

Descomposición de hojarasca y reciclado del nitrógeno de frutales tropicales y subtropicales en terrazas de cultivo en la costa de Granada (SE España)

Carmen Rocío Rodríguez Pleguezuelo¹, Víctor Hugo Durán Zuazo^{2*},
José Luis Muriel Fernández², Dionisio Franco Tarifa³

¹Centro "Camino de Purchil", Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Granada, España

²Centro "Las Torres-Tomejil", Sevilla, España

*Corresponding author, e-mail: victorh.duran@juntadeandalucia.es

³Finca Experimental "El Zahorí" Ayuntamiento de Almuñécar, Granada, España

Resumen

El experimento se realizó en la costa de Granada (SE España). Se estudiaron la descomposición de la hojarasca y el reciclado del nitrógeno en cuatro tipos de hojas de frutales de origen subtropical y tropical: mango (*Mangifera indica* L.), chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.), níspero (*Eriobotrya japonica* Lindl.) y aguacate (*Persea americana* Mill.), empleando la técnica de las bolsas. El chirimoyo tuvo las mayores tasas de descomposición de hojarasca, mientras que la de mango fue la más persistente. Las constantes de descomposición (k) para mango, níspero, aguacate y chirimoyo fueron 0,64, 0,84, 0,80 y 1,30 años⁻¹, respectivamente. El nitrógeno en níspero y mango fue inmovilizado durante los primeros meses en un 73 y 21%, respectivamente, siendo liberado más tarde. En contraste con la hojarasca de chirimoyo y aguacate, que no experimentaron periodos de inmovilización. El estudio de la dinámica de liberación de nutrientes en un suelo agrícola y en particular en terrazas de cultivo es muy importante para predecir la disponibilidad y el reciclado de nutrientes para las plantas y en consecuencia, sus implicaciones medioambientales.

Palabras clave: reciclado de nutrientes, agroecosistemas sostenibles, descomposición de hojarasca, inmovilización de nitrógeno

Litter decomposition and nitrogen cycling from subtropical crops grown in orchard terraces in the coast of Granada (SE Spain)

Abstract

The experiment was carried out in the Granada coast (SE Spain). It was studied the litter decomposition and nitrogen recycling in four kinds of fruit leaves of subtropical and tropical: mango (*Mangifera indica* L.), cherimoya (*Annona cherimola* Mill), loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) And avocado (*Persea americana* Mill), using the bag technique. The cherimoya had the highest rates of litter decomposition, while the mango was the most persistent. Decay constants (k) for mango, loquat, avocado and cherimoya were 0.64, 0.84, 0.80 and 1.30 year⁻¹, respectively. The loquat and mango nitrogen was immobilized during the first months in 73 and 21%, respectively, and then released. In contrast with the cherimoya and avocado leaves which did not experience periods of immobilization. The study of nutrient dynamics release in an agricultural soil and in particular cultivation terraces is very important to predict the availability and recycling of plant nutrients and hence their environmental implications.

Key words: nutrient cycling, sustainable agroecosystems, litter decomposition, nitrogen immobilization.

Introducción

La descomposición de la hojarasca es el conjunto de procesos físicos y químicos por los cuales ésta se reduce a sus constituyentes químicos básicos (Aerts, 1997). Es además el proceso más importante de reciclado de nutrientes en cualquier ecosistema, ya que por medio de la descomposición de la hojarasca, los nutrientes vuelven a estar disponibles para las plantas y se mejoran los suelos, ya que aporta estructura y capacidad de retención agua y nutrientes (Mc Tiernan et al., 2003). La descomposición de la materia orgánica constituye asimismo uno de los flujos principales del ciclo del carbono (C), ya que una gran parte de este elemento se devuelve a la atmósfera por la respiración de los organismos descomponedores (Aerts, 1997; Shiels, 2006). Este proceso, depende de varios factores: las condiciones ambientales, la composición química inicial de la propia hojarasca y de los organismos del suelo (Swift et al., 1979; Beare et al., 1992; O'Neill et al., 2003). Se ha propuesto que estos factores ejercen un control jerárquico sobre la descomposición, debido a la regulación de la actividad microbiana al bajar en las escalas de espacio y tiempo: clima > composición química de la hojarasca > organismos del suelo (Lavelle et al., 1993). En este sentido, la composición química inicial de hojarasca determina la velocidad con la que ésta se descompone. Así, uno de los índices de calidad de la hojarasca que más se ha utilizado para predecir la descomposición, es la relación carbono:nitrógeno (C:N) (Heal et al., 1997). En este sentido, Vitousek et al. (1994) y Thompson & Vitousek (1997) observaron que, entre otros, factores como la disponibilidad de N limita la descomposición.

