



Artículo / Article

Producción de hojarasca y depósito potencial de nutrientes de las hojas en el Matorral Espinoso Tamaulipeco

Litter production and potential deposit of leaves nutrients in the Tamaulipan Thornscrub

Juan Manuel López Hernández¹, Humberto González Rodríguez¹,
Roque Gonzalo Ramírez Lozano², Jorge Ignacio del Valle Arango³, Israel Cantú Silva¹,
Marisela Pando Moreno¹, Andrés Eduardo Estrada Castellón¹ y Marco Vinicio Gómez Meza⁴.

Resumen

Se cuantificó la dinámica mensual (enero a diciembre) de la producción de hojarasca, así como el depósito de macro y microminerales de las hojas en tres sitios en el estado de Nuevo León, México. La producción total de hojarasca ($\text{g m}^{-2} \text{año}^{-1}$) fue de 408.0 (S1), 613.7 (S2) y 703.3 (S3), respectivamente. La mayor recepción correspondió a las hojas ($247.5 - 515.1 \text{ g m}^{-2} \text{año}^{-1}$) seguidas por la de ramas (76.7-107.0), las estructuras reproductivas (56.7-66.7) y por material vegetal no identificado, cuerpos y heces de insectos (18.0-36.2). El depósito anual de Ca varió de 4.6 a 14.5, K de 2.0 a 8.7, Mg de 0.9 a 3.4, N de 4.0 a 9.3 y P de 0.1 a 0.3 $\text{g m}^{-2} \text{año}^{-1}$. El Cu, de 0.9 a 4.9, Fe de 52.8 a 91.2, Mn de 9.5 a 18.1 y Zn de 5.9 a 9.2 $\text{mg m}^{-2} \text{año}^{-1}$. El uso eficiente de nutrientes no mostró una tendencia definida entre los sitios. Para N, P y K el patrón fue: S1 > S3 > S2, para Mg fue: S3 > S1 > S2 y Ca fue: S1 > S2 > S3. Aun cuando el P no mostró diferencias estadísticas entre sitios, su uso eficiente fue un poco mayor que el Ca, K, N o Mg. En general, el depósito de minerales fue más alto en el otoño e invierno. Hubo diferencias espaciales y temporales en cantidad, calidad y retorno potencial de los elementos en las hojas depositadas.

Palabras clave: Depósito de minerales de las hojas, hojarasca, estado de Nuevo León, Matorral Espinoso Tamaulipeco, noreste de México, uso eficiente de los nutrientes.

Abstract

In three states of *Nuevo León State, Mexico*, the monthly dynamics (January to December) of litterfall production, as well as the macro and micronutrients of the leaves, were quantified. The total litterfall production ($\text{g m}^{-2} \text{year}^{-1}$) was 408.0 (S1), 613.7 (S2) and 703.3 (S3), respectively. Leaves represented the highest component (from 247.5 to $515.1 \text{ g m}^{-2} \text{year}^{-1}$) followed by branches (76.7-107.0), reproductive structures (56.7-66.7) and unidentified material, bodies and insect feces (18.0-36.2). Annual deposition of Ca in the three sites varied from 4.6 to 14.5, K from 2.0 to 8.7, Mg from 0.9 to 3.4, N from 4.0 to 9.3 and P from 0.1 to 0.3 $\text{g m}^{-2} \text{year}^{-1}$. The Cu ranged from 0.9 to 4.9, Fe from 52.8 to 91.2, Mn from 9.5 to 18.1 and Zn from 5.9 to 9.2 $\text{mg m}^{-2} \text{year}^{-1}$. The efficiency on nutrient use did not show a clear tendency among sites. For N, P and K pattern was: S1 > S3 > S2, for Mg was: S3 > S1 > S2 and for Ca was: S1 > S2 > S3. Even though phosphorus showed no significant differences among sites, its use efficiency was relatively higher than Ca, K, N or Mg. In general, mineral deposition was higher during autumn and winter months than in other periods. There were space and temporal variations in litterfall deposition in terms of quantity, quality and potential nutrient return.

Key words: Leaf mineral deposition, litterfall, *Nuevo León State, Tamaulipan Thornscrub, northeastern Mexico*, efficient use of nutrients.

Fecha de recepción/date of receipt: 3 de octubre de 2014; Fecha de aceptación/date of acceptance: 31 de marzo de 2015.

¹ Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León.

² Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Correo-e: rramirezlozano@gmail.com

³ Departamento de Ciencias Forestal. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

⁴ Facultad de Economía. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Introducción

La materia vegetal que se acumula sobre el suelo y su descomposición tienen una participación importante en el mantenimiento de la productividad de los ecosistemas terrestres (Swamy *et al.*, 2004) al constituir el principal retorno de nutrientes al sustrato (Landsberg y Gower, 1997). Gran parte de la misma procede de la abscisión de hojas, ramas y estructuras reproductivas (Carnevale y Lewis, 2001). Una vez mineralizada libera bioelementos que las plantas reabsorben con lo que se contribuye al funcionamiento del ciclo biogeoquímico (Zamboni y Aceñolaza, 2004). Dicha liberación está determinada por las características morfológicas y fisiológicas de las especies, la variación anual de la composición de la hojarasca, sus propiedades físico-químicas y las condiciones ambientales, lo que define el tiempo de cesión de nutrientes (Aceñolaza *et al.*, 2006; Polyakova y Billor, 2007; Wang *et al.*, 2008). El estudio de los ciclos de nutrientes a través de la caída de hojarasca representa una valiosa aproximación hacia la comprensión de los ecosistemas forestales.

La tasa de descomposición del mantillo se calcula mediante la relación entre la cantidad de material que cae en el año con la acumulada en el suelo. De acuerdo con Poggiani y Schumacher (2004) y Pallardy (2008) la forma y velocidad de descomposición se vinculan, principalmente con el clima y, en esencia, con la proporción carbono/nitrógeno. En condiciones normales, las hojas verdes registran mayor tasa de descomposición que las senescentes en razón de su concentración inicial más elevada de N y de P, además los materiales con mayor lignificación son más resistentes a la descomposición (Reis y Barros, 1990). La tasa de mineralización del nitrógeno en el suelo forestal está correlacionada con la mineralización total del N (mantillo y suelo) y depende, de la calidad de la hojarasca (Stump y Binkley, 1993).

A diferencia de los bosques húmedos tropicales, donde la descomposición de los restos orgánicos es rápida, en los ecosistemas de climas semiáridos este proceso ocurre con mucha lentitud. Por lo mismo, en tales ambientes la dinámica de los aportes y la descomposición de los nutrientes adquieren especial relevancia en el funcionamiento y estabilidad de esos ecosistemas, especialmente cuando son objeto de intervenciones antropogénicas que remueven parte de su biomasa (Kim *et al.*, 1996). El tipo de vegetación denominado Matorral Espinoso Tamaulipeco está constituido, en su gran mayoría, por especies caducifolias que pierden sus hojas en periodos de sequía y algunas perennifolias (Northup *et al.*, 1996); se distinguen por tener una amplia diversidad taxonómica, una intensa dinámica de crecimiento, variedad en su desarrollo fenológico y longevidad foliar (González *et al.*, 2011).

Introduction

The plant matter that accumulates on the floor and its decomposition play an important role in maintaining the productivity of terrestrial ecosystems (Swamy *et al.*, 2004), as it is the main return of nutrients to the forest floor (Landsberg and Gower, 1997). Much of the material that decomposes in the soil comes from the organic remains that are deposited on it after abscission of leaves, twigs and other plant reproductive structures that make up the litter (Carnevale and Lewis, 2001). Once the organic matter is mineralized, the released bioelements can be reabsorbed by plants, so that this contributes to the biogeochemical cycle (Zamboni and Aceñolaza, 2004). This release of nutrients is determined by morphological and physiological characteristics of species, the annual change in the composition of the leaves, their physicochemical properties and environmental conditions, which defines the time of transfer of nutrients in each forest ecosystem (Aceñolaza *et al.*, 2006; Polyakova and Billor, 2007; Wang *et al.*, 2008).

The rate of decomposition of the mulch is calculated by the ratio of the annually falling amount against that accumulated on the soil. According to Poggiani and Schumacher (2004) and Pallardy (2008) the form and speed of decomposition are linked mainly to climate and, essentially, with the ratio of carbon / nitrogen, which resembles the microorganisms that carry out this process. Normally, green leaves record the highest decomposition rate than senescent leaves because of their higher initial concentration of N and P and that more woody materials are more resistant to decay (Reis and Barros, 1990). The rate of nitrogen mineralization in the forest floor is correlated with total mineralization of N (mulch and soil) and also depends on the quality of litter (Stump and Binkley, 1993).

Unlike tropical rainforests, where the decomposition of organic waste is fast, in semiarid climates ecosystems this process occurs very slowly. Therefore, in such environments the dynamics of the contributions and the breakdown of nutrients are particularly important in the functioning and stability of these ecosystems, especially when they are the subject of anthropogenic interventions that remove part of their biomass (Kim *et al.*, 1996). The type of vegetation, called Tamaulipan Thornscrub, constituted mostly by deciduous species and some evergreen that lose their leaves during periods of drought (Northup *et al.*, 1996), they are distinguished by a wide taxonomic diversity, intense dynamics growth, a variety of phenological development and leaf longevity (González *et al.*, 2011).



