

Dinámica de la humedad del suelo y la fitomasa de raíces en ecosistemas de la Sierra del Rosario, Cuba

Dynamics of soil moisture and root phytomass in ecosystems of Sierra del Rosario, Cuba

L. Hernández y J. A. Sánchez

*Instituto de Ecología y Sistemática, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente,
Carretera de Varona Km 3 ½ Capdevila, Boyeros, C.P. 11900, La Habana 19, Cuba
E-mail: wicho@ecologia.cu*

Resumen

Se estudió la dinámica de la humedad del suelo y la fitomasa de raíces finas (< 1,0 mm) en siete ecosistemas, con diferentes condiciones de suelo y tipo de vegetación, de la Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario, Cuba. Cinco sitios provenían de bosques tropicales siempreverdes mesófilos (vegetación predominante en la reserva), otro perteneció a un bosque tropical siempreverde micrófilo y también se incluyó una sabana arbustiva. La humedad del suelo se determinó cada semana durante un año, a 0-5 y 5-15 cm de profundidad; cada semana se colectaron cinco muestras por localidad. Para la determinación de la fitomasa de raíces se muestrearon cuatro meses del año en estudio (dos en la estación poco lluviosa y dos en la lluviosa), en los mismos puntos donde se estudió la humedad del suelo. Esta última varió de acuerdo con la localidad y fue menor en los sitios secos (bosque micrófilo y sabana); entre los bosques mesófilos estas diferencias fueron menos pronunciadas. En general, la capa de suelo 0-5 cm, en todas las localidades, mantuvo una mayor humedad y producción de raíces finas que la capa de 5-15 cm. La fitomasa de raíces cambió con las estaciones climáticas y los valores más altos se hallaron en el bosque micrófilo, donde la humedad del suelo es menor. Los resultados demostraron la importancia de la primera capa del suelo en la dinámica de la humedad del sustrato y de la fitomasa de raíces finas.

Palabras clave: Bosque tropical, contenido de agua en el suelo, pastizales, raíces

Abstract

The dynamics of soil moisture and fine root phytomass (< 1,0 mm) was studied in seven ecosystems, with different soil conditions and vegetation types, of the Sierra del Rosario Biosphere Reserve, Cuba. Five sites were from tropical evergreen mesophyllous forests (prevailing vegetation in the reserve), another one belonged to a tropical evergreen microphyllous forest and a shrubby savanna was also included. Soil moisture was determined to a depth of 0-5 cm, and 5-15 cm every week during a year. Each week five samples were collected per site. For the determination of the root phytomass samplings were made in four months of the year under study (two in the dry season and two in the rainy season), in the same spots where soil moisture was studied. This last variable varied according to the site, and it was lower in the dry sites (i.e., microphyllous forest and savanna); among evergreen forests these differences were less pronounced. In general, the 0-5cm soil layer, in all sites, maintained higher humidity and fine root production than the 5-15 cm layer. Root phytomass changed with season, and the highest values were found in the microphyllous forest where soil moisture is lower. The results showed the importance of the first soil layer in the dynamics of soil moisture and fine root phytomass.

Key words: Pasturelands, roots, soil water content, tropical forest

Introducción

El agua en forma de lluvia es un recurso vital para el desarrollo de la vegetación en la mayor parte del mundo. Las características principales del agua de lluvia, en cuanto a su utilidad, son: su cantidad, su frecuencia y su intensidad, cuyos valores varían considerablemente de un lugar a otro (Bucci *et al.*, 2004; Hernández y Sánchez, 2009). En Cuba, un país subtropical, la estacionalidad de las lluvias es muy marcada y tienen gran variabilidad los factores antes mencionados. También las lluvias varían de acuerdo con los años, debido al paso de los ciclones y los frentes fríos.

Estos aspectos climáticos determinan el tipo de formación vegetal que caracteriza un sitio, pero el suelo también influye significativamente en esta distribución. De hecho, se conoce que los cambios hidrológicos proporcionan el desarrollo de diferentes comunidades vegetales, que están estrechamente relacionadas con las variaciones drásticas de los tipos de suelo (Herrera, 2007). Además, la interacción planta-suelo que se establece en las formaciones boscosas difiere considerablemente de la que ocurre en las formaciones herbáceas, lo que implica que estas comunidades vegetales tengan características edafoclimáticas bien distintas (Bazzaz, 1996).

Para la región occidental de Cuba, existe una base teórico-práctica de la ecología de los bosques húmedos y secos de la Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario (RBSR), donde aparece información del clima, el suelo, la vegetación y los eventos ecofisiológicos de regeneración y crecimiento de las plantas de la región (Sagué y Hernández, 1978; Herrera *et al.*, 1988a; Herrera *et al.*, 1997; Mancina *et al.*, 2007; Hernández y Sánchez, 2009; Sánchez *et al.*, 2009). También en la RBSR se ha estudiado la humedad del suelo y su relación con la producción de fitomasa subterránea de las comunidades herbáceas (Sagué y Hernández, 1978; Herrera *et al.*, 1988b); sin embargo, estos estudios aún son muy escasos para las formaciones vegetales de la RBSR y para otras regiones submontanas y montañosas de Cuba (Hernández *et al.*, 2006; Hernández y Rodríguez, 2011). En general, a

Introduction

Water in rain form is an essential resource for vegetation development throughout the world. The main characteristics of rainwater, regarding its usefulness, are primarily: its amount, its frequency and intensity; which values considerably vary from one place to another (Bucci *et al.*, 2004; Hernández and Sánchez, 2009). In Cuba, a subtropical country, rain seasonality is highly marked and the above-mentioned factors have large variability. Rains also vary according to the years, due to the passing of cyclones and cold fronts.