Los procesos de descomposición de hojarasca se han estudiado ampliamente en ecosistemas tropicales y subtropicales (Heneghan et al., 1998; Pandey et al., 2007), semiáridos (Tateno et al., 2007), templados (Magill & Aber, 2000; Cookson et al., 2007) y en condiciones mediterráneas (Moro & Domingo, 2000; Ribeiro et al. 2002). Sin embargo, los estudios sobre las tasas de descomposición de hojarasca y de mineralización/inmovilización de nutrientes en los cultivos que se utilizaron en este estudio son muy escasos. La disponibilidad limitada y/o el alto coste de los fertilizantes minerales, además de las nuevas exigencias del consumidor (técnicas de agricultura ecológica) hacen que los sistemas de cultivo tiendan a reducir la necesidad de aportes externos al sistema. Cada año, una buena parte de los nutrientes que son absorbidos por las plantas, se devuelven al suelo por medio de la descomposición de hojas, restos de poda, abscisión de órganos, etc. Por ello, es primordial conocer y maximizar los beneficios de la descomposición de estos residuos, así como de las tasas de reciclado de sus nutrientes.

En la costa de Granada y Málaga (SE

España), se ha desarrollado una agricultura intensiva en terrazas de cultivo basada en los cultivos tropicales y subtropicales. Entre ellos, destacan el mango (*Mangifera indica* L.), el aguacate (*Persea americana* Mill.), el chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.) y otros (Durán et al., 2003; Durán et al., 2006; Durán & Franco, 2006). En este experimento se estudiaron las tasas de descomposición de hojarasca de dichos cultivos y del reciclado del N, relacionando dichas tasas con las propiedades iniciales de la hojarasca.

Material y Métodos

Descripción del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la finca experimental "El Zahorí", en la región de Almuñécar, Granada (36°48'00"N, 3°38'00"W) (España) (Figura 1). En esta zona se han construido terrazas en laderas para el cultivo de frutales tropicales y subtropicales con un alto riesgo de erosión (Durán et al., 2005). Estas estructuras tienen una longitud de 100-160 m, 2-3 m de ancho y una altura (del talud) de 3-5 m. El clima de la zona pertenece a la categoría de Mediterráneo subtropical (Elías & Ruíz, 1977). La precipitación media es de 449,0 mm. Los suelos de la zona de estudio corresponden a Typic Xerorthent de acuerdo a la Soil Survey Staff (1999), con 684 g kg⁻¹ de arena, 235 g kg⁻¹ de limo y 81 g kg⁻¹ de arcilla; 9.4 g kg⁻¹ de materia orgánica, 0.7 g kg⁻¹ de N, 14.6 mg kg⁻¹ de P y 178.7 mg kg⁻¹ de potasio asimilable. Durante el desarrollo del estudio no hubo ningún tipo de cobertura vegetal, solamente los cultivos subtropicales con los que se trabajó.

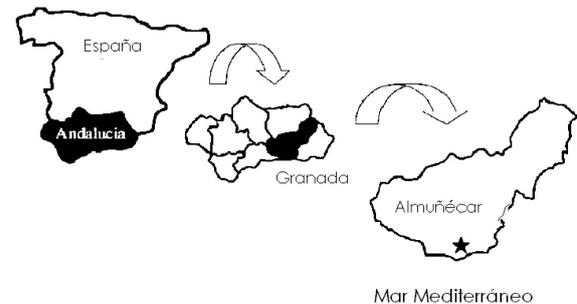


Figura 1. Localización del área de estudio en el sureste de España.