La biomasa arbustiva constituye una importante fuente forrajera, energética, de estantería, para construcciones rurales, alimentaria, medicinal, entre otros beneficios (Reid *et al.*, 1990). A pesar de la diversidad de estudios ecológicos y biológicos realizados en el Matorral Espinoso Tamaulipeco del noreste de México, y en particular en el estado de Nuevo León, no se ha documentado, en todo el ecosistema, el depósito y el uso eficiente de minerales de la hojarasca. Por lo tanto, la hipótesis que se planteó en el presente estudio fue que los constituyentes, i.e., hojas, ramas, estructuras reproductivas y otros componentes del Matorral Espinoso Tamaulipeco presentan diferencias en su producción y en el depósito de nutrientes por vía foliar. Los objetivos de este trabajo fueron cuantificar mensualmente, durante un año, las fluctuaciones de la producción de hojarasca, el depósito de macro (Ca, K, Mg, N y P) y microminerales (Cu, Fe, Mn y Zn) de la hojarasca y el uso eficiente de nutrientes en tres sitios del noreste de México.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en tres sitios en el estado de Nuevo León, México, dentro del Matorral Espinoso Tamaulipeco y sin disturbios recientes aparentes. El sitio 1 (S1) se localiza en el municipio China (25°31' N, 99°16' O) a 200 msnm. El sitio 2 (S2), en el municipio Los Ramones (25°40' N, 99°27' O) a la misma altitud. El sitio 3 (S3), en el Campus Experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León (24°47' N, 99°32' O), a 350 msnm, al sur del municipio Linares. Las distancias entre ellos son: del S1 al S2, 54 km aproximadamente; del S2 al S3, 131 km y del S1 al S3, 154 km.

El clima de la región es subtropical y semiárido con verano cálido, con lluvias predominantes de verano entre abril y noviembre, pero son usuales las sequías intraestivales. Temperaturas máximas de hasta 45 °C durante el verano, y promedio anual de 14.7 °C a 22.3 °C; la precipitación promedio anual es de 805 mm con una distribución bimodal (González *et al.*, 2004).

Los suelos dominantes son Vertisoles profundos, de color café oscuro, limo-arcillosos, con montmorillonita; se contraen y expanden notablemente en respuesta a los cambios en el contenido de humedad. Las propiedades físicas y químicas del suelo a una profundidad de 0-20 cm para los tres sitios fueron previamente registrados por López *et al.* (2013).

Shrub biomass is an important forage, energy source, shelving, rural, food, medical buildings, among other benefits (Reid *et al.*, 1990). Despite the diversity of ecological and biological studies in the Tamaulipan Thornscrub in northeastern Mexico, particularly in the state of Nuevo León, the deposit and the efficient use of litter minerals has not been documented in any ecosystem. Therefore, the hypothesis raised in this study was that the constituents of the litter (leaves, branches, reproductive structures and other components) of the Tamaulipan Thornscrub differ in their production and deposition of nutrients through the leaves. The objectives of this study were to quantify monthly, for one year, the fluctuations in litter production, deposition of macro (Ca, K, Mg, N and P) and trace minerals (Cu, Fe, Mn and Zn) of the litter and the efficient use of nutrients in three sites in northeastern Mexico.

Materials and Methods

Study area

The study was conducted at three sites in the state of Nuevo León, Mexico, into the Tamaulipan Thornscrub without apparent recent disturb. Site 1 (S1) is located in China municipality (25°31' N, 99°16' W) at 200 m asl. Site 2 (S2), in Los Ramones municipality (25°40' N, 99°27' W) at the same altitude. Site 3 (S3) is located in the Experimental Campus of the Faculty of Forestry (Facultad de Ciencias Forestales) of the Universidad Autónoma de Nuevo León (24°47' N, 99°32' W), 350 m asl, south of the town of Linares. The distances between them are: S1 to S2, approximately 54 km; S2 to S3, 131 km and S1 to S3, 154 km.

The climate in the region is subtropical and semi-arid with hot summer, with predominantly summer rains between April and November, but there are usual intrasummer droughts. Maximum temperatures up to 45 °C during the summer, and annual average between 14.7 °C and 22.3 °C; the annual average rainfall is 805 mm with a bimodal distribution (González *et al.*, 2004).

The dominant soils of these three sites are Vertisols which are deep, dark brown, silty clay with montmorillonite, which contract and expand significantly in response to changes in the moisture content of the soil. Its physical and chemical properties to a depth of 0-20 cm for three study sites were previously reported by López *et al.* (2013).



Vegetación del área de estudio

El principal tipo de vegetación en los tres sitios se caracteriza por ser una formación arbustiva y subarbórea, con elementos florísticos dominantes de 4 a 6 m de alto, perennes, espinosos en su mayoría, con hojas pequeñas y caducifolias. Las especies más representativas son: *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst., *Ebenopsis ebano* (Berland.) Barneby & J.W. Grimes, *Acacia amentacea* DC., *Castela erecta* Turpin subsp. *texana* (Torr. et A. Gray) Cronquist, *Celtis pallida* Torr., *Parkinsonia texana* var. *macra* (I.M. Johnst.) Isely, *Forestiera angustifolia* Torr., *Cordia boissieri* A. DC., *Leucophyllum frutescens* (Berland.) I. M. Johnst., *Guaiacum angustifolium* Engelm., *Cylindropuntialeptocaulis* (DC.) F. M. Kunth, *Opuntia* spp., *Zanthoxylum fagara* Sarg., *Bumelia celastrina* Kunth, *Helietta parvifolia* (A. Gray ex Hemsl.) Benth., entre las que destaca la palma china (*Yucca filifera* Chabaud). Las caducifolias pierden sus hojas en otoño o a inicios del invierno, mientras que la caída de hojas de las perennifolias ocurre de manera constante a lo largo de todo el año, aunque la mayor abscisión de hojas se verifica en la época estival (verano-otoño) (Moro, 1992). La descripción florística de los sitios de interés se basó en la contribución de Domínguez *et al.* (2013).

Recolecta de hojarasca

En cada sitio, de 2 500 m² aproximadamente, se establecieron diez recolectores de hojarasca (1.0 m²) al azar, que se construyeron con un marco de madera biselado cuyo fondo se cubrió con malla plástica fina (1 mm) para evitar la acumulación de agua en los periodos de lluvia. Cada trampa fue colocada a 0.50 m sobre el nivel del suelo para interceptar la hojarasca. Su contenido se depositó en bolsas de papel etiquetadas con los datos correspondientes al sitio, fecha y número de colector. Este procedimiento se realizó cada 15 días de enero a diciembre de 2010; no obstante, las dos recolectas de cada mes se mezclaron en una sola luego de secarlas hasta alcanzar un peso constante a 65 °C por 72 horas.

Análisis de laboratorio

El contenido de hojarasca se separó de forma manual en hojas, estructuras reproductivas (flores, frutos y semillas), ramitas o ramas (<2 cm de diámetro), y otros (tejidos no identificados, materiales finos, corteza, fragmento de cuerpos de insectos o heces). No se cuantificó la pérdida de peso de la muestra de la hojarasca que pudo haber ocurrido entre las fechas de muestreo o la cantidad de hojarasca depositada dentro o fuera de las trampas por la acción del viento.

Al sumar las muestras recolectadas por mes, por repetición y por sitio de estudio, se determinó la producción anual total de la hojarasca y sus componentes. Una vez cuantificado el peso

Vegetation of the study area

The main type of vegetation in the three study sites are characterized by a bush and undertree formation, with dominant floristic elements of 4-6 m tall, mostly perennial thorny, with small and deciduous leaves. The most representative species are: *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst., *Ebenopsis ebano* (Berland.) Barneby & J.W. Grimes, *Acacia amentacea* DC., *Castela erecta* Turpin subsp. *texana* (Torr. et A. Gray) Cronquist, *Celtis pallida* Torr., *Parkinsonia texana* var. *macra* (I.M. Johnst.) Isely, *Forestiera angustifolia* Torr., *Cordia boissieri* A. DC., *Leucophyllum frutescens* (Berland.) I. M. Johnst., *Guaiacum angustifolium* Engelm., *Cylindropuntialeptocaulis* (DC.) F. M. Kunth, *Opuntia* spp., *Zanthoxylum fagara* Sarg., *Bumelia celastrina* Kunth, *Helietta parvifolia* (A. Gray ex Hemsl.) Benth., among which the Chinese palm (*Yucca filifera* Chabaud) is outstanding. Deciduous species shed their leaves in autumn or early winter, while the falling of evergreen leaves occurs constantly throughout the year, although most leaf abscission take place in summer (summer-autumn) (Moro, 1992). The floristic description of the sites was conducted by Domínguez *et al.* (2013).

Litter collection

At each site around 2 500 m², ten litter collectors (1.0 m²) were displayed at random, which were built with a wooden beveled frame whose bottom was covered with thin plastic mesh (1 mm) to prevent accumulation of water in settled periods of rain. Each trap was placed approximately 0.50 m above the ground to intercept litter. Its contents were put into paper bags previously tagged with the data for the site, date and number of collector. This procedure was performed every 15 days from January to December 2010; however, the two samples from each month were mixed in a single one after drying them up to constant weight at 65 °C for 72 hours.

