha de recepción/date of receipt: 24 de mayo de 2013; Fecha de aceptación/date of acceptance: 25 de octubre de 2013.

¹ Campo Experimental Bajío. CIR-Centro. INIFAP. Correo-e: rivera.ricardo@inifap.gob.mx.

² El Colegio de la Frontera Sur Campus San Cristóbal

³ Asesor técnico

⁴ Servicios Ambientales y Cambio Climático A.C.

INTRODUCCIÓN

La producción y descomposición de la hojarasca son aspectos clave en el ciclo del carbono y de los nutrientes en los ecosistemas terrestres (Lambers *et al.*, 1998). La caída de hojarasca es un proceso que transfiere nutrientes de la vegetación hacia el suelo (Vitousek y Sanford, 1986), mientras que la descomposición de la misma los transforma (Maclean y Wein, 1978).

El balance entre la hojarasca que cae y la hojarasca que se descompone influye en la cantidad de carbono almacenado en el suelo (Gaudinski *et al.*, 2000) y en el ciclo de los nutrientes, en general, (Martínez-Yrizar *et al.*, 1999; Xuluc-Tolosa *et al.*, 2003); el clima, los microorganismos y la composición de la hojarasca son los factores más importantes para incrementar o no el carbono en el suelo (Aerts, 1997). Por ello, la dinámica de la hojarasca está gobernada por su caída y descomposición (Xu, 2004).

La caída de hojarasca constituye la principal entrada de nutrientes al suelo forestal (Rai y Proctor, 1986; Landsberg y Gower, 1997; Del Valle-Arango, 2003). Las fluctuaciones estacionales en la producción de hojarasca están reguladas fundamentalmente por mecanismos y factores biológicos (fenología) y climáticos (precipitación y temperatura básicamente), aunque también son relevantes la topografía, las condiciones edáficas, la especie vegetal, la edad y la densidad del bosque (Hernández *et al.*, 1992; Clark *et al.*, 2001).

En varios ecosistemas se evidencian patrones diferenciales de producción de hojarasca, en los que resultan determinantes la edad, la densidad arbórea, la especie e incluso la latitud (Reyes-Carrera *et al.*, 2013). En este sentido, en el presente estudio se analizó la diferencia entre edades de acahuales, que son poblaciones vegetales pioneras del trópico que restablecen la vegetación natural en un área perturbada por actividades agrícolas o pecuarias. Semarnat (2003) los define como "la vegetación forestal que surge de manera espontánea en terrenos que estuvieron en uso agrícola o pecuario en zonas tropicales".

Por otra parte, la descomposición consiste en una serie de procesos físicos y químicos por medio de los cuales la hojarasca se reduce a sus constituyentes químicos elementales (Aerts, 1997). Los intervalos de descomposición de la hojarasca son afectados por las condiciones ambientales, por su composición química, por los organismos del suelo que desarrollan dicha función y por las condiciones fisicoquímicas de este (Zhang *et al.*, 1997; Sullivan *et al.*, 1999; Bosco *et al.*, 2004).

El presente estudio abordó el tema de la producción y descomposición de la hojarasca como un reservorio dinámico que contribuye a la acumulación de carbono en el sistema forestal, mediante la estimación de la tasa de descomposición de la hojarasca y su potencial de acumulación de carbono

INTRODUCTION

Litter production and decomposition are two key aspects in the carbon and nutrient cycles in terrestrial ecosystems (Lambers *et al.*, 1998). Litterfall is a process that transfers vegetation nutrients to soil (Vitousek and Sanford, 1986), whereas litter decomposition transforms these nutrients (MacLean and Wein, 1978).

The balance between the leaves that fall and the litter which decomposes influences the amount of carbon stored in the soil (Gaudinski *et al.*, 2000) and nutrient cycling in general (Martínez-Yrizar *et al.*, 1999; Xuluc-Tolosa *et al.*, 2003); climate, microorganisms and composition of litter are the most important factors to increase or not carbon in the soil (Aerts, 1997). Therefore, litter dynamics is governed by litterfall and its decomposition (Xu, 2004).

Litterfall is the main nutrient inputs to the forest floor (Rai and Proctor, 1986; Landsberg and Gower, 1997; Del Valle - Arango, 2003). Seasonal fluctuations in litter production are regulated primarily by biological factors and mechanisms (phenology) as well as by climate (mainly temperature and precipitation), but topography, soil conditions, plant species, age and density of the forest are also relevant (Hernández *et al.*, 1992; Clark *et al.*, 2001).

In several ecosystems differential patterns of litter production are evident, in which age, tree density, species and even latitude are crucial (Reyes-Carrera *et al.*, 2013). In this sense, the present study analyzed the difference between *acahuales* of not the same ages, which are pioneers of tropical plant populations that restore natural vegetation in an area disturbed by farming or livestock. Semarnat (2003) defines them as "the forest vegetation that arises spontaneously in areas that were under agriculture or livestock in the tropics".

Moreover, the decomposition is a series of physical and chemical processes by means of which the leaves are reduced to their basic chemical constituents (Aerts, 1997). The intervals of litter decomposition are affected by environmental conditions, by the chemical composition of litter, by the soil organisms that practice such task and its physicochemical conditions (Zhang *et al.*, 1997; Sullivan *et al.*, 1999; Bosco *et al.*, 2004).