These climate aspects determine the type of plant formation that characterizes a site, but the soil also influences significantly this distribution. In fact, hydrological changes are known to provide the development of different plant communities, which are closely related to the drastic variations of soil types (Herrera, 2007). In addition, the plant-soil interaction which is established in forest formations considerably differs from the one which occurs in herbaceous formations, implying that these plant communities have distinct edaphoclimatic characteristics (Bazzaz, 1996).

For the western region of Cuba, there is a theoretical-practical basis of the ecology of humid and dry forests of the Sierra del Rosario Biosphere Reserve (SRBR), where there is information of climate, soil, vegetation and ecophysiological events of plant regeneration and growth in the region (Sagué and Hernández, 1978; Herrera *et al.*, 1988a; Herrera *et al.*, 1997; Mancina *et al.*, 2007; Hernández and Sánchez, 2009; Sánchez *et al.*, 2009). In the SRBR, soil moisture and its relation to the production of underground phytomass of the herbaceous communities have also been studied (Sagué and Hernández, 1978; Herrera *et al.*, 1998b); however, these studies are still very scarce for the plant formations of the SRBR and other submountain and mountainous regions of Cuba (Hernández *et al.*, 2006; Hernández and Rodríguez, 2011). In general, worldwide, the published data about fine root production and renewal in tropical mountain forests are very

nivel mundial también son muy limitados los datos publicados sobre la producción y renovación de las raíces finas en los bosques tropicales de montaña, aunque se conoce que el tamaño, la estructura y la dinámica del sistema radical de los árboles son factores importantes para la estabilidad de la pendiente y la retención de los nutrientes del suelo (Hertel *et al.*, 2003). Esto evidencia la necesidad de conocer la estructura y el funcionamiento del sistema radical de los bosques tropicales, para proteger y manejar adecuadamente dichos ecosistemas, que están entre los más vulnerables de la Tierra (FAO, 2011).

Por su parte, las grandes diferencias en la cantidad y la actividad de las raíces finas en los sistemas montañosos (Priess *et al.*, 1999; Hertel *et al.*, 2003) pueden ser el resultado de las diferencias en la composición de las especies, los tipos de suelo, la elevación del sitio, la humedad del suelo y el impacto humano (Hertel *et al.*, 2003), tal como ha sido informado para distintas vegetaciones herbáceas cubanas; pero este aspecto aún está por definir para la vegetación boscosa de la llanura y de la montaña de la RBSR.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue caracterizar la dinámica de la humedad del suelo y la producción de raíces finas ($< 1,0$ mm) en siete ecosistemas de la RBSR, que representan distintas formaciones boscosas y una sabana típica de la región.

Materiales y Métodos

Descripción general de sitio. La RBSR se localiza en la parte más oriental de la Sierra del Rosario, Artemisa, Cuba ($22^{\circ} 45' N$, $82^{\circ} 50' O$) y tiene una extensión de 25 000 ha. El sistema montañoso está fuertemente diseccionado y las alturas varían entre 100 y 565 m. La precipitación total durante el año de estudio (abril/1987-marzo/1988) fue de 1 631 mm (abril, mayo y diciembre fueron los meses más secos y las máximas lluvias cayeron durante agosto, septiembre y octubre); este año puede considerarse muy seco, dado que en la RBSR la precipitación total anual promedio es de 2 013 mm, con una pronunciada estación seca desde diciembre hasta marzo (Herrera *et al.*, 1997; Hernández y Sánchez, 2009). La temperatura media anual del

limited too, although it is known that the size, structure and dynamics of the root system of trees are important factors for slope stability and soil nutrient retention (Hertel *et al.*, 2003). This proves the need to learn the structure and functioning of the root system of tropical forests, in order to protect and adequately manage such ecosystems, which are among the most vulnerable on Earth (FAO, 2011).

On the other hand, the large differences in the quantity and activity of fine roots in mountain ecosystems (Priess *et al.*, 1999; Hertel *et al.*, 2003), can be the result of the differences in the species composition, soil types, site elevation, soil moisture and human impact (Hertel *et al.*, 2003), as has been reported for different Cuban herbaceous vegetations; but this aspect is yet to be defined for the plain and mountain vegetation of the SRBR.

Thus, the objective of this study was to characterize the dynamics of soil moisture and fine root production ($< 1,0$ mm) in seven ecosystems of the SRBR, which represent different forest formations and a typical savanna of the region.

Materials and Methods

General site description. The SRBR is located in the easternmost part of Sierra del Rosario, Artemisa, Cuba ($22^{\circ} 45' N$, $82^{\circ} 50' W$) and it has an extension of 25 000 ha. The mountainous system is highly dissected and heights vary between 100 and 565 m. Total rainfall during the studied year (April/1987-March/1988) was 1 631 mm (April, May and December were the driest months and the maximum rainfall occurred during August, September and October); this year can be considered very dry, because in the SRBR total annual average rainfall is 2 013 mm, with a pronounced dry season from December to March (Herrera *et al.*, 1997; Hernández y Sánchez, 2009). Mean annual air temperature was $24,2^{\circ}C$. The flora, vegetation and geology of the SRBR were widely described by Herrera *et al.* (1988a). The reserve soils are varied and according to Hernández *et al.* (1988) Fersiallitic and Brown soils prevail. The most extended vegetation is

aire fue de 24,2°C. La flora, la vegetación y la geología de la RBSR se describieron ampliamente por Herrera *et al.* (1988a). Los suelos de la reserva son variados y según Hernández *et al.* (1988) predominan los Fersialíticos y los Pardos. La vegetación más extendida es el bosque tropical siempreverde mesófilo, con árboles de hasta 25 m de altura (Herrera *et al.*, 1997).

Humedad del suelo y fitomasa de las raíces. Para determinar la humedad del suelo y la fitomasa de las raíces finas, se seleccionaron siete localidades representativas de la vegetación de la RBSR (tabla 1), entre ellas cinco localidades de bosque siempreverde mesófilo: dos en las subcuencas del sitio del Mulo (Mu) y el Macagual (Ma) y tres en localidades del Salón: Macurije (M), Helechal (H) y Jagüey (J). En la subcuenca

tropical mesophyllous evergreen forest, with trees up to 25 m high (Herrera *et al.*, 1997).