Laboratory analysis

The content of litter was manually separated into leaves, reproductive structures (flowers, fruits and seeds), twigs or branches (<2 cm in diameter), and other (unidentified fabrics, fine materials, bark, insect body fragment or feces). Weight loss of the sample of litter that may have occurred between sampling dates or the amount of litter deposited into or out of the traps for the wind was not quantified.



de la misma en una balanza analítica *Sartorius*, modelo MCI, las hojas fueron molidas con un molino *Thomas Wiley* (*Thomas Scientific Apparatus*, Modelo 3383) con una malla No. 60 (1 mm x 1 mm). El material molido fue recolectado en bolsas tipo *Ziploc* etiquetadas con los datos correspondientes a cada muestra, para su posterior análisis químico. Se consideraron solo las hojas por ser el componente principal de la hojarasca y por estar presente a lo largo de todo el periodo de estudio.

De cada canasta (repeticón) procedente de un sitio y fecha de recolecta, se usaron 1.0g para ponderar la concentración de minerales (Ca, Mg, K, P, Cu, Fe, Mn y Zn). Se sometieron las muestras a incineración en una mufla *Felisa*, modelo FE-340 a 550 °C, durante 5 h. Paso seguido, las cenizas fueron digeridas en una solución de HCl y HNO₃ por digestión húmeda (Cherney, 2000).

Mediante el uso de un espectrofotómetro de absorción atómica marca *Varian*, modelo *Spectr AA-200*, se determinaron los contenidos de Ca (óxido nitroso/lama de acetileno), K, Mg, Cu, Mn, Fe y Zn (aire/lama de acetileno). El P se cuantificó por colorimetría con un espectrofotómetro *Perkin-Elmer*, modelo *Lamda 1A* a 880 nm (AOAC, 1997). El N se calculó por el método *micro-Kjeldahl* (AOAC, 1997). El depósito de minerales se midió al multiplicar la producción de hojas de la hojarasca por el contenido de cada mineral. La sumatoria de los valores mensuales acumulados por sitio se utilizó como una estimación del depósito anual de minerales. El correspondiente a Ca, K, Mg, N y P fue empleado para ponderar, en cada sitio, la eficiencia en el uso de macrominerales (EUN) de la hojarasca por la vía de las hojas, definida como la relación de la masa anual de hojas incorporadas al depósito anual de macrominerales (Vitousek, 1982).

Variables ambientales

En los sitios de muestreo se obtuvieron mediciones horarias de la temperatura ambiente (°C) y humedad relativa (%) mediante sensores automatizados tipo *HOB0* (Familia H8). Se registró la precipitación pluvial diaria (mm) durante el periodo experimental en un pluviómetro automatizado marca *HOB0* (Cuadro 1).

When the samples collected per month were added, by replication and study site, the total annual production of litter and its components were determined. Once quantified the weight thereof with an analytical balance *Sartorius* MCI, the leaves were ground by using a *Thomas Wiley Mill* (*Thomas Scientific Apparatus*, Model 3383) with a No. 60 mesh (1 mm x 1 mm). The ground material was collected in previously labeled *Ziploc* type bags with corresponding data for subsequent chemical analysis. The leaves were considered only as the main component of litter and as they were present throughout the study period.

From each basket (replication) from each site and date collected, 1.0 g was used to measure the concentration of minerals (Ca, Mg, K, P, Cu, Fe, Mn and Zn). Samples for incineration were subjected in a *Felisa* FE-340 muffle furnace at 550 °C for 5 h. Subsequently, the ashes were digested in a solution of HCl and HNO₃ by wet digestion (Cherney, 2000).

By using an atomic absorption *Spectr AA-200* *Varian* model spectrophotometer, the contents of Ca (nitrous oxide / acetylene flame), K, Mg, Cu, Mn, Fe and Zn (air / acetylene flame) were determined. P was quantified by colorimetry with a *1A Lamda* model *Perkin-Elmer* spectrophotometer at 880 nm (AOAC, 1997). N was calculated by the *micro-Kjeldahl* method (AOAC, 1997). The mineral deposit was quantified by multiplying the production of leaves' litter by the content of each mineral. The sum of the accumulated monthly values at each site was used as an estimate of the annual deposit of minerals. The annual deposit of Ca, K, Mg, N and P was employed to determine, at each site, the efficiency of macronutrients (EUN) of litter by means of the leaves defined as the ratio of the annual mass of leaves contribution to the annual macromineral deposit (Vitousek, 1982).

Environmental variables

In each sampling site measurements were taken by the hour at room temperature (°C) and relative humidity through automatic sensors of the *HOB0* type (H8 family). The daily rain precipitation (mm) during the experimental period in an automatic *HOB0* sensor was recorded (Table 1).



Cuadro 1. Temperatura (°C) y humedad relativa (%) media mensual y precipitación (mm) registrada durante el periodo de estudio (2010).

Table 1. Temperature (°C) and mean monthly relative humidity (%) and precipitation (mm) during the study period (2010).

Meses	Sitios								
	1			2			3		
	°C	%	mm	°C	%	mm	°C	%	mm
Enero	13.1	72.2	28.0	13.8	72.2	20.0	13.4	66.3	3.8
Febrero	13.4	74.8	24.6	13.7	75.7	27.8	13.4	65.4	52.2
Marzo	18.8	58.9	7.6	19.3	59.3	6.8	18.6	46.7	11.4
Abril	23.6	71.6	153.8	23.9	71.0	111.0	22.7	61.7	255.6
Mayo	27.7	65.4	41.4	28.0	65.1	29.2	25.8	58.4	116.6
Junio	30.2	65.4	31.6	30.1	67.0	125.6	28.2	58.9	1.6
Julio	28.2	79.8	33.4	27.9	80.3	134.8	25.9	82.5	17.6
Agosto	30.4	66.2	10.6	30.1	66.8	0.0	27.6	77.4	33.0
Septiembre	27.3	77.8	115.0	27.1	77.9	0.2	25.6	85.4	5.8
Octubre	22.7	70.7	14.0	23.4	69.1	1.6	21.8	78.9	5.2
Noviembre	18.6	65.5	0.0	19.4	64.7	0.0	18.4	69.1	3.6
Diciembre	12.8	80.6	0.0	13.0	82.3	2.8	15.2	68.1	20.6
Total			460.6			459.8			527.0

Análisis estadísticos

Los datos de la producción de la hojarasca, así como la de nutrientes de las hojas fueron sometidos a un análisis de varianza con un diseño completamente al azar (Steel y Torrie, 1980). Para probar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas de cada componente, se les aplicaron pruebas estadísticas de *Kolmogorov-Smirnov*, *Shapiro Wilk* y *Levene* (Steel y Torrie, 1980).

Los resultados demostraron que la mayoría de los datos no se distribuyeron normalmente y, en la mayor parte de los meses de muestreo, el análisis de varianza no confirmó los supuestos de igualdad de varianzas, por lo que se utilizó la prueba no paramétrica de *Kruskal-Wallis* (Ott, 1993) para

Statistical analysis

The litter production data as well as those of nutrients from leaves were subjected to analysis of variance with a completely randomized design (Steel and Torrie, 1980). To prove the assumptions of normality and homogeneity of variances of each component, the *Kolmogorov-Smirnov*, *Shapiro Wilk* and *Levene* tests (Steel and Torrie, 1980) were applied.



detectar diferencias significativas entre los sitios en cada mes de muestreo. Para lo correspondiente a la producción de la hojarasca y depósito de nutrientes entre sitios, se aplicó la prueba no paramétrica de *Mann-Whitney U* (Wackerly *et al.*, 2002) con la corrección de *Bonferroni* con un nivel de significancia de $P < 0.05$. Todos los análisis estadísticos se hicieron con el paquete computacional *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versión 17.0 para Windows (SPSS, 2004).

Resultados

Producción de hojarasca

El S3 tuvo el máximo aporte anual de hojarasca, seguido por S2 y S1 (Cuadro 2). Las hojas resultaron ser el principal componente con 60.6 (S1), 67.4 (S2) y 73.2 % (S3) de la producción anual respectiva en cada sitio (Cuadro 2). Las ramas tuvieron valores de 18.7, 17.4 y 14.7 %. Las estructuras reproductivas adquirieron valores de 15.1, 9.2 y 9.5 % y el componente "otros" contribuyó con 5.4, 5.9 y 2.5 %, respectivamente.

Las producciones mensuales totales de dichos materiales mostraron variaciones significativas entre sitios, aunque no hubo significancia en algunos meses (Figura 1). La producción total de hojarasca más alta se presentó en el sitio 3 (de 28 a 123 g m⁻²), mientras que en el sitio 1 fue la más baja (16 a 64 g m⁻²). En los tres sitios, las menores producciones se verificaron en febrero y las mayores en noviembre. La producción de hojas también fue superior en el sitio 3 con un intervalo de 18.4 (junio) a 89.0 g m⁻² (enero) y las mínimas se registraron en sitio 1 con producciones de 6.5 (febrero) a 34.0 (noviembre). El acopio de estructuras reproductivas fue más reducido en enero (0.09) y mucho más cuantioso (10.8 g m⁻²) en el sitio 2, en noviembre. La máxima producción de ramas fue en enero (18.8) en el sitio 2, y la mínima en agosto (3.1 g m⁻²) en el sitio 3. Para el componente "otros", la producción mínima (0.11) se obtuvo en enero y la máxima (7.6 g m⁻²) en septiembre en el sitio 2.