The present study addressed the issue of production and litter decomposition as a dynamic reservoir that contributes to the accumulation of carbon in the forest, by estimating the rate of litter decomposition and its potential for carbon accumulation in the soil of El Ocote Biosphere Reserve in Chiapas state.



al suelo forestal en la Reserva de la Biosfera El Ocote en el estado de Chiapas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Reserva de la Biosfera Selva El Ocote (REBISO) se localiza hacia la porción occidental del territorio chiapaneco, entre los paralelos 16°45'42" y 17°09'00" latitud norte y los meridianos 93°54'19" y 93°21'20" longitud oeste, ubicada en los Municipios Ocozocoautla de Espinosa, Cintalapa de Figueroa, Tecpatán de Mezcalapa y Jiquipilas en el estado de Chiapas y cuenta con una superficie total de 101 288.15 ha (Semarnat, 2001). En la parte noreste de la reserva está la comunidad de Tierra Nueva, donde se realizó el estudio (Figura 1).

MATERIALS AND METHODS

Study area

The Biosphere Reserve El Ocote (REBISO) is located towards the western portion of the state of Chiapas, between latitudes 16°45'42" and 17°09'00" N and the meridians 93°54'19" and 93°21'20" W, located in the Municipalities Ocozocoautla de Espinosa, Cintalapa de Figueroa, Tecpatán de Mezcalapa and Jiquipilas in the state of Chiapas and has a total area of 101 288.15 ha (Semarnat, 2001). In the northeastern part of the reserve is located the community of Tierra Nueva, where the study was performed (Figure 1).

All communities within the reserve develop agriculture (40-75 % corn and 12 % beans), in upland areas with perennial crops, 75 % of which is coffee; rangeland areas are mainly north dam and



Figura 1. Ubicación del área de estudio.
Figure 1. Location of the study area.

Todas las comunidades dentro de la reserva desarrollan agricultura (40-75 % maíz y 12 % frijol), en las zonas altas con cultivos perennes, 75 % de los cuales corresponden a café; en cuanto a las áreas de agostadero, están principalmente al norte de la presa y al sur de la polygonal, donde se practica la ganadería de baja escala y de manera extensiva (Semarnat, 2001). Por estas actividades primarias y a partir de las condiciones de los sitios que impiden una explotación permanente, existen muchas áreas con vegetación secundaria o *acahuales*.

Parcelas de monitoreo

Se establecieron cuatro parcelas permanentes de monitoreo en la comunidad de Tierra Nueva, alrededor de las cuales se colocaron las trampas de hojarasca y las bolsitas de descomposición. Dichas parcelas son de cuatro etapas sucesionales de *acahual*: Parcela 1 (5-6 años), Parcela 2 (14 años), Parcela 3 (18-20 años) y Parcela 4 (más de 20 años). Las parcelas dejaron de utilizarse debido a las condiciones fisiográficas que impiden un manejo agrícola o pecuario constante, lo que originó *acahuales* de edades distintas.

En cada parcela permanente se establecieron tres lugares distanciados 120° a partir del centro de la parcela (repeticiones) con cinco trampas de hojarasca en cada uno, las cuales deben permanecer al menos por un año; y ahí mismo se establecieron tres sitios (repeticiones) con 36 bolsitas de descomposición cada uno.

Las trampas de hojarasca consistieron en una sección circular de 1.0 m² de área elaborada en tela de malla fina de 0.5 mm con el fin de poder recuperar los órganos vegetales de menor tamaño y permitir, a su vez, la evacuación efectiva del agua de lluvia, a 80 cm sobre la superficie del terreno. La frecuencia de toma de datos fue quincenal por diez meses, durante los cuales se recolectó todo el material de las cinco trampas (una repetición) para formar una muestra compuesta. El periodo de muestreo fue de octubre de 2008 a septiembre de 2009. Posteriormente, de regreso del campo, se separaron los distintos componentes de la hojarasca: a) hojas, b) semillas, flores y frutos, y c) cortezas y ramas de hasta 5 cm de diámetro. Las colectas se llevaron al laboratorio de suelos de El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur) para secarlas por 72 horas a 70 °C en un horno Instrumenta S-2, posteriormente se obtuvo el peso seco de acuerdo al método de Brown y Lugo (1990).

Los datos se sometieron a un análisis no paramétrico de intervalos medios mediante la prueba de Z (Kruskal y Wallis, 1952), para determinar diferencias significativas en la producción de hojarasca entre parcelas.

Para la elaboración de un total de 432 de bolsitas de descomposición se utilizó el método de Bocock (1960). Se hicieron con tela mosquitera de 2 mm de luz de malla, con dimensiones

south of the polygonal, which practice small-scale farming and extensively (Semarnat, 2001). For these primary activities and from the site conditions that prevent continued harvesting, there are many areas with secondary vegetation or *acahuales*.

Monitoring plots

There were 4 permanent monitoring plots in the community of Tierra Nueva, around which were placed traps and litter decomposition bags. These plots include four successional stages of the *acahual*: Plot 1 (5-6 years); plot 2 (14 years); plot 3 (18-20 years) and plot 4 (over 20 years). The plots were left unused due to physiographic conditions that prevent steady crop or livestock management, resulting *acahuales* of different ages.

In each permanent plot three places were established apart at 120° from the center of the plot (replications) with 5 litter traps each, which must remain for at least a year and right there three sites (replicates) were settled with 36 decomposition bags each.

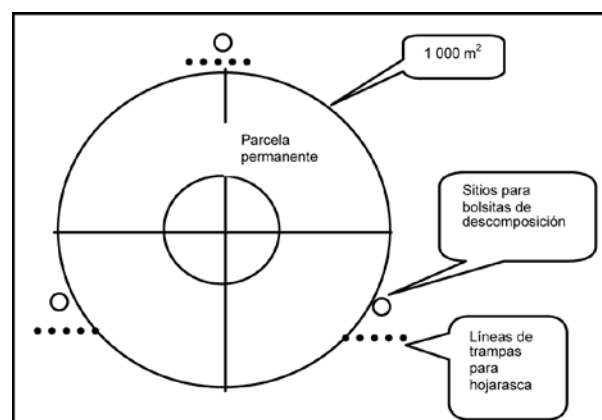


Figura 2. Sitios de monitoreo de hojarasca y de descomposición en cada parcela permanente.