Soil moisture and root phytomass. In order to determine soil moisture and fine root phytomass, seven sites representative of the SRBR vegetation were chosen (table 1), among them five localities of mesophyllous evergreen forest: two in the sub-basins of the sites Mulo (Mu) and Macagual (Ma) and three in the Salón localities: Macurije (M), Helechal (H) and Jagüey (J). In the sub-basin of the site known as "Las Peladas" two areas were chosen: one belonging to an evergreen microphyllous forest (Pb) and the other to a shrubby savanna (Ps). In all the ecosystems a 20 x 20 m plot was selected, representative of the plant community. Soil moisture (dry basis) was determined during a

Tabla 1. Características físicas, edáficas y bióticas de los sitios estudiados en la RBSR.

Table 1. Physical, edaphic and biotic characteristics of the studied sites in the SRBR.

Sitio/Altitud	Exposición/ Pendiente	Altura vegetación (m)	Tipo suelo	Textura suelo	Porosidad suelo (%)	Vegetación dominante
Peladas sabana (Ps) 300 msnm	Norte 25°	Herbácea = 0,15 Arbustiva = 3,5	Fersialítico Rojo- Amarillento Lixiviado	Loam limo arenosa	55,6	<i>Andropogon gracilis</i> , <i>Exostema longiflorum</i> , <i>Eupatorium odoratum</i> , <i>Desmodium canum</i> , <i>Guettarda valenzuelana</i> , <i>Coccoloba retusa</i>
Peladas bosque (Pb) 250 msnm	Norte 30°	Arbustiva = 15	Fersialítico Rojo- Amarillento Lixiviado	Loam limo arenosa	54,2	<i>Calophyllum pinetorum</i> , <i>Coccoloba retusa</i> , <i>Matayba apetala</i> , <i>Guettarda valenzuelana</i> , <i>Manilkara jaimiqui</i> , <i>Schoepfia didyma</i>
Bosque del Mulo (Mu) 270 msnm	Sureste 20°	Arbustiva = 22	Fersialítico Pardo Amarillento	Loam arcillosa	53,0	<i>Erythrina poeppigiana</i> , <i>Ficus aurea</i> , <i>Matayba apetala</i> , <i>Guarea guidonia</i> , <i>Pseudolmedia spuria</i> , <i>Oxandra lanceolata</i>
Bosque del Macagual (Ma) 220 msnm	Sureste 10°	Arbustiva = 15	Fersialítico Pardo Amarillento	Loam arcillosa	51,7	<i>Pseudolmedia spuria</i> , <i>Matayba apetala</i> , <i>Calophyllum brasiliense</i> , <i>Bursera simaruba</i>
Bosque del Macurije (M) 430 msnm	Sur 35°	Arbustiva = 19	Fersialítico Pardo Amarillento	Loam arcillosa	55,7	<i>Matayba apetala</i> , <i>Pseudolmedia spuria</i> , <i>Calophyllum brasiliense</i> , <i>Cordia gerascanthus</i> , <i>Tabebuia shafferi</i> , <i>Talipariti elatum</i> , <i>Alchornea latifolia</i> , <i>Ocotea cuneata</i>
Bosque del Helechal (H) 450 msnm	Noreste 30°	Arbustiva = 25	Fersialítico Pardo Rojizo	Loam arcillosa	54,7	<i>Prunus occidentalis</i> , <i>Calophyllum brasiliense</i> , <i>Matayba apetala</i> , <i>Sideroxylon foetidissimum</i> , <i>Drypetes alba</i> , <i>Pseudolmedia spuria</i>
Bosque del Jagüey (J) 400 msnm	Suroeste 35°	Arbustiva = 23	Fersialítico Pardo Amarillento	Loam arcillosa	49,0	<i>Alchornea latifolia</i> , <i>Talipariti elatum</i> , <i>Matayba apetala</i> , <i>Zanthoxylum martinicense</i> , <i>Guarea guidonia</i> , <i>Ficus subscabrida</i>

del sitio conocido como Las Peladas se escogieron dos áreas: una perteneciente a un bosque siempreverde micrófilo (Pb) y otra a una sabana arbustiva (Ps). En todos los ecosistemas se escogió una parcela de 20 x 20 m, representativa de la comunidad vegetal. La humedad del suelo (base seca) se determinó durante un año, a 0-5 y 5-15 cm de profundidad; cada semana se colectaron cinco muestras con un cilindro de 5 cm de diámetro. Para determinar la fitomasa de las raíces finas (<1,0 mm) se muestreó en cuatro meses, dos en la estación seca (noviembre del 1987 y febrero del 1988) y dos en la estación lluviosa (mayo y julio del 1987), en los mismos puntos donde se tomaron las muestras para la determinación de la humedad del suelo. Las raíces se procesaron acorde con lo informado por Hernández (1999). La tasa de renovación (TR) de la fitomasa de las raíces finas se estimó según Singh y Singh (1981) para cada ecosistema, como la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de la fitomasa, dentro de cada profundidad de suelo, dividido entre el valor promedio de la fitomasa subterránea.

También en los sitios de colecta de las raíces se tomaron muestras de suelo para el análisis físico, que se realizó en coordinación con el laboratorio de Química del Instituto de Ecología y Sistemática y con el laboratorio de Física del Instituto de Suelos, La Habana, Cuba. La fitomasa del mantillo (hojarasca y esteras de raíces) en los sitios boscosos estudiados fue muy variable: la hojarasca presentó valores entre 478 y 945 gm⁻², y las esteras de raíces variaron desde 27,1 hasta 99,4 gm⁻² (Hernández *et al.*, 2006).