Depósito de minerales

La producción potencial de micro y macrominerales (figuras 2 y 3) fue significativamente diferente entre los sitios de estudio en la mayoría de los meses. La significancia de la prueba de *Kruskal-Wallis* se muestra en cada mes de muestreo dentro de la Figura 1. En general, durante el otoño y el invierno (septiembre a enero), cuando se observó la mayor caída de hojas, el depósito de todos los minerales fue superior en S3, mientras que en primavera, S2 tuvo los depósitos más grandes.

The results showed that most data were not normally distributed and, in most sampling months, the analysis of variance did not confirm the assumptions of equal variance, so the non-parametric *Kruskal-Wallis* test (Ott, 1993) to detect significant differences among sites in each sampling month was used. For the corresponding production of litter and nutrient reservoir between sites, the nonparametric *Mann-Whitney U* (Wackerly *et al.*, 2002) test was used with the *Bonferroni* correction with a significance level of $P < 0.05$. All statistical analyzes were performed with the software package *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS) version 17.0 for Windows (SPSS, 2004).

Results

Litter production

S3 had the highest annual litterfall followed by S2 and S1 (Table 2). The leaves were found to be the main component with 60.6 (S1), 67.4 (S2) and 73.2 % (S3) of the respective annual production at each site studied (Table 2). The branches had values of 18.7, 17.4 and 14.7 %. Reproductive structures acquired values of 15.1, 9.2 and 9.5 % and the component named "others" contributed with 5.4, 5.9 and 2.5 %, respectively.

The total monthly production of such materials showed significant variations between sites, although there was no significance in a few months (Figure 1). The total production of highest litter met at site 3 (28 to 123 g m⁻²), while at site 1 it was the lowest (16 to 64 g m⁻²). In all three sites the lowest production was in February and the highest in November. Leaf production was also higher at site 3 with a range of 18.4 (June) to 89.0 g m⁻² (January) and the minimum was recorded at site 1 with productions of 6.5 (February) to 34.0 (November). The collection of reproductive structures was reduced in January (0.09) and more substantial (10.8 g m⁻²) at site 2 in November. The maximum production of branches was in January (18.8) at site 2, and the minimum in August (3.1 g m⁻²) in site 3. For the "others" component, the minimum production (0.11) and maximum (7.6 g m⁻²) was recorded in January and September, respectively, at site 2.

Mineral deposit

The potential production of micro and macrominerals (figures 2 and 3) was significantly different between the study sites in most months. The significance of the *Kruskal-Wallis* test to detect significant differences between sites is shown each sampling month within Figure 1. In general, during fall and winter (September and January), when the greatest shedding was observed, the deposit of all minerals was higher in S3, while in springtime, S2 had the highest deposits.



Cuadro 2. Producción anual de hojarasca, macro y microminerales de las hojas y uso eficiente de los macrominerales.
Table 2. Annual production of litter, macro and micro minerals leaves and efficient use of macromineral.

Variables	Sitios			Estadísticos				
	1	2	3	χ^2	P	S1 vs S2	S1 vs S3	S2 vs S3
Total (g m ⁻² año ⁻¹)	408.0	613.7	703.3	13.5	***	**	***	ns
Hojas	247.5	413.7	515.1	16.2	***	**	***	ns
ER	61.7	56.7	66.7	0.3	ns	ns	ns	ns
Ramas	76.7	107.0	103.4	4.2	ns	ns	*	ns
Otros	22.2	36.2	18.0	6.3	*	ns	*	*
Macromineral (g m ⁻² año ⁻¹)								
Ca	46	8.1	14.5	20.5	***	***	***	*
K	20	8.7	5.8	18.7	***	***	***	ns
Mg	0.9	3.4	1.5	15.5	***	***	ns	**
P	0.1	0.3	0.3	18.4	***	***	***	ns
N	40	8.2	9.3	17.5	***	***	***	ns
Micromineral (mg m ⁻² año ⁻¹)								
Cu	0.9	1.4	4.9	19.5	***	ns	***	***
Mn	9.5	12.8	18.1	12.8	**	ns	***	*
Fe	52.8	54.0	91.2	13.3	***	ns	***	**
Zn	5.9	9.2	9.0	7.8	*	*	*	ns
Uso eficiente								
Ca	54.5	52.3	39.9	7.8	*	ns	**	*
K	125.0	57.0	106.4	14.6	***	***	ns	**
Mg	295.8	160.8	438.2	13.3	***	**	ns	***
P	2 019.4	1 549.9	2 014.4	4.3	ns	*	ns	ns
N	64.7	51.1	55.5	7.2	*	*	ns	ns

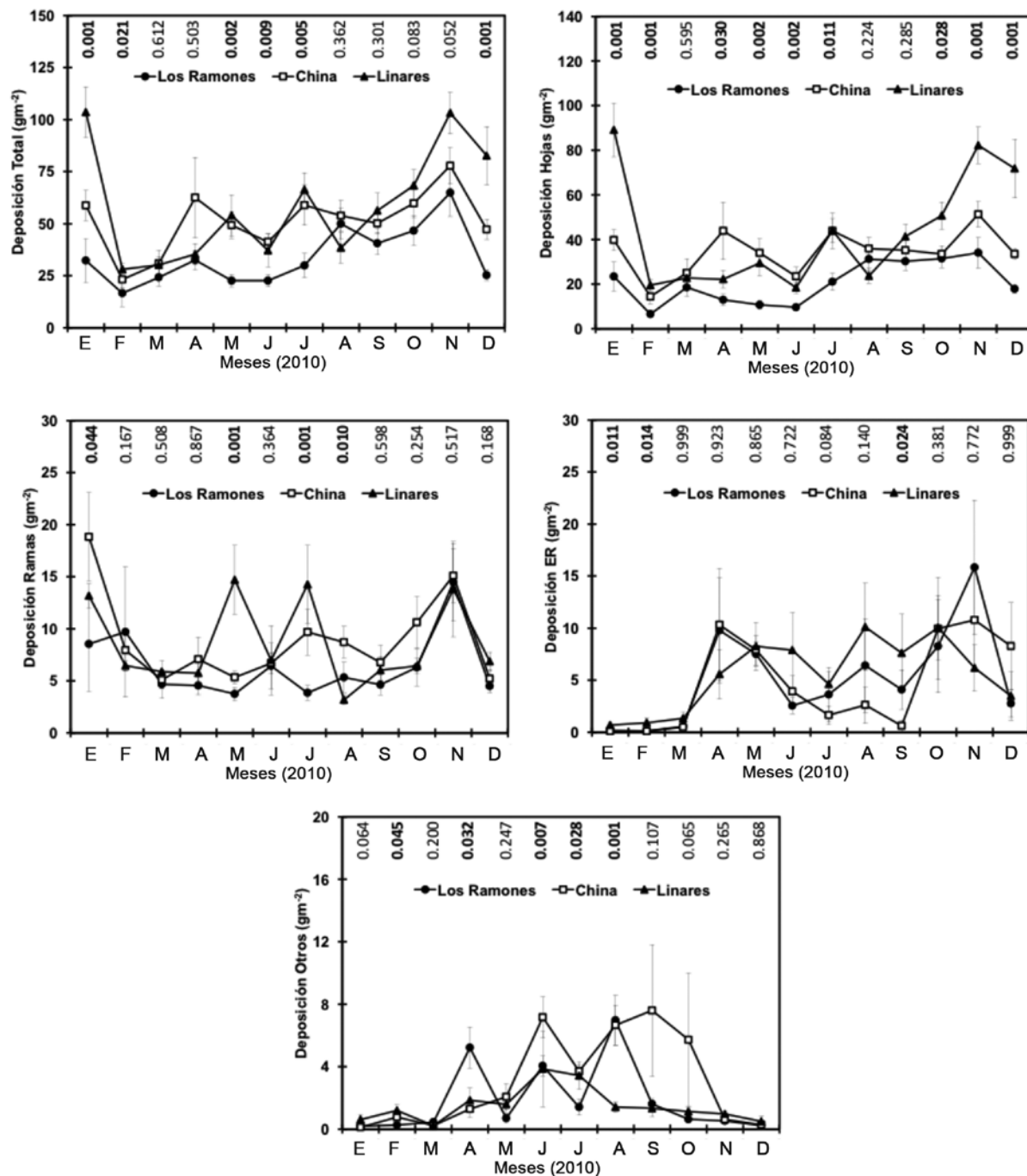
* = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$; *** = $P < 0.001$; ns = No significativo. ER = Estructuras reproductivas; Otros = Material no identificado, cuerpos de insectos y heces de insectos; Uso eficiente de nutrientes = [hojas (g m⁻² año⁻¹) / mineral en hojas (g m⁻² año⁻¹)] (Vitousek, 1982). La significancia de la prueba de Kruskal-Wallis y de la prueba Mann-Whitney U para la comparación de medias entre los sitios se muestra en la columna derecha.

* = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$; *** = $P < 0.001$; ns = Non significant; ER = Reproductive structures; Others = Non identified material, insect bodies and feces; Efficient use of nutrients = [leaves (g m⁻² year⁻¹) / mineral in leaves (g m⁻² year⁻¹)] (Vitousek, 1982). The significance of the Kruskal-Wallis and Mann-Whitney U test for comparison of means between the sites is shown in the right column.