Recogida de hojarasca, embolsado, retirada de las muestras y análisis químicos

Las plantas estudiadas en este experimento fueron las siguientes: mango (*Mangifera indica* L.), chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.), níspero (*Eriobotrya japonica* Lindl.) y aguacate (*Persea americana* Mill.). Las hojas senescentes se recogieron de los árboles en marzo de 2007, una parte de esas hojas se secaron en estufa a 70° C hasta peso constante para determinar contenidos iniciales de C y N. Otra parte de las hojas de cada especie con masa inicial conocida, se introdujeron en bolsas de nylon de 50 x 25 x 1 mm. La malla de nylon

empleada fue de 1 mm de luz, suficientemente pequeña para prevenir pérdidas de biomasa importantes, y que al mismo tiempo permita la actividad microbiana aeróbica y la entrada libre de animales pequeños del suelo. Las bolsas se cerraron cosiéndolas con hilo de nylon y se colocaron en el suelo sujetadas por grapas, para prevenir que se perdieran por roedores, jabalís o por escorrentías superficiales. Para cada especie se colocaron 36 bolsas. Se realizaron tres recogidas: septiembre de 2007, marzo de 2008 y septiembre de 2008. Cada vez que se recuperaron bolsas, se cogían 12 de cada especie y completamente al azar. El ensayo por tanto constó de 144 bolsas en total (12 bolsas por recogida x 3 recogidas x 4 especies). Tras cada retirada de bolsas, se llevaron al laboratorio, donde se lavaron con agua destilada hasta eliminar completamente la tierra adherida y, manualmente, se retiraban las raíces de otras plantas que penetraban a menudo en las bolsas. La biomasa de las bolsas se secó en estufa a 70°C hasta peso constante y se volvieron a pesar. Finalmente, se molieron las muestras y se procedió a su análisis químico.

El C y N tanto de la biomasa remanente de las bolsas, como de las muestras iniciales se determinaron con un analizador elemental (FISON EA 1108 CHNSO, Carlo Erba®). Los análisis de suelos para caracterizar las propiedades más importantes se hicieron de acuerdo a los métodos oficiales (MAPA, 1994).

Medidas

La pérdida de masa a lo largo del tiempo se expresó con el modelo decreciente de pérdida exponencial:

$$W_t = W_0 e^{-kt} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde W_t es la cantidad de material vegetal en el instante t y W_0 es la cantidad de material en el instante inicial. De esta ecuación se calculó la constante de descomposición k (año⁻¹) (Olson, 1963):

$$k = -\ln (W_t/W_0) \quad (\text{Ec. 2})$$

En este modelo el tiempo requerido para que se descomponga el 50 y el 99% de la hojarasca se calculan como:

$$t_{0,5} = \ln 0,5 / k \quad (\text{Ec. 3})$$

$$t_{0,99} = \ln (1-0,99) / k \quad (\text{Ec. 4})$$

El tiempo $t_{0,99}$ se utiliza para disponer de una aproximación del tiempo necesario para que desaparezca la casi totalidad de la hojarasca, ya que el modelo exponencial negativo describe una curva que tiende asintóticamente a cero. Del mismo modo, se calculó también el tiempo medio de permanencia (T_p), estimado como la inversa de k (Olson, 1963; Waring & Schlesinger,

1985; Songwe et al., 1995)

$$T_p = 1 / k \quad (\text{Ec. 5})$$

Análisis estadístico

Las pérdidas de biomasa, el contenido de C y N, y la relación C:N fueron evaluadas por medio de un análisis de la varianza (ANOVA) con el tiempo transcurrido y la planta como factores principales, empleando el programa informático SPSSv 15.0. Asimismo, se establecieron relaciones lineales entre parámetros de calidad de la hojarasca (C:N y % N) y las pérdidas de biomasa.