Análisis de los datos. La normalidad de los datos se verificó mediante la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov y la homogeneidad de varianza a través de la prueba de Bartlett. Las variables porcentaje de humedad del suelo y de la biomasa subterránea total de raíces finas se procesaron mediante análisis de varianza de clasificación simple, con arreglo factorial de los tratamientos (localidad por profundidad por mes). No se aplicaron pruebas de comparación múltiple de medias *a posteriori*, debido a que las variables independientes representaban combi-

year, at 0-5 and 5-15 cm of depth; every week five samples were collected with a 5 cm-diameter cylinder. To determine the fine root phytomass (<1,0 mm) sampling was made in four months, two in the dry season (November, 1987 and February, 1988) and two in the rainy season (May and July, 1987), in the same spots where the samples for determining soil moisture had been collected. The roots were processed according to the reports by Hernández (1999). The renewal rate (RR) of the phytomass was estimated according to Singh and Singh (1981) for each ecosystem, as the difference between the maximum and minimum phytomass values, within each soil depth, divided by the average value of underground phytomass.

In the sites of root collection, soil samples were also taken for the physical analysis, which was done in coordination with the laboratory of Chemistry of the Institute of Ecology and Systematics and with the laboratory of Physics of the Institute of Soils, Havana, Cuba. The mulch phytomass (litter and root mats) in the studied forest sites was very variable: litter showed values between 478 and 945 gm⁻², and the root mats varied from 27,1 to 99,4 gm⁻² (Hernández *et al.*, 2006).

Data analysis. The data normality was verified through the Kolmogorov-Smirnov adjustment test and the variance homogeneity was checked by Bartlett's test. The variables soil moisture percentage and underground biomass percentage total fine roots, were processed by means of simple classification variance analysis, with factorial arrangement of the treatments (locality by depth by month). No *a posteriori* multiple mean comparison tests were applied, because the independent variables represented combinations of non-structured qualitative treatments (locality and month) with quantitative treatment (depth) (Blanco, 2001). To detect possible groupings among localities, according to soil moisture or underground phytomass, the cluster method (or hierarchical cluster analysis) was used. In these analyses the original data of soil moisture, by depth and studied months were used; in the case of phytomass a similar

naciones de tratamientos cualitativos no estructurados (localidad y mes) con tratamiento cuantitativo (profundidad) (Blanco, 2001). Para detectar posibles agrupamientos entre localidades, de acuerdo con la humedad del suelo o la fitomasa subterránea, se usó el método de conglomerados (o análisis de cluster jerárquico). En estos análisis se utilizaron los datos originales de humedad del suelo, por profundidad y por meses estudiados; en el caso de la fitomasa se hizo un procesamiento similar, pero además se realizó una matriz con la información de la fitomasa total de raíces obtenidas en todas las profundidades. El dendrograma se construyó a partir de una matriz de distancia euclidiana y por el método de enlace de ligamiento promedio no ponderado (UPGMA). En este último análisis, mientras menor sea la distancia entre las unidades (localidades) que se analizan, mayor será su similitud; es decir, donde la distancia tiene valor 0, indica máxima similitud entre las localidades. La relación entre la fitomasa total de las raíces y la humedad del suelo, obtenida por localidad, se exploró mediante el coeficiente de correlación lineal de Pearson.

Resultados y Discusión

Humedad del suelo. La humedad del suelo cambió considerablemente con la profundidad del sustrato, la localidad y los meses del año (tabla 2), y la interacción de estos tres factores también afectó significativamente ($F=7,58$; $P<0,001$) el comportamiento de esta variable. La menor humedad del suelo se obtuvo en la sabana de Las Peladas, durante el mes de mayo, en la profundidad de 0-5 cm (tabla 2); en esta misma profundidad se alcanzaron los máximos valores de humedad en el suelo del bosque del Jagüey, en agosto, que coincidió con el inicio del período más lluvioso durante el presente estudio. Por otra parte, independientemente de la localidad, la humedad del suelo fue siempre superior en 0-5 cm con relación a los valores alcanzados en 5-15 cm, excepto para la localidad de la sabana de Las Peladas, donde no existieron diferencias.

Cuando se analizó esta variable por estación hidrológica, en la profundidad de 0-5 cm no existieron diferencias significativas entre las estaciones

processing was made, but a matrix was also made with the information of the total root phytomass obtained at all depths. The dendrogram was built from a Euclidian distance matrix and through the unweighted pair group method (UPGMA). In this last analysis, the smaller the distance between the units (localities) analyzed, the higher their similarity will be; that is, where the distance has value 0, it indicates maximum similarity among localities. The relationship between total root phytomass and soil moisture, obtained by locality, was explored through Pearson's linear correlation coefficient.

Results and Discussion

Soil moisture. Soil moisture changed considerably with substratum depth, locality and months (table 2), and the interaction of these three factors also significantly affected ($F=7,58$; $P<0,001$) the performance of this variable. The lowest soil moisture was obtained in the Las Peladas savanna, during May, in the 0-5 cm depth (table 2); in this same depth the highest moisture values were reached in the Jagüey forest soil, in August, which coincided with the beginning of the rainiest period in this study. On the other hand, independently from the locality, soil moisture was always higher in 0-5 cm as compared to the values obtained in 5-15 cm, except for the Las Peladas savanna, where no differences existed.

When this variable was analyzed by hydrological season, in the 0-5 cm depth there were no significant differences between seasons (fig. 1) for any of the ecosystems, and neither in the 5-15 cm depth (data not shown). This result proved that, in the studied ecosystems, the analysis of soil moisture must be conducted by months, instead of using the hydrological season as independent factor, because rain seasonality did not show the variability undergone throughout the year. However, the grouping per season did not overlap the existing differences among localities, as it was proven in the previous analysis. In fact, the forest localities of Mulo, Macagual, Macurije, Helechal and Jagüey, always showed significantly higher soil moisture values than the ones obtained in the Las Peladas savanna and

Tabla 2. Valores promedio de la humedad del suelo en ecosistemas de la RBSR.