El aporte potencial (mg m⁻² año⁻¹) de Cu fue 1.0, 1.4 y 4.9 para los sitios 1, 2 y 3, respectivamente; de Mn de 9.5, 12.8 y 18.1; de Fe de 52.8, 54.05 y 91.25 y de Zn de 5.9, 9.2 y 9.0. Sin importar el sitio, el depósito potencial anual de micronutrientes se distribuyó en el siguiente orden: Fe>Mn>Zn>Cu (Cuadro 2). El depósito total anual (Cu+Mn+Fe+Zn) fue 69.2, 77.5 y 123.1 mg m⁻² año⁻¹ en el sitio 1, en el 2 y en el 3, respectivamente. En los tres, el hierro alcanzó niveles muy elevados en relación a los otros elementos analizados, el sitio 3 fue donde se determinó la más alta producción.

The potential contribution (mg m⁻² year⁻¹) of Cu was 1.0, 1.4 and 4.9 for site 1, site 2 and site 3, respectively; of Mn de 9.5, 12.8 and 18.1 de Fe de 52.8, 54.05 y 91.25 y de Zn de 5.9, 9.2 y 9.0. Regardless of the site, the annual potential deposit of micronutrients followed this order: Fe>Mn>Zn>Cu (Table 2). The annual total deposit (Cu+Mn+Fe+Zn) was 69.2, 77.5 y 123.1 mg m⁻² year⁻¹ in site 1, site 2 and site 3, respectively. In the studied sites, iron reached very high levels in regard to the other analyzed elements, being site 3 where the greatest production was accomplished.





* = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$; *** = $P < 0.001$; ns = No significativo. Los Ramones (●); China (□); Linares (▲).

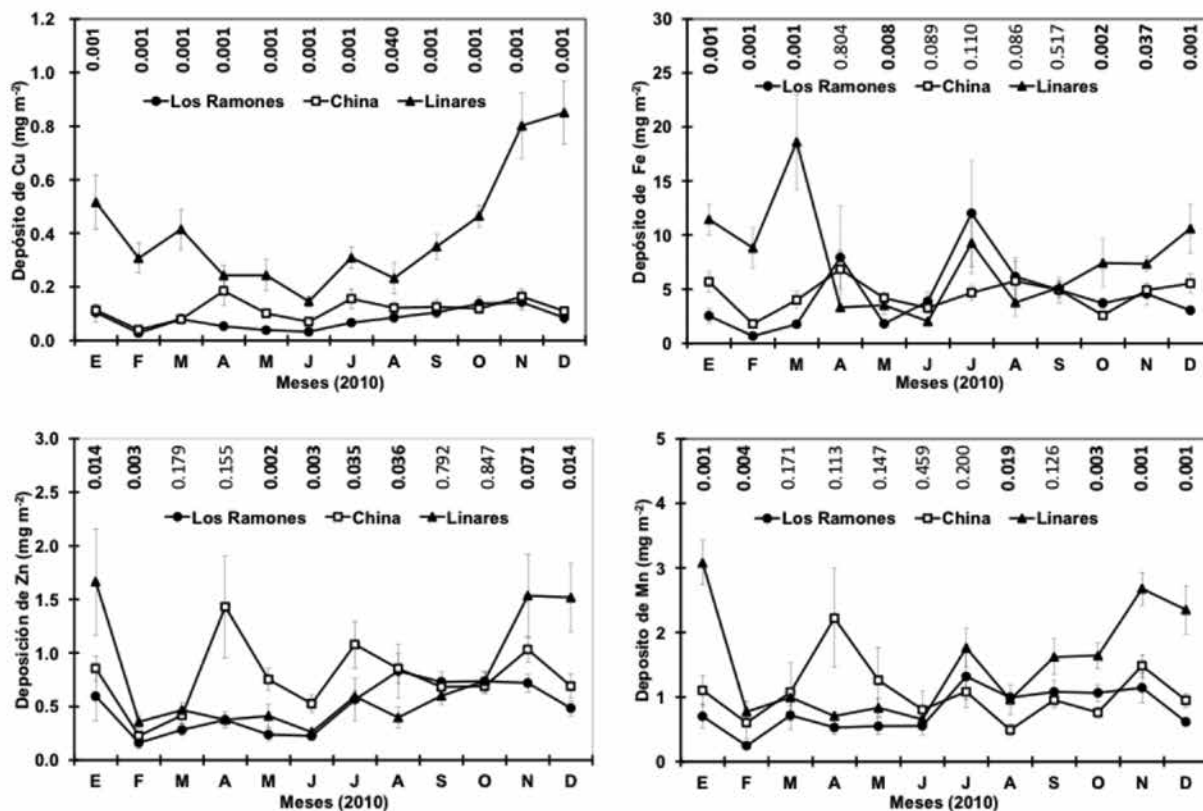
* = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$; *** = $P < 0.001$; ns = Non significant. Los Ramones (●), China (□), Linares (▲).

Figura 1. Producción mensual (media $\pm$ error estándar, $n=10$) de los componentes de la hojarasca para los sitios de estudio.

Figure 1. Monthly production (mean $\pm$ standard error, $n=10$) of litter components of the study sites.

El depósito ($\text{g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$) de Ca para el sitio 1 fue de 4.6, de 8.1 para el sitio 2 y de 14.5 para el sitio 3; de K fue de 2.0, 8.7 y 5.8; de Mg de 0.84 a 3.42 y 1.45; de P fue de 0.1, 0.3 y 0.3; de N fue de 4.04, 8.21 y 9.26 (Cuadro 2). A pesar del sitio, la contribución potencial anual de nutrientes de las hojas mostró el siguiente orden: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$ (Cuadro 2). El total del

The reservoir ($\text{g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$) of Ca for site 1 was 4.6, 8.1 for site 2 and 14.5 for site 3; K was 2.0, 8.7 and 5.8; Mg was 0.84, 3.42 and 1.45; P was 0.1, 0.3 and 0.3; N was 4.04, 8.21 and 9.26 (Table 2). Regardless of the site, the annual potential contribution of nutrients from the leaves showed the following order: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$ (Table 2). The total annual deposit, the



* = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$; *** = $P < 0.001$; ns = No significativo. Los Ramones (●); China (□); Linares (▲).

* = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$; *** = $P < 0.001$; ns = Non significant. Los Ramones (●), China (□), Linares (▲).

Figura 2. Depósito mensual (media $\pm$ error estándar, $n=10$) de Cu, Fe, Zn y Mn en el componente hojas para los sitios de estudio.

Figure 2. Monthly deposition of (mean $\pm$ standard error, $n=10$) of Cu, Fe, Zn and Mn in the leaf component for the study sites.

depósito anual de macrominerales (Ca+K+Mg+N+P) para los sitios 1, 2 y 3 fue de 11.7, 28.7 y 31.3, respectivamente.

La eficiencia del uso de nutrientes [hojas ($\text{g m}^{-2} \text{año}^{-1}$)/mineral en hojas ($\text{g m}^{-2} \text{año}^{-1}$)] de macrominerales en forma individual no mostró una tendencia clara entre los sitios (Cuadro 2). Para N, P y K el patrón fue el siguiente: Los Ramones > Linares > China; para Mg fue: Linares > Los Ramones > China, y para Ca fue: Los Ramones > China > Linares.

Discusión

Caída de hojarasca

La mayor caída de hojarasca por vía de las hojas y de las ramas se registró en octubre, noviembre y diciembre en los tres sitios. El estrés hídrico producto de la baja precipitación pudo haber incrementado la tasa de abscisión de hojas y de ramas como mecanismo de defensa ante la sequía edáfica (Pavón *et al.*, 2005; López *et al.*, 2010). Diversos estudios (Bosco *et al.*, 2004; Deng y Janssens, 2006; Jeong *et al.*, 2009; Caldato *et al.*,