Resultados y Discusión

Tasas de descomposición de hojarasca

La Figura 2 muestra la disminución de la biomasa remanente de las muestras de las hojas a través del tiempo. El modelo exponencial decreciente presentó un buen ajuste para las cuatro especies estudiadas ($p < 0,05$). Las constantes de descomposición (k) para mango, níspero, aguacate y chirimoyo fueron de 0,64, 0,84, 0,80 y 1,30 años⁻¹, respectivamente. Por tanto, el mango fue la planta más persistente, ya que su k fue 2,03 veces la de chirimoyo. En este sentido, el tiempo medio de permanencia más alto se registró en mango y el más bajo en chirimoyo de 1,56 y 0,77 años, respectivamente (Tabla 1). De hecho, en la primera recuperación de bolsas, que tuvo lugar 159 días después de su colocación, se había perdido el 63,2% de biomasa de chirimoyo, mientras que de mango, solo un 36,0%. Como es característico en los procesos de descomposición, se observó una fuerte pérdida de peso durante los primeros meses, seguidos de un periodo de descomposición más lenta (Figura 3). Así, las tasas medias diarias de descomposición de hojarasca fueron de 1,62 a 3,97, 1,43 a 3,37, 1,36 a 2,51 y de 1,14 a 2,26 para chirimoyo, aguacate, níspero y mango, respectivamente. La evolución de la biomasa remanente de hojarasca en el tiempo dejando como variable fija la planta estudiada, tuvo diferencias significativas en el tiempo (Figura 4). Las cuatro plantas estudiadas tuvieron un patrón similar de descomposición, existiendo diferencias significativas en la biomasa remanente entre las recogidas, exceptuando en el aguacate, en la que solo se diferencia estadísticamente el inicio (tiempo = 0 días) del resto de recogidas (Figura 4). Al final del periodo de estudio, la biomasa remanente del chirimoyo, aguacate, níspero y mango fue del 13,4, 23,2, 26,9 y 38,3% de la biomasa inicial, respectivamente. Es decir, la biomasa remanente de mango fue casi tres veces la de chirimoyo. En este sentido, Mubarak et al. (2008) obtuvieron que la biomasa remanente en mango al final de su ensayo (3 meses) fue un 60%, y que el 50% de pérdida de biomasa ($t_{0,5}$), que se estimaba según el modelo de Olson (1963), fue de 4,4 meses aproximadamente. Por lo tanto, la mitad de biomasa en este ensayo se descompuso más tarde, puesto que a los 159

días (aproximadamente 5,3 meses), la biomasa remanente en mango era todavía del 64,7%. Asimismo, estos autores estimaron una constante de descomposición para mango de 2,08 años⁻¹, 3,3 veces mayor que la obtenida en este estudio. Por el contrario, Musovoto et al. (2000) determinaron que 18 meses después de colocar las bolsas en el suelo, el 45% de la biomasa de

mango aun permanecía.

Los resultados distintos entre autores para una misma planta, se deben lógicamente a las diferencias en el clima y suelo entre los distintos lugares de estudio. En esta misma línea, Vasconcelos et al. (2007) obtuvieron constantes de descomposición para *Annona paludosa* de 1,13 años⁻¹ en un experimento en el Amazonas brasileño. Finalmente en relación a las tasas de descomposición para el chirimoyo, níspero y aguacate aún no se han realizado estudios.

La relación C:N en las hojas iniciales (las no embolsadas) fue un buen índice de degradabilidad en este ensayo (R² = 0,70), ya que al establecer una relación entre C:N inicial y la biomasa remanente al final del estudio, obtuvimos la siguiente ecuación: BR = 0,97 * C:N + 0,94, siendo BR la biomasa remanente.

Por tanto, el chirimoyo contribuyó de forma más rápida al reciclado de la hojarasca, comparada con el resto de las plantas estudiadas, probablemente debido al tipo de hojas, mucho menos duras y coriáceas que las del mango, aguacate y níspero.