Table 2. Average values of soil moisture in ecosystems of the SRBR.

Mes/Sitio	Profundidad = 0-5 cm							Profundidad = 5-15 cm						
	Ps	Pb	Mu	Ma	M	H	J	Ps	Pb	Mu	Ma	M	H	J
Abr/87	17,4	23,2	29,5	26,9	26,8	30,9	35,8	18,7	20,5	26,4	24,8	22,2	26,8	31,0
May/87	7,6	15,2	19,6	19,9	22,5	26,2	30,8	11,2	15,1	17,0	18,4	20,4	24,7	32,4
Jun/87	14,2	20,6	28,3	25,7	29,9	29,4	33,7	15,4	16,2	19,4	19,4	21,7	22,3	29,9
Jul/87	14,6	22,9	31,1	28,7	33,5	33,3	37,8	15,2	18,2	22,3	23,2	23,4	25,7	32,1
Ago/87	16,8	25,8	33,4	36,7	35,8	37,0	41,3	18,0	20,8	25,8	28,3	26,4	28,4	34,0
Sep/87	17,9	24,6	34,0	31,3	32,9	29,0	37,5	17,6	19,0	22,8	21,6	20,8	21,3	27,1
Oct/87	18,1	21,6	30,4	28,8	29,4	24,0	34,1	16,4	15,5	19,9	17,9	22,4	19,4	27,5
Nov/87	21,3	23,9	29,6	31,4	29,5	33,9	38,7	19,5	17,7	22,4	21,1	23,7	24,3	27,0
Dic/87	18,8	24,8	30,9	29,9	31,8	32,0	38,8	16,8	20,5	23,5	23,9	24,3	25,9	31,4
Ene/88	16,8	24,2	28,1	25,4	28,3	26,8	30,1	14,5	16,9	21,0	21,3	22,1	20,3	20,4
Feb/88	16,8	26,0	31,9	29,3	32,1	34,9	38,3	16,9	20,0	25,6	24,4	26,2	26,8	32,7
Mar/88	15,0	22,7	29,3	28,0	37,7	32,8	36,9	16,6	21,5	22,8	23,6	23,9	23,1	31,7
Media total	16,3	22,9	29,6	28,5	30,8	30,8	36,2	16,4	18,4	22,3	22,3	23,1	24,0	29,9
EE $\pm$	0,96	0,84	1,05	1,17	1,17	1,12	0,93	0,63	0,62	0,77	0,86	0,55	0,80	1,13

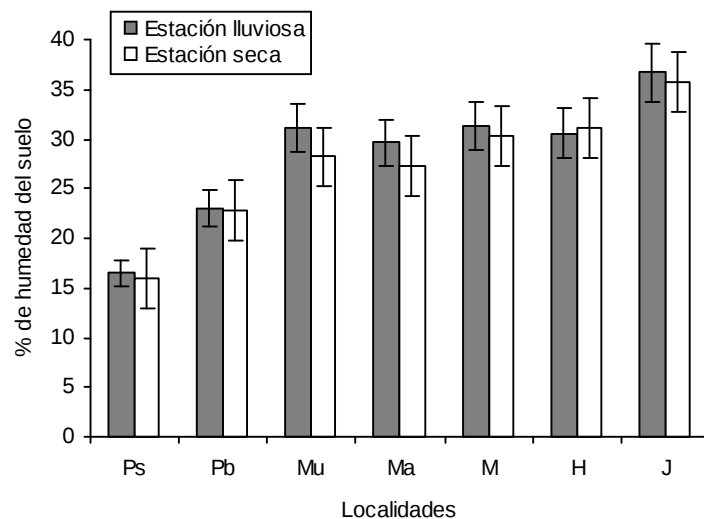
Ps, sabana de Las Peladas; Pb, bosque de Las Peladas; Mu, bosque del Mulo; Ma, bosque del Macagual; M, bosque del Macurije; H, bosque del Helechal; J, bosque del Jagüey

(fig. 1) para ninguno de los ecosistemas, y tampoco en la profundidad de 5-15 cm (datos no mostrados). Este resultado demostró que, en los ecosistemas estudiados, el análisis de la humedad del suelo debe realizarse por meses, en lugar de emplear la estación hidrológica como factor independiente, debido a que la estacionalidad de las lluvias no evidenció la variabilidad sufrida a través del año. Sin embargo, el agrupamiento por estación del año no solapó las diferencias que existieron entre localidades, tal como se demostró en el análisis anterior. De hecho, las localidades boscosas del Mulo, Macagual, Macurije, Helechal y del Jagüey siempre presentaron valores de humedad del suelo significativamente superiores a los obtenidos en la sabana y el bosque de Las Peladas (fig.1), y entre estos últimos sitios también existieron diferencias considerables.

El resultado anterior se corroboró, igualmente, cuando se determinó el agrupamiento de los ecosistemas por los valores de humedad del suelo de todo el año y por profundidad (fig.2). En el dendrograma para la profundidad de 0-5 cm (fig. 2A), se apreció la formación de dos grandes grupos. El primero estuvo constituido por los sitios boscosos más húmedos dentro de la Sierra del Rosario (Jagüey, Helechal, Macagual, Mulo y Macurije); en este grupo se observaron, además,

forest (fig. 1), and between these last sites there were also remarkable differences.