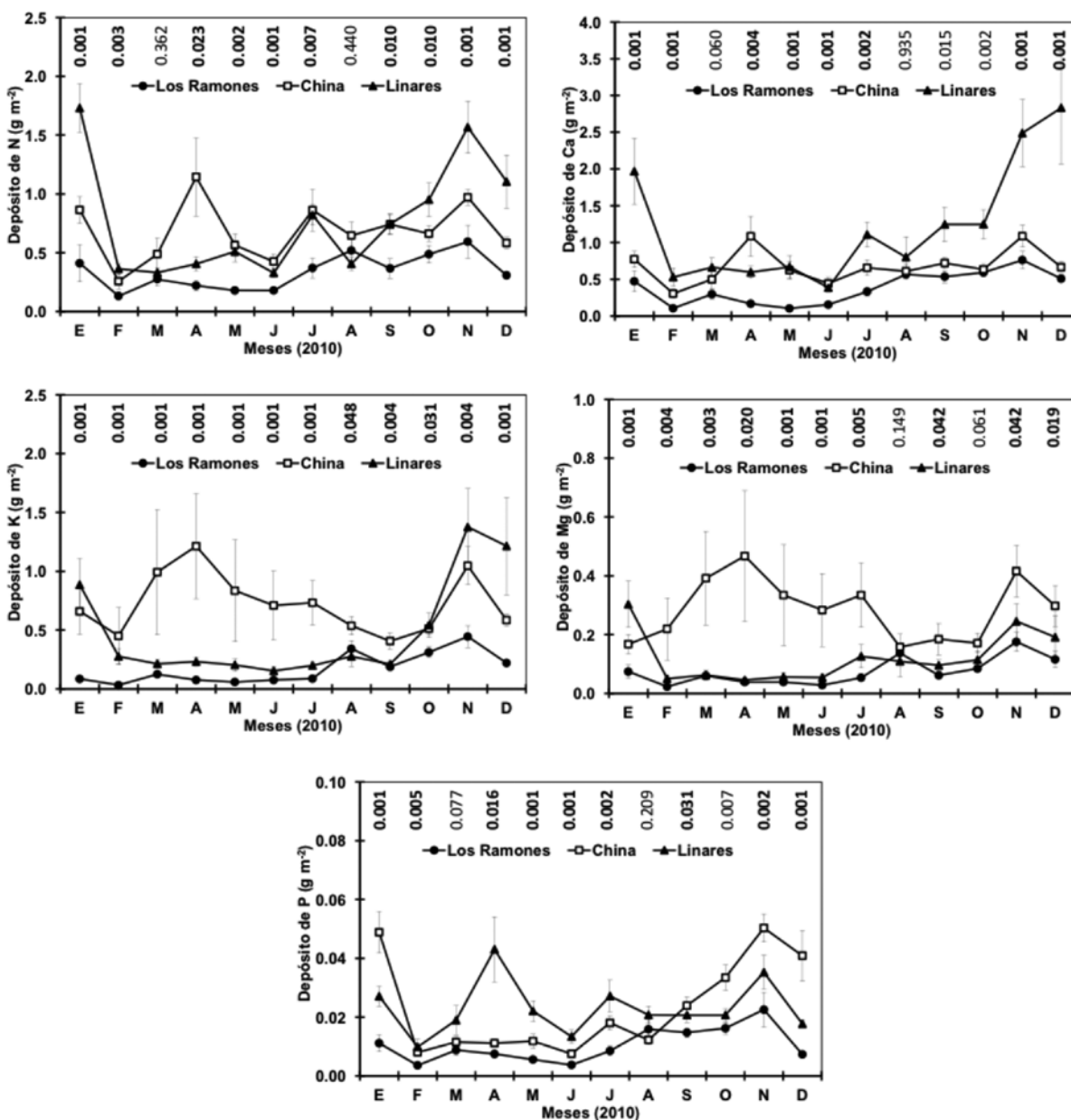
macrominerales (Ca+K+Mg+N+P) for sites 1, 2 and 3 was 11.7, 28.7 and 31.3, respectively.

The nutrient use efficiency [leaves ($\text{g m}^{-2} \text{yr}^{-1}$) / mineral on leaves ($\text{g m}^{-2} \text{yr}^{-1}$)] of macrominerales individually showed no clear trend among sites (Table 2). For N, P and K, the pattern was as follows: *Los Ramones* > *Linares* > *China*; Mg was: *Linares* > *Los Ramones* > *China*, and Ca was: *Los Ramones* > *China* > *Linares*.

Discussion

Litterfall

Most litterfall via the leaves and branches was recorded in October, November and December at the three sites. Water stress product of low rainfall may have increased the rate of abscission of both leaves and branches as a defense mechanism to soil drought (Pavón *et al.*, 2005; López *et al.*, 2010). Several studies (Bosco *et al.*, 2004; Deng and Janssens, 2006; Jeong *et al.*, 2009; Caldato *et al.*, 2010) confirm a relationship between litter production and climatic variables, mainly temperature and



* = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$; *** = $P < 0.001$; ns = No significativo. Los Ramones (●); China (□); Linares (▲).

* = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$; *** = $P < 0.001$; ns = Non significant. Los Ramones (●); China (□); Linares (▲).

Figura 3. Depósito mensual (media $\pm$ error estándar, $n = 10$) de N, Ca, K, Mg y P en el componente hojas para los sitios de estudio.

Figure 3. Monthly deposit (mean $\pm$ standard error, $n = 10$) of N, Ca, K, Mg and P in the leaves component for the study sites.

2010) confirman una relación entre la producción de hojarasca y las variables climáticas, en particular con la temperatura y la precipitación, incluida la humedad relativa (Gutiérrez *et al.*, 2012). No obstante, la alta variabilidad en la caída de hojas también puede estar vinculada con el área y número de recolectores (Del Valle, 2003).

precipitation including relative humidity (Gutiérrez *et al.*, 2012). However, the high variability in litter fall may also be linked to the area and number of collectors (Del Valle, 2003).

Even if other sources of variation may alter the fall of the leaves on a seasonal or annual basis, the results of this study clearly indicate that the main component of litter in order from highest

Aun si otras fuentes de variación pueden alterar este proceso en una base estacional o anual, los resultados del presente estudio indican claramente que el principal integrante de la hojarasca en orden de mayor a menor producción está representado por las hojas segundas por ramas, estructuras reproductivas y otros elementos; a nivel total o individual de cada sitio, los montos se ubican dentro del intervalo de los valores consignados por González *et al.* (2011) y López *et al.* (2013); sin embargo, González *et al.* (2013) estimaron en el matorral desértico micrófilo producciones mucho más bajas (de 141.76 a 390.47 g m⁻² año⁻¹).

La estacionalidad del componente foliar, evaluada mediante su productividad y descomposición, justifica el empleo de dicha dinámica como indicador ambiental, dado que entre 30 y 70 % del total de los nutrientes almacenados por año se concentran en ellas (Piatek y Allen, 2000). La hojarasca calculada en este estudio se ubica dentro de los intervalos registrados por Pavón *et al.* (2005), Caritat *et al.* (2006) y Gutiérrez *et al.* (2012), quienes cuantificaron cantidades de 50 a 90 % en diversos ecosistemas. Experiencias en el noreste de México consideran valores de 40 a 86 % (González *et al.*, 2008; González *et al.*, 2013; López *et al.*, 2013).

En la zona templada, la producción de hojarasca es superior a la de la zona boreal, ya que los bosques caducifolios aportan 540 g m⁻² año⁻¹ y los de coníferas 438 g m⁻² año⁻¹ (Lousier y Parkinson, 1976). Aunque el patrón general de producción de hojarasca es mayor en latitudes tropicales, dicha relación a menudo se altera por las variaciones dentro de las zonas. Por ejemplo, ahí la producción fluctúa entre 560 y 1 430 g m⁻² año⁻¹, por lo que estas variaciones están influenciadas por la longevidad de las especies, el área basal, las características morfológicas y los factores edafoclimáticos (McDonald y Healey, 2000).

Depósito de nutrientes

Durante los meses en que ocurrió la mayor caída de hojas, los depósitos de macro y microminerales también fueron más elevados. Tendencias similares las verificaron López *et al.* (2013) y González *et al.* (2013) en trabajos realizados en el Matorral Espinoso Tamaulipeco. Aparentemente, a diferencia de los macro, el depósito de microminerales fue más variable entre meses y sitios. Lo anterior puede estar relacionado, además de las diferencias en producción de hojarasca, con la variabilidad climática, en especial de la precipitación y la temperatura y con la diversidad de plantas, tanto caducifolias como perennifolias que pudieron estar presentes o ausentes en los diferentes meses y sitios de estudio (González *et al.*, 2013).

El alto nivel de Fe en las hojas es posible que responda al hecho de que en los sitios existen altos contenidos de Fe y a su disponibilidad en el suelo para ser absorbido por las plantas. Investigaciones conducidas por Ramírez *et al.* (2010), en el Matorral Espinoso Tamaulipeco y González *et al.* (2013) en

to lowest production is represented by the leaves followed by branches, reproductive structures and other components. The components of total or individual litter recorded at each site are within the range of productions previously observed by González *et al.* (2011) and López *et al.* (2013); however, González *et al.* (2013) found in desert microphyll scrub much lower yields (from 141.76 to 390.47 g m⁻² yr⁻¹).

Seasonality of leaf component, assessed by their productivity and decomposition, justifies the use of leaf dynamics as an environmental indicator, since 30 to 70 % of the nutrients stored annually are concentrated in them (Piatek and Allen, 2000). In this study, the leaves represent the main component of litter and are within the ranges reported by Pavón *et al.* (2005), Caritat *et al.* (2006) and Gutiérrez *et al.* (2012), who quantified amounts of 50 to 90 % in various ecosystems. Studies in northeastern Mexico recorded values of 40-86 % (González *et al.*, 2008; González *et al.*, 2013; López *et al.*, 2013).

In the temperate zone, litter production is higher than in the northern area as deciduous forests provide 540 g m⁻² year⁻¹ and the coniferous 438 g m⁻² year⁻¹ (Lousier and Parkinson, 1976). Although the overall pattern of litter production is greater in tropical latitudes, the ratio is often altered by variations within the zones. For example, the difference in annual litter production in the tropics ranges between 560 and 1 430 g m⁻² year⁻¹, so these variations are influenced by the longevity of the species, the basal area, the morphological features and the soil and climate factors (Healey and McDonald, 2000).

Nutrient reservoir

During the months when the largest drop of leaves happened, macro and micro minerals deposits were also the highest. Similar tendencies were confirmed by López *et al.* (2013) and González *et al.* (2013) in studies conducted in the Tamaulipan Thornscrub. Apparently, unlike the macro, the microminerals reservoir varied more between months and sites. This may be related, in addition to differences in litter production, to special climate variability in precipitation and temperature and the diversity of both deciduous and evergreen plants that could be present or absent in the different months and sites of the study (González *et al.*, 2013).