Dinámica y reciclado del nitrógeno en la hojarasca

Las plantas estudiadas mostraron una amplia variabilidad entre las concentraciones de N. La concentración de N teniendo en cuenta todo el periodo de estudio fue distinta estadísticamente (p < 0,05) entre las especies, y fue máxima para el chirimoyo y mínima para mango (3,23 y 1,71%, respectivamente). Sin embargo, las concentraciones en mango no fueron diferentes significativamente al aguacate y níspero (2,20 y 1,78%, respectivamente). Para las cuatro especies, se encontró una fuerte relación lineal negativa entre la concentración de N en las hojas iniciales y la biomasa remanente al final del estudio (r = -0,71; BR = 42,2 - 11,5 * N; p < 0,05). Esta relación negativa entre la biomasa remanente y la concentración de nutrientes en las hojarascas es muy común en muchos otros tipos de plantas, tal y como demostraron varios autores (Aber & Melillo, 1980; Blair, 1988; Gallardo & Merino, 1992). La Figura 5a muestra la evolución del contenido en N en el periodo de estudio. Del mismo modo, para estudiar la dinámica neta del mismo, se expresa el N en cada recogida como porcentaje del N inicial (Figura 5b). Por lo general, la dinámica del N se caracteriza por una inmovilización neta al principio (debido a la incorporación de N por parte de la biomasa microbiana en la hojarasca de la zona que rodea a ésta) y posterior liberación neta. Esta inmovilización neta inicial se demostró también en otros ecosistemas de clima templado (Hasegawa & Takeda, 1996; Enoki & Hawaguchi, 2000). En este estudio, la cantidad de N inmovilizado dependió del tipo de especie. En mango y níspero, que fueron las especies que tuvieron unas relaciones iniciales C:N más altas (31 y 30, respectivamente), se encontraron las

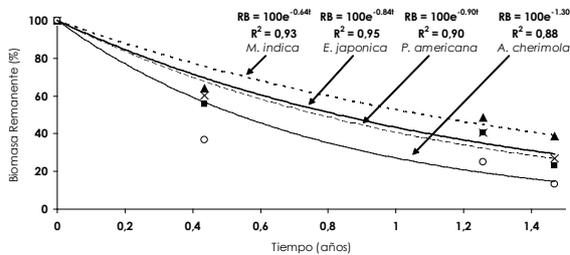


Figura 2. Evolución de la hojarasca en el tiempo ajustado al modelo exponencial de Olson (1993) Ec. 1)

Tabla 1. Constantes de descomposición, t_{0,5}, t_{0,99} y tiempos medios de permanencia de las especies estudiadas.

Árbol frutal	k (años ⁻¹)	t _{0,5} (años)	t _{0,99} (años)	T _p
<i>Mangifera indica</i>	0,64	1,08	7,19	1,56
<i>Eryobotria japonica</i>	0,84	0,82	5,48	1,19
<i>Persea americana</i>	0,90	0,77	5,11	1,11
<i>Annona cherimola</i>	1,30	0,53	3,54	0,77

k, constante de descomposición (Ec. 1); t_{0,5}, tiempo requerido para que se descomponga el 50% de la biomasa (Ec. 2); t_{0,99}, tiempo requerido para que se descomponga el 99% de la biomasa (Ec. 3); T_p, tiempo medio de permanencia (Ec. 4).

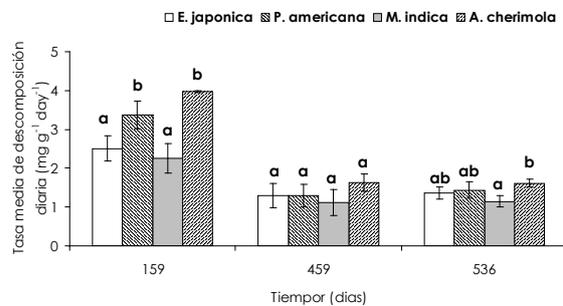


Figura 3. Tasas medias diarias de descomposición de hojarasca para cada recogida. Las barras verticales indican la desviación estándar. Las letras distintas dentro de cada recogida indican diferencias significativas entre plantas (p < 0,05)