Figure 2. Monitoring and litter decomposition sites in each permanent plot.

Litter traps consisted of a circular section of 1.0 m² area prepared in a thin mesh fabric 0.5 mm in order to recover smaller plant organs and allowing, in turn, the effective evacuation of rain water, 80 cm above the ground surface. The data acquisition frequency was biweekly for ten months, during which the material was collected from the five traps (one replication) to form a compound sample. The sampling period was from October 2008 to September 2009. Later, back of the field, separated the various components of the litter: a) leaves, b) seeds, flowers and fruits and c) bark and branches up to 5 cm in diameter. Collections were taken to the Soil Laboratory of the College of the Southern Border (Ecosur) to dry for 72 hours at 70 °C in an Instrumenta S-2 oven, then dry weight was obtained according to the method of Brown and Lugo (1990).

de 20 x 20 cm. En cada una de ellas se colocaron 10 g de hojas secas de las seis especies más representativas del acahual (*Tabebuia rosea* (Bertol) DC., *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb., *Salix bonplandiana* Kunth, *Cecropia peltata* L., *Heliocarpus appendiculatus* Turcz. y *Mastichodendron capiri* Cron.), las cuales fueron recolectadas directamente de los árboles y no de del suelo puesto que se desconoce el momento en que habían caído, como lo recomiendan Montagnini *et al.* (1991); se llevaron a secar al laboratorio de suelos de Ecosur en una estufa Instrumenta S-2 durante 72 horas a 70 °C. El material foliar reunido fue mezclado para homogeneizarlo y luego se llenaron las bolsitas de descomposición. Se estableció una línea de bolsitas de hojarasca en cada sitio; en el cual cada línea sostenía 36 bolsitas atadas, y durante cada toma de muestra se retiraron 3 de ellas para hacer una muestra compuesta; se realizaron tres muestreos cada semana, tres cada 10 días, tres cada 15 días, finalmente tres cada mes, aproximadamente. El periodo de muestreo fue de septiembre de 2008 a abril de 2009.

Las bolsas de descomposición son típicamente llenadas con material de una sola especie, pero cuando se quiere realizar un experimento más cercano a la realidad, las bolsas de descomposición deben ser hechas con una mezcla proporcionalmente representativa de las especies que existan (Karberg *et al.*, 2008; Hector *et al.*, 2000); debido a esta recomendación, en el presente trabajo se mezclaron las seis especies más representativas características del área.

El tamaño y contenido de las bolsas de descomposición son componentes importantes para estudios de descomposición (Bocock, 1960); por ello, se utilizó el tamaño de 20 x 20 cm, recomendado por Robertson y Paul (1999).

Para el cálculo de la tasa de descomposición se empleó la ecuación de Olser (1963):

$$k = \frac{-\ln(X/X_0)}{t}$$

Donde:

k = Constante de descomposición

X = Peso de la hojarasca en un tiempo dado

X_0 = Peso inicial de la hojarasca en el tiempo cero

t = Tiempo expresado en días

Los datos se sometieron a un análisis de intervalos medios de Z (Kruskal y Wallis, 1952), para determinar diferencias significativas en la descomposición de hojarasca entre sitios. Asimismo, se hicieron gráficas de tendencia con la curva de regresión lineal para observar la tendencia de la descomposición. Finalmente basados en la fórmula de Olsen (1963) se determinaron el tiempo que se necesita para descomponer 50 % y 99 % de la hojarasca.

The data were subjected to nonparametric analysis intervals by means of the Z test (Kruskal and Wallis, 1952) to determine significant differences in litter production between plots.

For a total of 432 decomposition bags, the Bocock (1960) method was used. Mosquito nets (20 x 20 cm) were made with 2 mm mesh. In each of them were placed 10 g of dried leaves of six species representing acahual (*Tabebuia rosea* (Bertol) DC., *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb., *Salix bonplandiana* Kunth, *Cecropia peltata* L., *Heliocarpus appendiculatus* Turcz. y *Mastichodendron capiri* Cron.), which were collected directly from the trees, not from the ground since it is uncertain the time when they had fallen, as recommended by Montagnini *et al.* (1991); this samples were taken to the Soil Laboratory to dry in an Instrumenta S-2 oven for 72 hours at 70 °C. The collected leaf material was mixed to be homogenized and then was used to fill the decomposition bags. A line of bags of litter at each site were established, in which each line held 36 tied bags, and during each sampling three of them were removed to make a composite sample; three samples were made each week, three every 10 days, three every 15 days and, finally, three every month or so. The sampling period was from September 2008 to April 2009.

Decomposition bags are typically filled with material from a single species, but when an experiment closer to reality must be performed, decomposition bags must be made with a mixture proportionally representative of the species that exist (Karberg *et al.*, 2008; Hector *et al.*, 2000), because of this recommendation, in the present work the six most representative species of the area were mixed.

The size and content of litterbags are important components for decomposition studies (Bocock, 1960); as a result, the study considered the 20 x 20 cm size as recommended by Robertson and Paul (1999).

To calculate the decomposition rate, Olsen's (1963) equation was used:

$$k = \frac{-\ln(X/X_0)}{t}$$

Where:

k = Decomposition constant

X = Weight of litter at a given time

X_0 = Initial weight of litter at time zero

t = Time in days

Data were subjected to analysis of media ranges Z (Kruskal and Wallis, 1952) to determine significant differences in leaf decomposition between sites. Similarly, trend graphs were made with the linear regression curve to observe the tendency of decomposition. Finally, based on the formula of Olsen (1963)

RESULTADOS

Los resultados de la producción de hojarasca total (Cuadro 1), que incluyen hojas, ramas y flores y frutos en los 20 muestreos realizados a lo largo del año, se observó que no hay diferencias estadísticas entre las parcelas 2, 3 y 4 que corresponden a los acahuales de mayor edad, pero la parcela 1, en el acahual más joven, sí resultó diferente, con una acumulación mayor.