The high level of Fe in the leaves may be explained by the presence of species on the sites which had high contents of Fe, perhaps because of the abundance and availability for uptake by plants in the soil. Studies conducted by Ramírez *et al.* (2010), in the Tamaulipan Thornscrub and González *et al.* (2013) in the xerophytic scrub in northeastern Mexico reported that the leaves of all the assessed plants showed high iron content.

In general, in site 3 were significantly deposited the greatest amount of macro and micro minerals (Table 2). The order of

el matorral xerófito del noreste de México establecieron que las hojas de todas las plantas evaluadas mostraron elevados contenidos de hierro.

En general, en el sitio 3 se depositó significativamente la mayor cantidad de macro y microminerales (Cuadro 2). El orden de mayor a menor recepción de macrominerales para los sitios 1 y 3 fue $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$, mientras que para el sitio 2 fue $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P}$. En los tres, el orden depositado de los microminerales fue $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$. Tendencias similares han sido observadas en estudios previos (González *et al.*, 2011; López *et al.*, 2013) conducidos en el Matorral Espinoso Tamaulipeco. En el Cuadro 2, se resumen las diferencias existentes entre sitios.

El uso eficiente de los macrominerales [hojas ($\text{g m}^{-2} \text{año}^{-1}$) / mineral en hojas ($\text{g m}^{-2} \text{año}^{-1}$)] provenientes de las hojas está relacionado con su aprovechamiento para producir nueva biomasa. En este estudio, tal concepto para Ca, K, Mg y N fue significativamente mayor en el sitio 1 que en los sitios 2 y 3, mientras que el del P no fue diferente entre ellos (Cuadro 2). Aun cuando el depósito de P en general fue bajo, su uso eficiente fue mayor que el del Ca, K, N o Mg. Resultados similares se han sido confirmado en diferentes ecosistemas forestales (Del Valle, 2003; Swamy *et al.*, 2004; Safou *et al.*, 2005).

Se ha discutido que el P, debido a su alta movilidad, pudiera reubicarse en otras estructuras de las plantas antes de la senescencia de las hojas y que esta reabsorción se destinaria a la producción de nuevas estructuras vegetales o procesos fisiológicos. Con frecuencia se ha sugerido que las especies de hábitats pobres en nutrientes exhiben una mayor eficiencia en la reubicación (Vitousek, 1982). Nambiar y Fife (1987) indicaron que las plantas que crecen en hábitats fértiles son más eficaces en la reabsorción. Asimismo, Del Arco *et al.* (1991) argumentaron que el grado de reabsorción depende del periodo de abscisión de la hoja, de modo que los taxa con una caída de la hoja más lenta son menos eficientes en la reabsorción de nutrientes debido, probablemente, a lo impredecible de la época de abscisión foliar. El proceso gradual de desprendimiento de hojas parece ser una adaptación al estrés hídrico en regiones con climas áridos o semiáridos. El estado nutricional de la planta y la humedad del suelo están entre los posibles factores que controlan la reabsorción de nutrientes (Pavón *et al.*, 2005; Rentería *et al.*, 2005).

Por otra parte, Vitousek y Sanford (1986) definieron que la eficiencia en la reabsorción está influida por el incremento de la radiación debido a que la reubicación necesita cierta cantidad de energía proporcionada por la fotosíntesis, en la que el Mg es el elemento más requerido por ser el constituyente principal de la clorofila y favorecer la absorción del P.

recepción de macrominerales from highest to lowest for sites 1 and 3 was $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$, while for site 2 it was $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P}$. In all the three of them, the distribution of the microminerales was $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$. Similar trends have been observed in previous studies (González *et al.*, 2011; López *et al.*, 2013) conducted in the Tamaulipan thorny scrub. The differences between sites in Table 2 are shown.

The efficient use of macrominerales [leaves ($\text{g m}^{-2} \text{year}^{-1}$) / mineral in the leaves ($\text{g m}^{-2} \text{year}^{-1}$)] from the leaves is related to its assimilation to produce new biomass. In this study, this concept for Ca, K, Mg and N was significantly higher in site 1 than at sites 2 and 3, while P was not different between them (Table 2). Although the P was generally low, its efficiency was relatively higher than that of Ca, K, N and Mg. Similar results have been confirmed in different forest ecosystems (Del Valle, 2003; Swamy *et al.*, 2004; Safou *et al.*, 2005).

It has been discussed that P, due to its high mobility, may relocate to other plant structures before leaf senescence and that this resorption could be used to produce new structures or physiological processes. Often it has been suggested that the species present in nutrient-poor habitats exhibit a more efficient relocation (Vitousek, 1982). Nambiar and Fife (1987) indicated that plants growing in fertile habitats are more effective in resorption. Also, Del Arco *et al.* (1991) argued that the degree of absorption depends on the period of leaf abscission, so that species with a slower fall leaf are less efficient in the absorption of nutrients, probably due to the unpredictability of the season of leaf abscission. The gradual process of shedding of leaves seems to be an adaptation to water stress in regions with arid or semi-arid climates. The nutritional status of the plant and soil moisture are among the possible factors that control the absorption of nutrients (Pavón *et al.*, 2005, Rentería *et al.*, 2005).

Moreover, Vitousek and Sanford (1986) stated that the efficiency of absorption is influenced by the increased radiation since relocation requires a certain amount of energy provided by photosynthesis, in which Mg is the most required element as the main constituent of chlorophyll and promotes the absorption of P.



Conclusiones

La cantidad de hojarasca producida y sus respectivos constituyentes fue diferente entre los sitios estudiados, al sitio Linares le correspondió la mayor producción de hojarasca. Esta misma tendencia se observó en el depósito potencial de minerales y el sitio ubicado en el municipio Los Ramones fue el más bajo. Aparentemente las diferencias en el aporte de minerales se atribuye a diferencias edáficas, de estructura y composición florística, de calidad de hojarasca, de respuestas a factores intrínsecos (fenología) de las diferentes especies, así como, a las condiciones de temperatura y precipitación, lo que repercutió en la eficiencia del uso de nutrientes, en la que P, a pesar que fue el de aporte más reducido, tuvo una mayor eficiencia de uso.

Los resultados muestran la importancia que tiene la composición de especies y su producción de hojarasca en el matorral, por lo que se sugiere continuar con estudios de la dinámica involucrada en ella, pues contribuyen al mejoramiento y conservación de los procesos ecológicos de comunidades vegetales en regiones semiáridas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Juan Manuel López Hernández: selección de unidades de estudio y muestreo en campo; Humberto González Rodríguez: selección de unidades de estudio, muestreo en campo y negociación del financiamiento; Roque Gonzalo Ramírez Lozano: selección de unidades de estudio y definición del diseño experimental; Jorge Ignacio del Valle Arango: estructuración y revisión del manuscrito; Israel Cantú Silva: análisis químico de las muestras y revisión del manuscrito; Marisela Pando Moreno: estructuración y revisión del manuscrito; Andrés Eduardo Estrada Castillón: identificación taxonómica de las especies; Marco Vinicio Gómez Meza: análisis estadísticos.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por proporcionar la beca al primer autor, y a la Universidad Autónoma de Nuevo León por el financiamiento otorgado al Proyecto PAICYT CT289-10. A Manuel Hernández, Perla Cecilia Rodríguez, Christian Marroquín y Elsa González por su participación en los muestreos en campo y actividades de laboratorio. A los propietarios del Rancho Zaragoza y del Rancho El Abuelo por brindar todas las facilidades para llevar a cabo esta investigación.

Referencias

- Aceñolaza, P. G., L. P. Zamboni y J. F. Gallardo. 2006. Ciclos biogeoquímicos de bosques de la llanura de inundación del río Paraná (Argentina): Aporte de hojarasca. In: Gallardo, J. F. (ed.). Medioambiente en Iberoamérica. Visión desde la Física y la Química en los albores del siglo XXI. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Badajoz, España. pp. 529-536.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1997. Official methods of analysis, 15th ed. Washington, DC, USA. 482 p.

Conclusions

The amount of litter produced and their respective constituents differed among the studied sites, of which the corresponding site of *Linares* recorded the highest amount. This same trend was observed in the reservoir potential of minerals and the site located in the municipality of *Los Ramones* was the lowest. Apparently the differences in mineral intake is attributed to soil differences, structure and species composition, litter quality, response to intrinsic factors (phenology) of different species, as well as to the conditions of temperature and precipitation, which affected the efficiency of nutrient use, in which P, although it was the smallest contribution, had a more efficient use.

These results show the importance of species composition and litter production in the bush, so it is suggested to continue studies of the dynamics of litter production and storage of nutrients that help to improve and preserve the ecological processes involved in plant communities of semi-arid regions.

Conflict of interests

The authors declare that they have no conflict of interests.

Contribution by author

Juan Manuel López Hernández: selection of study units and field sampling; Humberto González Rodríguez: selection of study units, field sampling and funds negotiation; Roque Gonzalo Ramírez Lozano: selection of study units and experimental design; Jorge Ignacio del Valle Arango: structuring and review of the manuscript; Israel Cantú Silva: chemical analysis of the samples and review of the manuscript; Marisela Pando Moreno structuring and review of the manuscript; Andrés Eduardo Estrada Castillón: taxonomic identification of species; Marco Vinicio Gómez Meza: statistical analysis.