The above-mentioned result was corroborated, likewise, when the grouping of ecosystems was determined by the soil moisture values of the whole year and by depth (fig. 2). In the dendrogram for the 0-5 cm depth (fig. 2A), the formation of two large groups was observed. The first one was constituted by the moistest forest sites within Sierra del Rosario (Jagüey, Helechal, Macagual, Mulo and Macurije); in addition, different similarity degrees were observed among the units of this group. The Jagüey locality showed the highest soil moisture values, separating from the other above-mentioned sites. Nevertheless, in this same set, the forest ecosystems Mulo and Macurije were grouped, at a lower distance, which showed they were the most similar localities according to the studied variable. The second group was formed by the Las Peladas sites, which showed the lowest moisture values. In the 5-15 cm depth, the dendrogram (fig. 2B) showed a similar result as the above-mentioned one, but more differences were evident among humid and dry sites. In fact, the Jagüey forest was completely separated from the other sites, joining the same level as those from humid and dry sites, although



Ps, sabana de Las Peladas; Pb, bosque de Las Peladas; Mu, bosque del Mulo; Ma, bosque del Macagual; M, bosque del Macurije; H, bosque del Helechal; J, bosque del Jagüey.

Fig. 1. Humedad del suelo (profundidad de 0-5 cm) en ecosistemas de la RBSR.

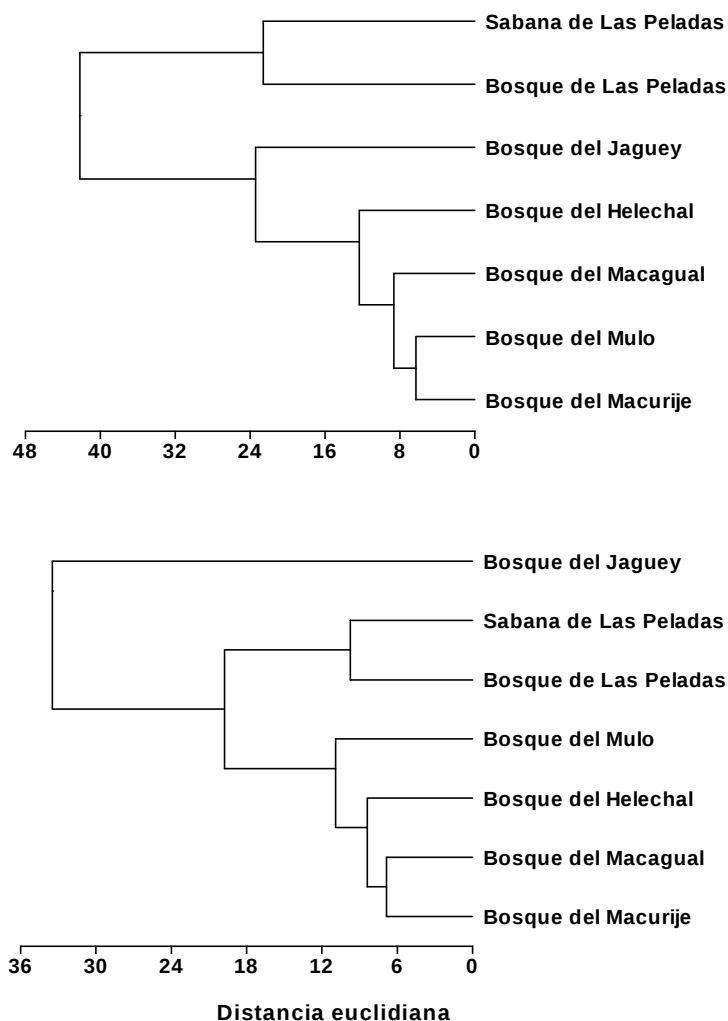
Fig. 1. Soil moisture (depth 0-5 cm) in ecosystems of the SRBR.

diferentes grados de similitud entre sus unidades. La localidad del Jagüey presentó los máximos valores de humedad del suelo, con lo que se separó del resto de los sitios antes mencionados. Sin embargo, en este mismo conjunto se agruparon, a menor distancia, los ecosistemas boscosos del Mulo y Macurije, lo que demostró que fueron las localidades más similares de acuerdo con la variable estudiada. El segundo grupo estuvo formado por los sitios de Las Peladas, que presentaron los menores valores de humedad. En la profundidad de 5-15 cm, el dendrograma (fig. 2B) mostró un resultado similar al anterior, pero se evidenciaron más las diferencias entre los sitios húmedos y secos. De hecho, el bosque del Jagüey se separó por completo del resto de los sitios y se unió al mismo nivel de aquellos procedentes de sitios húmedos y secos, aunque los de Las Peladas (los más secos) ocuparon una posición intermedia entre los húmedos.

Los resultados anteriormente mencionados se explican por sí solos, si se tiene en cuenta que la textura del suelo y su estructura pueden influir notablemente en el grado de retención de agua (Káurichev, 1980), aunque también otros facto-

the Las Peladas sites (the driest) occupied an intermediate position between humid sites.

The above-mentioned results are self-explained, if it is taken into consideration that soil texture and structure can remarkably influence the water retention degree (Káurichev, 1980); although other biotic and abiotic factors also significantly influence soil moisture (Herrera *et al.*, 1988b). In both plant formations of the Las Peladas site (savanna and forest), the soils showed sandy texture (table 1), which undoubtedly offers less resistance to water loss, as compared to the clayey-loamy soils (higher water retention capacity) found in the sites Mulo, Macagual, Macurije, Helechal and Jagüey. In addition, in Las Peladas the soils had higher porosity percentage (table 1), which together with other functional characteristics of these ecosystems (Herrera *et al.*, 1988b), place them among the most stressed within the SRBR. According to Herrera *et al.* (1988b), in the Jagüey forest the contrary occurs with regards to the microphyllous forest from Las Peladas, because the former is supported on a Brown Yellowish Fersialitic soil with loamy-clayey structure and with the presence of



Profundidad: A = 0-5 cm, B = 5-15 cm.

Fig. 2. Agrupamiento de los ecosistemas a partir de la humedad del suelo.