El componente "hojas" contribuyó con 64.9 % a 78.4 % de toda la producción de hojarasca. El de "ramas" fue el segundo en hacer una aportación, con valores entre 12.3 % y 26.7 %; en tanto que, el de "flores y frutos" fue el que proporcionalmente contribuyó con menos en la acumulación de hojarasca (6.9 % a 11.5 %) (Figura 3).

Asimismo, en todas las parcelas se registró una captura máxima en los muestreos del 11 al 15 correspondientes a los meses de marzo a mayo, que es el periodo de secas para la región.

the time required to decompose 50 % and 99 % of the litter were determined.

RESULTS

The results of the total litter production (Table 1), considering leaves, branches and flowers and fruits in the 20 samples taken throughout the year, no statistical differences were found between plots 2, 3 and 4, which corresponds to the older acahuales, but plot 1 where the youngest *acahual* is, was different, with a higher amount.

The "leaves" component contributed with 64.9 % to 78.4 % of the total litter production. "Branches" was the second component to make a contribution, with values between 12.3 % and 26.7 %, while that of "flowers and fruits" contributed proportionately less in the accumulation of litter (6.9 % to 11.5 %) (Figure 3).

Cuadro 1. Componentes de la producción de hojarasca (total, hojas, ramas y flores y frutos) por parcela, totales y por muestreo.
Table 1. Components of litter production (total, leaves, branches and flowers and fruits) per plot, total and by sampling.

Sitio	Muestreos (peso seco en g m ⁻²)																				Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
PARC 1T	19.7	13.9	15.0	16.3	25.8	11.0	22.0	10.3	14.4	15.0	33.1	67.9	107.7	18.3	26.1	16.2	13.1	13.3	16.5	29.7	505.3 a
PARC 1H	11.7	11.6	10.5	9.3	13.1	8.0	16.7	5.9	8.3	12.7	17.1	40.8	64.9	15.5	21.3	13.3	10.5	10.8	14.5	25.7	342.2
PARC 1R	6.9	1.4	2.8	5.1	11.2	1.5	3.9	1.1	4.6	1.6	13.2	20.3	41.1	1.6	2.7	1.9	1.8	1.3	1.1	3.1	128.3
PARC 1F	1.1	0.9	1.7	1.9	1.5	1.5	1.4	3.3	1.5	0.7	2.9	2.8	1.7	1.2	2.1	1.1	0.7	1.1	0.9	0.9	34.6
PARC 2T	11.4	7.9	12.4	17.9	9.1	8.9	19.3	14.1	14.6	13.8	33.5	30.1	47.7	22.7	31.1	15.5	10.5	8.1	9.6	15.9	354.0 b
PARC 2H	6.9	5.8	5.9	8.3	6.3	5.4	9.9	7.1	7.5	11.3	13.7	20.1	36.8	16.0	24.5	12.5	7.0	6.1	7.9	10.8	229.8
PARC 2R	4.3	1.3	5.5	8.7	2.1	1.7	8.0	5.7	5.7	2.1	17.4	7.3	8.9	4.3	2.7	1.9	2.5	0.9	1.1	2.6	94.6
PARC 2F	0.3	0.8	1.0	0.9	0.7	1.7	1.4	1.3	1.3	0.5	2.4	2.8	2.1	2.4	3.9	1.1	1.0	1.1	0.5	2.5	29.6
PARC 3T	9.5	6.9	13.3	14.7	13.5	8.7	12.9	10.3	12.1	16.9	32.5	38.0	58.0	29.9	28.7	15.8	10.5	11.8	13.5	29.1	386.6 b
PARC 3H	6.2	6.3	7.6	9.8	10.1	5.6	8.7	7.5	7.8	14.3	15.3	21.5	40.2	20.8	23.1	12.2	7.3	8.7	11.7	18.9	263.6
PARC 3R	3.2	0.2	4.5	3.7	2.5	2.1	3.1	2.1	2.7	1.7	12.9	9.1	10.2	3.1	2.5	2.6	2.4	1.7	0.9	7.1	78.6
PARC 3F	0.1	0.4	1.2	1.1	0.9	0.9	1.1	0.7	1.6	0.9	4.3	7.4	7.6	6.1	3.0	1.0	0.7	1.3	0.9	3.1	44.3
PARC 4T	4.7	6.2	10.6	10.5	8.4	6.5	10.7	8.5	14.2	10.9	24.9	23.1	41.0	41.1	30.3	27.7	16.4	12.5	9.5	22.9	340.5 b
PARC 4H	4.1	5.6	7.5	7.8	7.1	5.5	9.3	6.4	9.6	9.8	12.7	15.8	37.3	36.7	25.7	24.2	12.9	10.4	6.9	11.7	266.9
PARC 4R	0.5	0.4	2.9	2.1	0.9	0.3	0.9	0.7	1.7	0.8	10.3	4.5	1.9	2.1	1.9	2.3	0.7	0.6	1.2	5.2	41.8
PARC 4F	0.1	0.2	0.2	0.6	0.4	0.7	0.5	1.3	2.9	0.3	1.9	2.8	1.8	2.3	2.7	1.1	2.8	1.5	1.4	6.0	31.7

PARC 1 = Parcela 1 (Acahual de 5-6 años); PARC2 = Parcela 2 (Acahual de 14 años); PARC 3 = Parcela 3 (Acahual de 18 años); PARC 4 = Parcela 4 (Acahual de >20 años); T = total; H = hojas; R = ramas; F = flores y frutos. Las letras diferentes en el total de hojarasca indican diferencias estadísticas significativas ($P \geq 0.05$) mediante la prueba de intervalos medios de Z (Kruskal y Wallis, 1952).