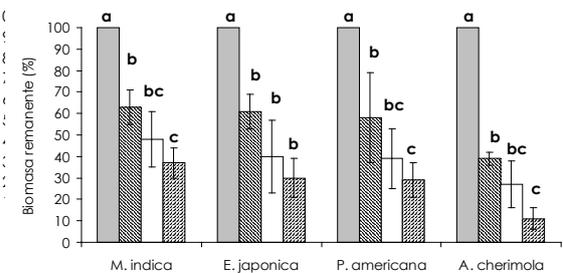


Figura 4. Evolución en el tiempo de la biomasa remanente dejando como variable fija la planta. Las barras verticales indican la desviación estándar. Las letras distintas en la misma planta estudiada indican diferencias significativas en el tiempo (p < 0,05)

máximas cantidades de N inmovilizado (Figuras 5a y 5b). Por el contrario aguacate y chirimoyo, las especies con la relación C:N inicial más baja, tuvieron las cantidades más altas de N liberado. Esta movilización neta de N en chirimoyo y aguacate tuvo lugar después de los primeros 159 días y fue muy acentuada, probablemente porque su concentración superó las necesidades de los descomponedores (Swift et al., 1979; Vogt et al., 1986). Por lo tanto, durante los cuatro primeros meses, en mango y níspero tuvo lugar una inmovilización neta de N del 21 y 73%, respectivamente, mientras que por el contrario, en chirimoyo y aguacate se produjo una movilización neta del 12 y 7%, respectivamente. En este sentido, Musovoto et al. (2000) obtuvieron durante su ensayo de descomposición de mango concentraciones de N 1,95 veces superiores a las iniciales bajo condiciones tropicales. Estos aumentos en la concentración de N se deben a mecanismos como inmovilización microbiana de N (Koeing & Cochran, 1994), translocación por hongos y otros procesos relacionados con insectos (Melillo et al., 1982).

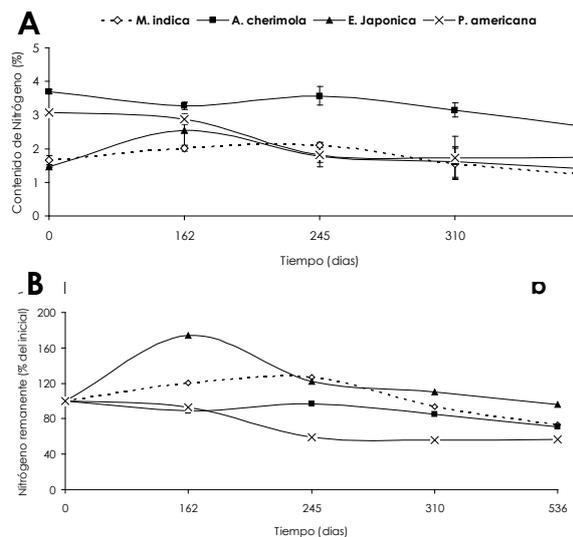


Figura 5. Evolución del contenido de nitrógeno en la hojarasca de las plantas estudiadas (A) y el contenido de nitrógeno como porcentaje del contenido inicial en las hojas (B)

Conclusiones

Este trabajo muestra la importancia del estudio de la descomposición de hojarasca y dinámica del N en un sistema de cultivo de especies tropicales y subtropicales, ya que ambos procesos están muy relacionados con el reciclado de nutrientes y la contribución a la fertilidad natural del suelo sin necesidad de inputs artificiales. Las hojas de chirimoyo y níspero se descompusieron más rápidamente que las de mango y aguacate. Además, las hojas de chirimoyo contribuyeron a un reciclado del N rápido, por lo que podrían contribuir las incorporaciones a corto plazo de N en suelo, mientras que mango y níspero a largo plazo. Estos factores se deberán tener en cuenta a la hora

de una posible planificación de la fertilización del suelo bajo determinados sistemas de producción como la agricultura ecológica o integrada, ya que en ambos sistemas de producción sostenibles, hay una tendencia cada vez mayor a limitar el uso de fertilizantes inorgánicos. Por lo tanto, es de extrema importancia evaluar la eficiencia en el uso de las fuentes naturales de nutrientes que residen en la propia plantación y reducir las incorporaciones de productos de síntesis, para de este modo conciliar la producción frutal, con los aspectos medioambientales.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el proyecto de investigación "Impacto medioambiental del cultivo de especies subtropical en terrenos con fuertes pendientes. Medidas integradas para la agricultura sostenible" (RTA05-00008-00-00), concedido por el INIA-Ministerio de Ciencia e Innovación, y cofinanciado por fondos FEDER.