Fig. 2. Grouping of ecosystems from soil moisture.

res bióticos y abióticos influyen significativamente en la humedad del suelo (Herrera *et al.*, 1988b). En ambas formaciones vegetales del sitio de Las Peladas (sabana y bosque) los suelos presentaron una textura arenosa (tabla 1), lo que sin dudas ofrece una menor resistencia a perder el agua, comparado con los suelos de textura loam arcillosa (mayor capacidad de retención de agua) encontrados en los sitios del Mulo, Macagual, Macurije, Helechal y del Jagüey. También en Las Peladas los suelos tuvieron un mayor porcentaje de porosidad (tabla 1), lo que unido a otras ca-

montmorillonite; this facilitates the almost permanent soil moisture and the development of a mesophyllous forest with continental structure; which could not exist in Las Peladas.

Fiala *et al.* (1991) reported that in a slope of a pastureland, north of the SRBR, soil moisture varied from the highest to the lowest part (30, 3-38,7%, respectively), where the physical and chemical soil characteristics were also different. On the other hand, Sagué and Hernández (1978) determined that this indicator is higher under the forest than under pasturelands, which is more

racterísticas funcionales de estos ecosistemas (Herrera *et al.*, 1988b) los ubican entre los más tensionados dentro de la RBSR. Según Herrera *et al.* (1988b), en el bosque del Jagüey sucede lo contrario con relación al bosque micrófilo de Las Peladas, debido a que el primero se sustenta sobre un suelo Fersialítico Pardo Amarillento con una estructura loam arcillosa y con presencia de montmorillonita; ello facilita la humedad casi permanente del suelo y el desarrollo de un bosque con estructura continental y mesófilo, que no pudiera existir en Las Peladas.

Fiala *et al.* (1991) informaron que en una ladera de un pastizal, al noreste de la RBSR, la humedad del suelo varió de la parte más alta a la más baja (30,3-38,7%, respectivamente), donde, además, las características físicas y químicas de los suelos eran diferentes. Por su parte, Sagué y Hernández (1978) determinaron que este indicador es mayor debajo del bosque que en los pastizales, lo que es más evidente en la capa de suelo de 0-20 cm. Sin embargo, estos autores observaron que en los horizontes más profundos el déficit de humedad es mayor en el bosque que en el pastizal, lo cual pudiera estar dado por la mayor transpiración de la vegetación en el primero que en el segundo, aspectos que se deben tener en cuenta para la repoblación de las áreas de las cuencas con embalse. Por otra parte, Sarmiento y Vera (1976) señalaron que en los bosques y sabanas de Venezuela los regímenes de humedad son muy similares, y el del bosque casi siempre es más seco, probablemente como consecuencia de la mayor utilización de agua por este tipo de vegetación, en comparación con la sabana.

Sagué *et al.* (1979), en estudios realizados durante diez días en las estaciones poco lluviosa y lluviosa, en áreas del Salón (sitio de la RBSR), observaron que en ambas estaciones la humedad del suelo fue mayor en el área de bosque, seguida de los pastizales y, por último, las terrazas.

La raíces en los ecosistemas. La fitomasa de raíces finas cambió considerablemente con la profundidad del sustrato, la localidad y los meses del año (tabla 3), y la interacción de estos tres factores también afectó significativamente

evident in the 0-20 cm soil layer. However, these authors observed that in the deepest horizons the moisture deficit is higher in the forest than in the pastureland, which could be caused by the higher vegetation transpiration in the former than in the latter, aspects that must be taken into consideration for the repopulation of basin areas with dams. On the other hand, Sarmiento and Vera (1976) reported that in the forests and savannas from Venezuela the moisture regimes are very similar, and that of the forest is almost always drier, probably as a consequence of the higher water utilization by this vegetation type, as compared to the savanna.

Sagué *et al.* (1979), in studies conducted during ten days in the dry and rainy seasons, in the Salón areas (site of the SRBR), observed that in both seasons the soil moisture was higher in the forest area followed by pasturelands and, finally, terraces.

Roots in the ecosystems. The fine root phytomass considerably changed with the substratum depth, locality and months of the year (table 3), and the interaction of these three factors also significantly affected ($F = 34,6$; $P < 0,001$) the performance of this variable. The lowest fine root value (55 gm^{-2}) was obtained in the soils of Las Peladas savannas during November, 1987, at the depth 5-15 cm (table 3); the highest values at this same depth were reached in the Las Peladas forest, in May ($1\,552,1 \text{ gm}^{-2}$) and in November, 1987 ($1\,614,2 \text{ gm}^{-2}$); the latter corresponded to the dry season, although in November rainfall was high (146 mm). On the other hand in the Mulo forest the maximum values of underground biomass appeared during July, 1987, (rainiest month among the four studied ones) and in February. In the 0-5 cm depth the biomass production trend changed with regards to that obtained at 5-15 cm. The highest values were reached in the Las Peladas forest in July, 1987, and February, 1988; in the Mulo forest in May, 1987, and in the Macagual forest in November, 1987. Finally, the total underground biomass production (0-15 cm depth) followed a very similar trend as the one obtained at the 0-5 cm depth, with the difference that in May

Tabla 3. Valores promedio de la fitomasa de raíces (gm^{-2}) en ecosistemas de la RBSR.
Table 3. Average values of root phytomass (gm^{-2}) in ecosystems of the SRBR.