Sitio = sitio; Muestreos (peso seco en g m⁻²) = Samplings (dry weight g m⁻²)

PARC 1 = Plot 1 (Acahual 5-6 years); PARC2 = Plot 2 (Acahual of 14 years); PARC 3 = Plot 3 (Acahual of 18 years); PARC 4 = Plot 4 (Acahual of > 20 years); T = Total; H = leaves; R = branches; F = flowers and fruits. Different letters in total litter indicate statistically significant differences ($P \geq 0.05$) by means of the Z intervals test (Kruskal and Wallis, 1952).

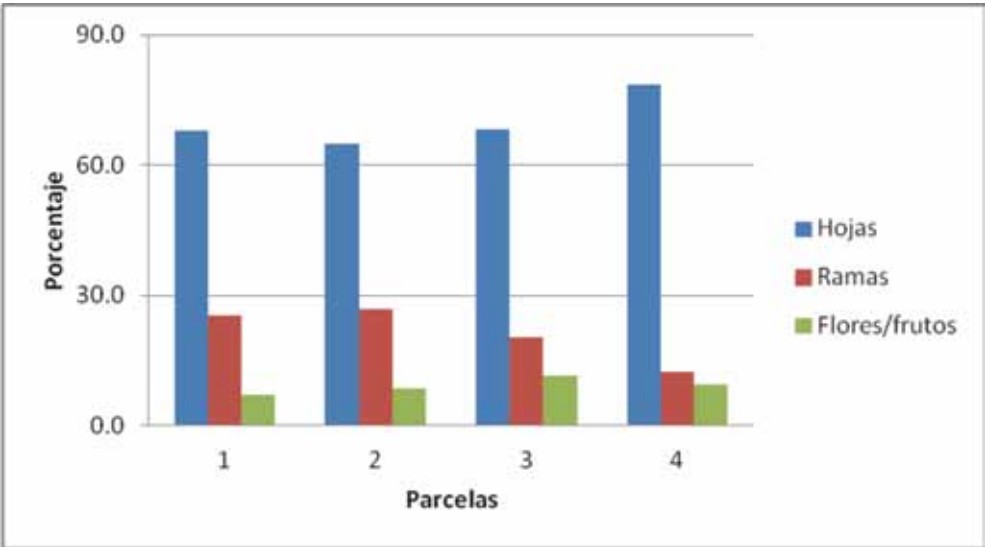


Figura 3. Composición de la hojarasca para las cuatro parcelas.
Figure 3. Composition of litter for the four plots.

En términos generales los resultados de la descomposición de la hojarasca (Figura 4) indican que, al inicio del proceso se dio una primera fase (de los 8 a los 61 días) que es similar en todas las parcelas, y posteriormente se verificó una diferenciación por tipo de parcela (de los 75 a los 223 días).

Esta diferenciación en el proceso de descomposición se percibe con el valor de “k”; con este coeficiente de descomposición (Cuadro 2) se pudo calcular el tiempo necesario para obtener 50% y 99% de la descomposición, lo que reveló que el acahual más maduro (parcela 4) fue el que mostró la mayor tasa y que fue el estadísticamente diferente al resto de las parcelas de acuerdo a la prueba de Kruskal y Wallis (1952).

Also, all plots showed a maximum catch in the sampling from day 11th to day 15th for the months of March to May, which is the dry period for the region.

Overall the results of litter decomposition (Figure 4) indicate that, at the beginning of the process occurred a first phase (8 to 61 days) which is similar in all plots, and subsequently a differentiation by type of plot took place (from 75 to 223 days).

This differentiation in the decomposition process is perceived with the value of “k”; with this decay coefficient (Table 2) it was possible to calculate the time required to obtain 50 % and 99 % of decomposition, which revealed that eldest *acahual* (plot 4)

Cuadro 2. Descomposición de las muestras en acahuals de diferentes edades durante el estudio así como el valor de la constante de descomposición y la estimación del tiempo necesario para una descomposición al 50 y 99%.

Table 2. Decomposing acahuals samples of different ages during the study as well as the value of the decay constant and the estimated time required for decomposition of 50 and 99%.

Sitio	Muestreo (peso seco en gr·m ⁻¹)													% de descomposición		
	(días después de enterradas -DDE-)													k	t ₅₀	t ₉₉
	0	8	15	22	30	40	50	61	76	91	132	163	223			
PARC 1	300	26.3	22.0	20.7	19.7	19.3	15.3	15.0	11.0	11.0	10.3	9.3	7.0	-0.00656	105.7 ^b	702.3 ^b
PARC 2	300	24.0	22.3	21.3	21.3	19.3	17.3	14.0	10.7	9.0	9.3	9.0	6.3	-0.00706	98.2 ^b	652.3 ^b
PARC 3	300	25.7	22.7	21.3	20.3	18.0	16.3	14.3	9.0	8.7	6.0	7.0	5.7	-0.00759	91.3 ^b	606.5 ^b
PARC 4	300	25.0	24.0	22.0	20.0	19.7	16.7	14.3	11.7	9.7	10.0	8.0	4.0	-0.00913	75.9 ^a	504.3 ^a

PARC 1 = Parcela 1 (Acahual de 5-6 años); PARC 2 = Parcela 2 (Acahual de 14 años); PARC 3 = Parcela 3 (Acahual de 18 años); PARC 4 = Parcela 4 (Acahual de >20 años). Las letras diferentes en el total de hojarasca indican diferencias estadísticas significativas ($P \geq 0.05$) mediante la prueba de intervalos medios de Z (Kruskal y Wallis, 1952).