Referencias

- Aber, J.D., Melillo, J.M. 1980. Litter decomposition: measuring relative contributions of organic matter and nitrogen to forest soils. *Canadian Journal of Botany* 58: 416-421.
- Aerts, R. 1997. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos* 79: 439-449.
- Beare, M.H., Parmelee, R.W., Hendrix, P.F., Cheng, W., Coleman, D.C., Crossley, D.A. 1992. Microbial and faunal interactions and effects on litter nitrogen and on decomposition in agroecosystems. *Ecological Monographs* 62: 569-591.
- Blair, J.M. 1988. Nitrogen, sulfur and phosphorous dynamics in decomposing deciduous leaf litter in the southern Appalachians. *Soil Biology and Biochemistry* 20: 693-701.
- Cookson, W.R., Osman, M., Marschner, P., Abaye, D.A., Clark, I., Murphy, D.V., Stockdale, E.A., Watson, C.A. 2007. Controls on soil nitrogen cycling and microbial community composition across land use and incubation temperature. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 744-756.
- Durán, Z.V.H., Martínez, R.A., Aguilar, R.J., Franco, T.D. 2003. *El cultivo del mango (Mangifera indica L.) en la costa Granadina, Granada, España*. Grancopycenter, Granada, España. 142 p.
- Durán, Z.V.H., Martínez, R.A., Aguilar, R.J., Franco T.D. 2005. Impact of erosion in the taluses of subtropical orchard terraces. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 107: 199-210.
- Durán, Z.V.H., Rodríguez, P.C.R., Franco, T.D., Martín, P.F.J. 2006. *El cultivo del chirimoyo (Annona*