Acknowledgements

The authors wish to express their gratitude to the *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt)* for having granted the scholarship to the first author and to the *Universidad Autónoma de Nuevo León* for the financial support provided to the PAICYT CT289-10 Project. To Manuel Hernández, Perla Cecilia Rodríguez, Christian Marroquín and Elsa González for their help in field work and laboratory activities. To the owners of the *Rancho Zaragoza* and of the *Rancho El Abuelo* for their good will to carry out this research study.

End of the English version

- Caritat, A., B. E. García, R. Lapena and L. Vilar. 2006. Litter production in a *Quercus suber* forest of Montseny (NE Spain) and its relationship to meteorological conditions. *Annals Forest Sciences* 63:791-800.
- Carnevale, N. and J. P. Lewis. 2001. Litterfall and organic matter decomposition in a seasonal forest of the eastern Chaco (Argentina). *Revista Biología Tropical* 49(1):203-212.
- Cherney, D. J. R. 2000. Characterization of forages by chemical analysis. In: Givens, D. I., E. Owen, R. F. E. Axford and H. M. Omed (eds.). Forage evaluation in ruminant nutrition. CAB International. Wallingford, UK. 281-300.
- Del Arco, J. M., A. Escudero and M. V. Garrido. 1991. Effects of site characteristics on nitrogen retranslocation from senescent leaves. *Ecology* 72: 701-708.
- Del Valle A., J. I. 2003. Cantidad, calidad y nutrientes reciclados por la hojarasca fina de bosques pantanosos del pacífico sur Colombiano. *Interciencia* 28:443-449.
- Deng, Z. and M. J. J. Janssens. 2006. Litter fall production in West-African forests and plantations. In: Conference on International Agricultural Research for Development. Proceedings of the Tropentag 2006. October 11th-13th. University of Bonn. Bonn, Germany. pp. 1-5.
- Domínguez G., T. G., H. González R., R. G. Ramírez L., A. E. Estrada C., I. Cantú S., M. V. Gómez M., J. A. Villarreal Q., M. S. Alvarado y G. Alanís F. 2013. Diversidad estructural del Matorral Espinoso Tamaulipeco durante las épocas seca y húmeda. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(17):106-123.
- González R., H., I. Cantú, M. V. Gómez and R. G. Ramírez. 2004. Plant water relations of thornscrub shrub species, northeastern Mexico. *Journal of Arid Environments* 58:483-503.
- González R., H., I. Cantú, R. G. Ramírez, M. V. Gómez, T. G. Domínguez, J. Bravo and R. K. Maiti. 2008. Spatial and seasonal litterfall deposition pattern in the Tamaulipan thornscrub, Northeastern Mexico. *International Journal of Agriculture Environment and Biotechnology* 1:177-181.
- González R., H., T. G. Domínguez, I. Cantú, M. V. Gómez, R. G. Ramírez, M. Pando and C. J. Fernández. 2011. Litterfall deposition and leaf litter nutrient return in different locations at Northeastern Mexico. *Plant Ecology* 212:1747-1757.
- González R., H., R. G. Ramírez, I. Cantú, M. V. Gómez, M. Coterá, A. Carrillo and J. J. Marroquín. 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.
- Gutiérrez V., M. H., J. Méndez, C. Flores, J. A. Ramírez and B. N. Gutiérrez. 2012. Caída de hojarasca en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus cembroides* Zucc., en Coahuila, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35(2): 123-133.
- Jeong, J., C. Kim, A. Hyun Ch., C. Hyun S. and C. Gap Ch. 2009. A comparison of litterfall dynamics in three coniferous plantations of identical age under similar site conditions. *Journal of Ecology and Field Biology* 32:97-102.
- 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.
- Landsberg, J. J. and S. T. Gower. 1997. Applications of physiological ecology to forest management. Academic Press Co. New York, NY, USA. 345 p.
- López H., J. M., H. González, I. Cantú, R. G. Ramírez, M. V. Gómez, M. Pando, J. I. Sarquis, N. Coria, R. K. Maiti and N. C. Sarkar. 2010. Adaptation of native shrubs to drought stress in north-eastern Mexico. *International Journal of Bio-resource and Stress Management* 1(1):30-37.
- López H., J. M., H. González, R. G. Ramírez, I. Cantú, M. V. Gómez, M. Pando y A. E. Estrada. 2013. Producción de hojarasca y retorno potencial de nutrientes en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *Polibotánica* 35(1):41-64.
- Lousier, J. D. and D. Parkinson. 1976. Litter decomposition in a cool temperate deciduous forest. *Canadian Journal of Botany* 54:419-436.
- McDonald, M. A. and J. R. Healey. 2000. Nutrient cycling in secondary forests in the Blue Mountains of Jamaica. *Forest Ecology and Management* 139:257-278.
- Moro M., J. 1992. Desfronde, descomposición y fijación de nitrógeno en una microcuenca con repoblación joven de coníferas y matorral de *Cistus laurifolius* y *Adenocarpus decorticans* en la Sierra de los Filabres (Almería). Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. Alicante, España. 463 p.
- Nambiar, E. K. S. and D. N. Fife. 1987. Growth and nutrient retranslocation in needles of radiata pine in relation to nitrogen supply. *Annals of Botany* 60:147-156.
- Northup, B. K., S. F. Zitzer, S. R. Archer and T. W. Boutton. 1996. A technique to allocate biomass of woody plants. La Copita Research Area: 1996 Consolidated Progress Report. Texas Agricultural Experiment Station, Corpus Christi, TX. A&M University System, College Station. Corpus Christi, TX, USA. pp. 47-55.
- Ott, L. 1993. An introduction to statistical methods and data analysis. 2nd ed. Duxbury Press. Boston, MA, USA. 775 p.
- Pallardy, S. G. 2008. Physiology of woody plants. Academic Press - Elsevier. New York, NY, USA. 454 p.
- Pavón, H. N., V. O. Briones and R. J. Flores. 2005. Litterfall production and nitrogen content in an intertropical semi-arid Mexican scrub. *Journal of Arid Environments* 60:1-13.
- Piatek, K. B. and H. L. Alen. 2000. Site preparation effects on foliar N and P use, retranslocation and transfer to litter in 15-years old *Pinus taeda*. *Forest Ecology and Management* 129:143-152.
- Poggiani, F. and M. V. Schumacher. 2004. Nutrient cycling in native forests. In: Gonçalves, J. L. M. and V. Benedetti (eds.). Forest nutrition and fertilization. IPEF. Piracicaba, Brasil. pp. 287-305.
- Polyakova, O. and N. Billor. 2007. Impact of deciduous tree species on litterfall quality, decomposition rates and nutrient circulation in pine stands. *Forest Ecology and Management* 253:11-18.
- Ramírez L., R. G., H. González, M. V. Gómez, I. Cantú and J. I. Uvalle. 2010. Spatio-temporal variations of macro and trace mineral contents in six native plants consumed by ruminants at northeastern Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 12: 267-281.
- Reid, N., J. Marroquín and M. P. Beyer. 1990. Utilization of shrubs and trees for browse, fuelwood and timber in the Tamaulipan thornscrub, northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management* 36: 61-79.
- Reis M., G. F. y N. F. Barros. 1990. Cíclage de nutrientes em plantíos de eucalipto. In: Barros, N. F. y R. F. Novais (eds.). *Relacao solo-eucalipto*. Editora Folha de Vicos. Vicos, Brasil. pp. 265-302.
- Rentería, L. Y., V. J. Jaramillo, A. Martínez Y. and A. Pérez. 2005. Nitrogen and phosphorus resorption in trees of a Mexican tropical dry forest. *Trees* 19:431-441.
- Safou M., R. P. Deleporte, J. P. Laclau and J. P. Bouillet. 2005. Hybrid and clonal variability of nutrient content and nutrient use efficiency in *Eucalyptus* stands in Congo. *Forest Ecology and Management* 210:193-204.
- Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). 2004. SPSS Statistics. Standard released Version. 17.0. 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.
- Stump, L. M. and D. Binkley. 1993. Relationships between litter quality and nitrogen availability in Rocky Mountain forests. *Canadian Journal of Forest Research* 23:492-502.
- Swamy, S. L., S. K. Kushwaha and S. Puri. 2004. Tree growth, biomass, allometry and nutrient distribution in *Gmelina arborea* stands grown in red lateritic soils of central India. *Biomass and Bioenergy* 26:305-317.
- Vitousek, P. M. 1982. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *American Naturalist* 119:553-572.
- Vitousek, P. M. and R. L. Sanford. 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17:137-167.
- Wackerly, D. D., W. Mendenhall and R. L. Scheaffer. 2002. Estadística matemática con aplicaciones. Editorial Thomson International. México, D. F., México. 872 p.

Wang Q., S. Wang and Y. Huang. 2008. Comparisons of litterfall, litter decomposition and nutrient return in a monoculture *Cunninghamia lanceolata* and a mixed stand in southern China. *Forest Ecology and Management* 255: 1210-1218.

Zamboni, P. y P. Aceñolaza. 2004. Aporte al conocimiento de ciclos de materia orgánica en formaciones boscosas de la llanura de inundación del río Paraná. *Serie Miscelánea INSUGEO-CONICET* 12:5-12.