Sitio = Sitio; Muestreo (peso seco en gr·m⁻¹) = Sampling (dry weight in gr·m⁻¹); (días después de enterradas -DDE-) = (days after buried -DDE-); % de descomposición = decomposition % PARC 1 = Plot 1 (Acahual 5-6 years); PARC2 = Plot 2 (Acahual of 14 years); PARC 3 = Plot 3 (Acahual of 18 years); PARC 4 = Plot 4 (Acahual of > 20 years). Different letters in total litter indicate statistically significant differences ($P \geq 0.05$) by means of the Z intervals test (Kruskal and Wallis, 1952).

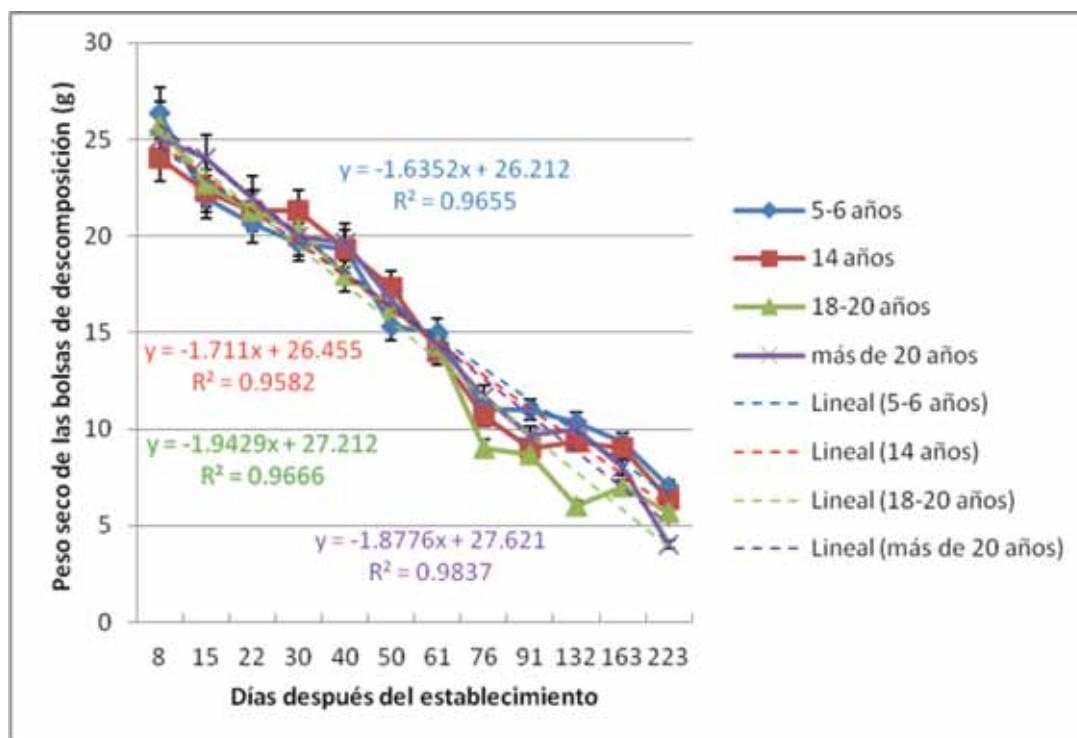


Figura 4. Descomposición de hojarasca para las cuatro edades de acahuals.

Figure 4. Decomposition of litter for the four ages of *acahuals*.

DISCUSIÓN

Producción de hojarasca

El estudio descrito evidenció que la producción de hojarasca fue mayor en la parcela con el acahual más joven, con resultados de $5\,053.1\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, que corresponde a porcentajes de 30 a 48 %, superiores a las otras parcelas de acahuals de mayor edad. Estos resultados son similares a los de Villavicencio (2012), quien refirió medias similares de producción de hojarasca en otros bosques tropicales, lo cual está asociado a la etapa de crecimiento del arbolado. Al comparar un bosque en pleno crecimiento con un bosque maduro, Wang (2007) concluyó que la caída de hojarasca está estrechamente relacionada con el crecimiento y productividad del bosque forestal.

El componente de "hojas" fue preponderante en la producción de hojarasca en todas las parcelas con más de 64 % del total, lo cual concuerda con Yang *et al.* (2001) quienes determinaron que el follaje constituye más de 70 % de la caída de la hojarasca de los árboles.

La mayor deposición de hojas ocurrió a la mitad del periodo de los muestreos, que corresponde a los meses de marzo a mayo, que es el tiempo de secas en la región. En los ecosistemas con una estación de este tipo, clara o poco definida (como en las

was the one that showed the highest rate that was statistically different from the rest of the plots according to the Kruskal and Wallis (1952) test.

DISCUSSION

Litter production

The study described here showed that litter production was higher in the plot with the younger *acahual* with $5\,053.1\text{ kg ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$, corresponding to 30 to 48 % higher than those of older *acahuals*. These results are similar to those reported by Villavicencio (2012), who showed similar mean litter production in other tropical forests, which is associated with the stage of tree growth. When comparing a forest growing in a mature forest, Wang (2007) concluded that litterfall is closely related to forest growth and forest productivity.

The component of "leaves" was predominant in litter production in all the plots with more than 64 % of the total, which is consistent with Yang *et al.* (2001) who determined that the foliage makes-up more than 70 % of the litter that falls from the trees.

Most deposition leaves was half of the samples corresponding to the months of March to May, the dry period in the region.

selvas tropicales), la caída de hojarasca se maximiza durante ese período (Golley, 1983; Álvarez-Sánchez y Guevara, 1993), condición que coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Descomposición de hojarasca

Aparentemente, la descomposición de la hojarasca fue muy similar en las cuatro parcelas (Figura 4), como lo señalaron Mo *et al.* (2006); no se registraron diferencias significativas en los intervalos de descomposición entre bosques rehabilitados y bosques con disturbio. Sin embargo, en este estudio (Cuadro 2) la descomposición de la hojarasca sí fue significativamente más rápida (20 % a 39 %) en el acahual más maduro (75.9 días para descomponer 50 % de la materia y de 504.3 días para 99 %) en comparación con los otros acahuales. Valores similares fueron consignados por Xuluc-Tolosa *et al.* (2003) en un bosque tropical seco secundario de México, y por Loranger *et al.* (2002) en selvas tropicales semipermanentes.