- cherimola Mill.). Grancopycenter, Granada, España. 106 p.
- Durán, Z.V.H., Franco, T.D. 2006. Rootstock influence on fruit yield, growth and mineral nutrition of mango (*Mangifera indica* L. cv. Keitt). *European Journal of Horticultural Science* 71: 102-108.
- Elías, F., Ruiz, L. 1977. *Agroclimatología de España*. I.N.I.A, Madrid, España. 29 p. (Cuaderno I.N.I.A. 7).
- Enokí, T., Hawaguchi, H. 2000. Initial nitrogen and topographic moisture effects on the decomposition of pine needles. *Ecological Research* 15: 425-434.
- Gallardo, A., Merino, J. 1992. Nitrogen immobilization in leaf litter in two Mediterranean ecosystems of SW Spain. *Biogeochemistry* 15: 213-228.
- Hasegawa, M., Takeda, H. 1996. Carbon and nutrient dynamics in decomposing pine needle litter in relation to fungal and faunal abundances. *Pedobiologia* 40: 171-184.
- Heal, O.W., Anderson, J.M., Swift, M.J. 1997. Plant litter quality and Decomposition: An Historical Overview. In: Cadish, G., Giller, K.E. (eds.). *Driven by Nature. Plant litter quality and decomposition*. University Press, Cambridge, UK. p. 3-32.
- Heneghan, L., Coleman, D.C., Zou, X., Crossley Jr., D.A., Haines, B.L. 1998. Soil microarthropod community structure and litter decomposition dynamics: a study of tropical and temperate sites. *Applied Soil Ecology* 9: 33-38.
- Koeing, R.T., Cochran, V.L. 1994. Decomposing and nitrogen mineralization from legume and non-legume crops residues in a subarctic agricultural soil. *Biology and Fertility of Soils* 17: 269-275.
- Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Spain, A., Toutain, F., Barois, I., Schaefer, R. 1993. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soil of the humid tropics. *Biotropica* 25: 130-150.
- Magill, A.H., Aber, J.D. 2000. Dissolved organic carbon and nitrogen relationships in forest litter as affected by nitrogen deposition. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 603-613.
- MAPA. 1994. *Métodos Oficiales de Análisis*. Tomo III Secretaría General Técnica del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España. 507 p.
- Mc Tiernan, K.B., Couteaux, M.M., Berg, B., Berg, M.P., de Anta, R.C., Gallardo A., Kratz, W., Piusi, P., Remacle, J., de Santo, A.V. 2003. Changes in chemical composition of *Pinus sylvestris* needle litter during decomposition along a European coniferous forest climatic transect. *Soil Biology and Biochemistry* 35: 801-812.
- Melillo, J.M., Aber, J.D., Muratore, J.F. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology* 63: 621-626.
- Moro, M.J., Domingo, F. 2000. Litter decomposition in four woody species in a Mediterranean climate: weight loss, N and P dynamics. *Annals of Botany* 86: 1065-1071.
- Mubarak, A.R., Elbashir, A.A., Elamin, L.A., Daldoum, D.M.A., Steffens, D., Benckiser, G. 2008. Decomposition and nutrient release from litter fall in the semi-arid tropics of Sudan. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39: 2359-2377.
- Musovoto, C., Campbell, B.M., Kirchmann, H. 2000. Decomposition and nutrient release from mango and miombo woodland litter in Zimbabwe. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 1111-1119.
- Olson, J.S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 44: 322-331.
- O'Neill, E.G., Johnson, D.W., Ledford, J., Todd, D.E. 2003. Acute seasonal drought does not permanently alter mass loss and nitrogen dynamics during decomposition of red maple litter. *Global Change Biology* 9: 117-123.
- Pandey, R.R., Sharma, G., Tripathi, S.K., Singh, A.K. 2007. Litterfall, litter decomposition and nutrient dynamics in a subtropical oak forest and managed plantation in northeastern India. *Forest Ecology and Management* 249: 96-104.
- Ribeiro, C., Madeira, M., Araújo, M.C. 2002. Decomposition and nutrient release from leaf litter of *Eucalyptus globulus* Brown under different water and nutrient regimes. *Forest Ecology and Management* 171: 31-41.
- Shiels, A.B. 2006. Leaf litter decomposition and substrate chemistry of early successional species on landslides in Puerto Rico. *Biotropica* 38: 348-353.
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy: a Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. USDA, Washington, USA. 869 p. (Agric. Handbook No. 436)
- Songwe, N.C., Okali, D.V.V., Fasehum, F.E. 1995. Litter decomposition and nutrient release in a tropical rainforest, Southern Bakkundu Forest Reserve, Cameroon. *Journal of Tropical Ecology* 11: 333-350.
- Swift, M.J., Heal, O.W., Anderson, J.M. 1979. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. University of California Press, Berkeley, USA. 3-48 p.
- Tateno, R., Tokuchi, N., Yamanaka, N., Du, S., Otsuki, K., Shimamura, T., Xue, Z., Wang, S., Hou, Q. 2007. Comparison of litterfall production and leaf litter decomposition between an exotic black locust plantation and an indigenous oak forest near Yan'an on the Loess Plateau, China. *Forest Ecology and Management* 241: 84-90.
- Thompson, M., Vitousek, P. 1997. Asymbiotic nitrogen fixation and litter decomposition on a long soil-age gradient in Hawaiian Montane Rain Forest. *Biotropica* 29: 134-144.

Vasconcelos, S.S., Zarín, D.J., da Rosa, M.B., Oliveira, F.A., Carvalho, C.J.R. 2007. Leaf decomposition in a dry Season irrigation experiment in Eastern Amazonian forest regrowth. *Biotropica* 35: 593-600.

Vitousek, P., Turner, D., Parton, W., Sanford, R. 1994. Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matrix, Hawai I: patterns, mechanisms and models. *Ecology* 75: 418-429.

Vogt, K.A., Grier, C.C., Vogt, D.J. 1986. Production, turnover and nutrient dynamics of above- and belowground detritus of world forests. *Advances in Ecological Research* 15: 303-370.

Waring, E.H., Schlesinger, W.H. 1985. *Forest ecosystems*. Academic Press, Orlando, USA. 340 p.