Se verificaron dos momentos de una rápida descomposición, los cuales pueden explicarse en primer lugar, porque la macrofauna y la flora del sitio causaron la descomposición inicial y, en segundo, a la acción de la microfauna local (Villavicencio, 2012). Esto indica un proceso de descomposición supuestamente dividido en dos fases controladas por diferentes factores: una inicial con un ritmo más rápido en la tasa, seguida de una fase con tasas más lentas; dichos resultados son congruentes con los datos a conocer por otros autores (Loranger *et al.*, 2002; Swift *et al.*, 1989; Xuluc-Tolosa *et al.*, 2003). La primera fase se relaciona con las concentraciones de los compuestos solubles en agua, así como con la fragmentación realizada por los microorganismos e insectos pequeños. Las tasas de descomposición de la segunda fase están más influidas por el contenido de lignina de la hojarasca, lo que demora el proceso e impacta al suelo y a la hojarasca de los alrededores.

Estos resultados sugieren que el estado sucesional y la mezcla de especies tienen una repercusión importante en la descomposición de la hojarasca, lo que es congruente con los datos de Brown y Lugo (1990).

CONCLUSIONES

La edad de los acahuales es un factor importante para la producción y la tasa de descomposición de la hojarasca. La mayor producción ocurre en el periodo de secas, y el acahual más joven presentó una mayor caída del material foliar; las hojas son el componente que contribuye con la mayor aportación para este proceso, al que sigue el de ramas y por último el de flores y frutos. Las tasas de descomposición mostraron mayor velocidad en el acahual más maduro y menor en el acahual más joven, lo que ocasiona una mayor acumulación de hojarasca en el suelo.

In ecosystems with a station is either little or defined (as in the rainforests), litter fall is maximized during that period (Golley, 1983; Álvarez - Sánchez and Guevara, 1993), a condition that matches the results obtained in the present study.

Decomposition of litter

Apparently, litter decomposition was similar in the four plots (Figure 4), as noted by Mo *et al.* (2006); there were no significant differences in decomposition intervals between rehabilitated forests and disturbed forests. However, in this study (Table 2) litter decomposition was significantly faster (20 % to 39 %) in the more mature acahual (75.9 days to decompose 50 % of matter and of 504.3 days to accomplish 99 %) compared with other acahuales. Similar values were recorded by Xuluc - Tolosa *et al.* (2003) in a secondary dry tropical forest of Mexico, and by Loranger *et al.* (2002) in semi-evergreen rainforests.

Two moments recorded rapid decomposition, which can be explained, first by the fact that the macrofauna and flora of the site caused the initial decomposition and, secondly, to the action of the local microfauna (Villavicencio, 2012). This means a decomposition process divided into two phases supposedly controlled by different factors: an initial one with a faster rhythm in the rate, followed by a phase with slower rates; these results are consistent with those disclosed by other authors (Loranger *et al.*, 2002; Swift *et al.*, 1989; Xuluc-Tolosa *et al.*, 2003). The first phase is associated with the concentrations of water-soluble compounds, as well as with fragmentation by microorganisms and small insects. Decomposition rates of the second phase are more influenced by the lignin content of litter, delaying thus the process and impacts to soil and leaf litter around

These results suggest that the successional state and the mix of species have a significant impact on litter decomposition, which agrees with the data of Brown and Lugo (1990).

CONCLUSIONS

The age of an *acahual* is an important factor for the production and rate of litter decomposition. The highest production occurs in the dry period, and the younger *acahual* had a greater amount of leaves dropped; leaves are the component that make the greatest contribution to this process, followed by branches and finally by flowers and fruits. Decomposition rates showed the highest speed in the eldest *acahual* and the lowest in the younger one, leading to greater accumulation of litter on the ground.



AGRADECIMIENTOS

Los autores desean manifestar su agradecimiento a Conacyt y a Ecosur por haber otorgado el financiamiento para la realización de este proyecto.

REFERENCIAS

- Aerts, R. 1997. Climate leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos* 79: 439-449.
- Álvarez-Sánchez, J. and S. Guevara. 1993. Litterfall dynamics in a Mexican lowland tropical rain forest. *Trop. Ecol.* 34: 127-142.
- Bocock, K. L., O. J. Gilbert, C. K. Capstick, D. C. Turner, J. S. Ward and M. J. Woodman. 1960. Changes in leaf litter when placed on the surface of soil with contrasting humus types. *J. Soil Sci.* 11: 1-9.
- Brown, S. and A. E. Lugo. 1990. Tropical secondary forests. *J. Trop. Ecol.* 6: 1-32.
- Bosco, J. L., J. A. Blanco y F. J. Castillo. 2004. Gestión forestal y ciclos de nutrientes en el marco del cambio global. In: Valladares, F. (ed.) *Ecología de bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio del Medio Ambiente. Madrid, España. pp. 479-506.
- Clark, D. A., S. Brown, D. W. Kicklighter, J. D. Chambers, J. R. Thomlinson and J. Ni. 2001. Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. *Ecological Applications* 11 (2):356-370.
- Del Valle-Arango, J. I. 2003. Descomposición de la hojarasca fina en bosques pantanosos del Pacífico Colombiano. *Interciencia* 28(3): 148-153.
- Gaudinski, J., S. Trumbore, E. Davidson and S. Zheng. 2000. Soil carbon cycling in a temperate forest: radiocarbon-based estimates of residence times, sequestration rates and partitioning of fluxes. *Biogeochemistry* 51: 33-69.
- Golley, F. 1983. Decomposition. In: F. Golley (ed.) *Tropical Rain Forest Ecosystems*. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam, Netherlands. pp. 157-166.
- Hector, A., A. J. Beale, A. Minns, S. J. Otway and J. H. Lawton. 2000. Consequences of the reduction of plant diversity for litter decomposition: effects through litter quality and microenvironment. *Oikos* 90:357-371.
- Hernández I, M., I. Santa R. y J. F. Gallardo. 1992. Dinámica de la descomposición de la hojarasca forestal en bosques de la Cuenca de Duero (provincia de Zamora): modelización de la pérdida de peso. *Arid Soil Res. Rehab.* 6:339-355.
- Karberg, N. J., N. A. Scott and C. P. Giardina. 2008. Methods for estimating litter decomposition. In: Hoover, C. M. (ed.) *Field measurements for forest carbon monitoring*. Springer Science-Business Media B. V. New York, NY, USA. Chapter 8: 103-111.
- Kruskal, W. H. and W. A. Wallis. 1952. Use of ranks in one criterion analysis of variance. *J. Am. Stat. Assoc.* 47 (260): 583-621.
- Lambers, H., F. S. Chapin III and T. L. Pons. 1998. *Physiological plant ecology*. Springer-Verlag. Berlin, Germany. 540 p.
- Landsberg, J. J. and S. T. Gower. 1997. *Applications of physiological ecology to forest management*. Academic Press Co. New York, NY, USA. 345 p.
- Loranger, G., J. F. Ponge, D. Imbert and P. Lavelle. 2002. Leaf decomposition in two semi-evergreen tropical forests: influence of litter quality. *Biol. Fertil. Soils* 35: 247-252.
- MacLean, D. A. and R. W. Wein. 1978. Weight loss and nutrient changes in decomposing litter and forest floor material in New Brunswick forest stands. *Can. J. Bot.* 56:2730-2749.
- Martínez-Yrizar, A. 1995. Biomass distribution and primary productivity of tropical dry forests. In: Bullock, S. H., H. A. Mooney and E. Medina. (eds.). *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. pp. 326-345.
- Mo, J., S. Brown, J. Xue, Fang, Y. and Z. Li. 2006. Response of litter decomposition to simulated N deposition in disturbed, rehabilitated and mature forests in subtropical China. *Plant and Soil* 282: 135-151.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to express their gratitude to Conacyt and Ecosur for awarding the necessary funding for this project.

End of the English version



- Montagnini, F., F. Sancho, K. Ramstad and E. Stijfhooorn. 1991. Multipurpose trees for soil restoration in the humid lowlands of Costa Rica. In: Taylor, D. A. and K. G. Dicken (eds.). *Research on multipurpose trees in Asia*. Winrock International Institute for Agricultural Development. Bangkok, Thailand. pp. 41-58.
- Rai, S. N. and J. Proctor. 1986. Ecological studies on four rainforests in Karnataka, India. Part II. Litterfall. *J. Ecol.* Vol. 74: 455-463.
- Robertson, G. P. and E. A. Paul. 1999. Decomposition and soil organic matter dynamics. In: Sala, O. E., R. B. Jackson, H. A. Mooney and R. W. Howarth (eds.). *Methods of ecosystem science*. Springer-Verlag. New York, NY, USA. pp. 104-116.
- Reyes-Carrera, S. A., J. Méndez-González, J. Nájera-Luna A. y J. Cerano-Paredes. 2012. Producción de hojarasca en un rodal de *Pinus cembroides* Zucc. en Arteaga, Coahuila, México y su relación con las variables climáticas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19(1): 147-155.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2001. Programa de manejo Reserva de la Biosfera Selva el Ocote. Semarnat, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp) Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chis. México. 144 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2003. Diccionario de normatividad ambiental. Proyecto de cooperación de la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ) y Semarnat. México, D. F. México. 341 p.
- Sullivan, N. H., W. H. Bowden and W. H. McDowell. 1999. Short term disappearance of foliar litter in three species before and after a hurricane. *Biotropica* 31: 382-393.
- Swift, M. J., O. W. Heal and J. W. Anderson. 1989. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Blackwell Scientific. Oxford, UK. 372 p.
- Villavicencio E., L. 2012. Producción, pérdida de peso y tasas de descomposición de hojarasca en cafetales tradicional y rústico, y selva mediana, en Veracruz, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18 (2): 159-173.
- Vitousek, P. M. and R. L. Sanford. 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 17: 137-167.
- Wang, Q., S. Wang, B. Fan and X. Yu. 2007. Litter production, leaf litter decomposition and nutrient return in *Cunninghamia lanceolata* plantations in south China: effect of planting conifers with broadleaved species. *Plant Soil* 297:201-211.

- Xu, X., E. Hirata, T. Enoki and Y. Tokashiki. 2004. Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in a subtropical forest after typhoon disturbance. *Plant Ecol.* 173: 161-170.
- Yang, Y. S., J. S. Xie, Y. X. Chen and Z. M. He. 2001. Amount, composition and seasonal dynamics of litterfall in mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Tsoongi dendronodorum*. *Scien. Sil. Sin.* 37 (Special):30-34.

- Xuluc-Tolosa, F. J., H. F. M. Vester, N. Ramírez-Marcial, J. Castellanos-Albores and D. Lawrence. 2003. Leaf litter decomposition of tree species in three successional phases of tropical dry secondary forest in Campeche, Mexico. *For. Ecol. Manag.* 174: 401-412.
- Zhang, D. W., J. Bengtsson and G. I. Ågren. 1997. Soil food webs and ecosystem processes: decomposition in donor control and Lotka-Volterra systems. *Am. Nat.* 149: 125-148.