Profundidad = 0-5 cm				
Ecosistemas	May/87 (22)	Jul/87 (198)	Nov/87 (146)	Feb/88 (71)
Sabana de Las Peladas	457,6	546,5	342,4	448,8
Bosque de Las Peladas	528,6	1 152,1	513,3	661,0
Bosque del Mulo	717,5	476,9	238,0	477,5
Bosque del Macagual	406,1	352,7	590,5	568,8
Bosque del Macuriye	278,2	172,1	158,1	323,7
Bosque del Helechal	239,4	241,0	183,7	228,2
Bosque del Jagüey	501,2	291,1	239,5	254,9
Profundidad = 5-15 cm				
Sabana de Las Peladas	226,5	273,4	55,0	162,8
Bosque de Las Peladas	1 552,1	833,1	1 614,2	695,1
Bosque del Mulo	987,0	979,4	320,8	762,4
Bosque del Macagual	145,7	669,0	507,6	272,5
Bosque del Macuriye	264,5	414,2	177,1	257,6
Bosque del Helechal	228,5	62,1	153,5	228,2
Bosque del Jagüey	163,0	328,7	225,9	236,7
Profundidad = 0-15 cm				
Sabana de Las Peladas	684,1	819,9	397,4	661,6
Bosque de Las Peladas	2 080,8	198,1	2 127,5	1 356,5
Bosque del Mulo	1 704,5	145,4	559,0	1 240,0
Bosque del Macagual	551,4	1 021,8	1 098,1	841,3
Bosque del Macuriye	542,8	586,3	335,2	581,3
Bosque del Helechal	467,9	303,1	337,2	456,5
Bosque del Jagüey	664,3	619,8	465,4	491,7

() Precipitación por meses (mm).

($F = 34,6$; $P < 0,001$) el comportamiento de esta variable. El menor valor de raíces finas (55 gm^{-2}) se obtuvo en los suelos de las sabanas de Las Peladas, durante noviembre de 1987, en la profundidad de 5-15 cm (tabla 3); los máximos valores en esta misma profundidad se alcanzaron en el bosque de Las Peladas, en mayo ($1 552,1 \text{ gm}^{-2}$) y en noviembre de 1987 ($1 614,2 \text{ gm}^{-2}$); este último se correspondió con el período poco lluvioso, aunque en el mes de noviembre la lluvia caída fue alta (146 mm). Por su parte, en el bosque del Mulo aparecieron los máximos valores de biomasa subterránea durante julio de 1987 (mes más lluvioso de los cuatro estudiados) y en febrero. En la profundidad de 0-5 cm la tendencia de la producción de biomasa cambió con relación a la obtenida en 5-15 cm. Los mayores valores se obtuvieron en el bosque de Las Peladas en julio de 1987 y febrero de 1988; en el bosque del Mulo en mayo de 1987, y

and November the highest values of fine roots also appeared in the Las Peladas forest. Seemingly, the water and nutritional stress conditions, created mainly by the soil structure (sandy), induced the higher production of fine roots, as a way to minimize the environmental stresses. This was reported for this ecosystem by Herrera *et al.* (1988b), who stated too that the Las Peladas forest is likely to base its functioning on stressing edaphic conditions, due to its high root production, the formation of root mats and its high sclerophylly and esclerorrizia.

The vertical distribution of fine roots tended to be higher in the 0-5 cm soil layer (table 3), as has been reported in different herbaceous and tree communities (Herrera *et al.*, 1988b; Hernández and Rodríguez, 2011). Yet, this trend was not clear for some studied sites, or for the Las Peladas and Mulo forests, which had the highest fine root production in the 5-15 cm layer,

en el bosque del Macagual en noviembre de 1987. Por último, la producción total de biomasa subterránea (profundidad de 0-15 cm) siguió una tendencia muy similar a la obtenida en la profundidad de 0-5 cm, con la diferencia de que en los meses de mayo y noviembre los mayores valores de raíces finas aparecieron también en el bosque de Las Peladas. Al parecer, las condiciones de estrés hídrico y nutrimental, creadas fundamentalmente por la estructura del suelo (arenoso), indujeron la mayor producción de raíces finas, como vía para minimizar las tensiones ambientales. Ello fue informado para este ecosistema por Herrera *et al.* (1988b), quienes plantearon además que quizás el bosque de Las Peladas base su funcionamiento en condiciones edáficas estresantes, debido a su gran producción de raíces, la formación de esteras radicales y su elevada esclerofilia y esclerorrizia.

La distribución vertical de las raíces finas tendió a ser mayor en la capa de suelo de 0-5 cm (tabla 3), tal como se ha informado en diferentes comunidades herbáceas y arbóreas (Herrera *et al.*, 1988b; Hernández y Rodríguez, 2011). Sin embargo, esta tendencia no quedó muy clara para algunos sitios estudiados, ni para los bosques de Las Peladas y el Mulo, que tuvieron la máxima producción de raíces finas en la capa de 5-15 cm para los meses de mayo y noviembre; aunque se debe tener en cuenta que esta capa duplica en área y volumen a la primera, lo que posiblemente permita esa producción de raíces (Sagué y Hernández, 1978; Herrera *et al.*, 1988b; Fornaris *et al.*, 2006).

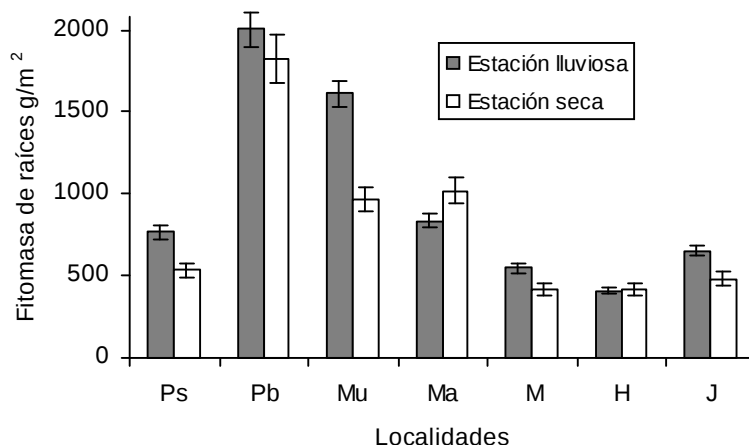
Por su parte, cuando se estudió la producción de fitomasa de raíces por estación hidrológica, en la profundidad de 0-15 cm solo existieron diferencias significativas para las localidades de la sabana de Las Peladas, y los sitios boscosos del Mulo, Macurije y del Jagüey (fig. 3). En el resto de los sitios no hubo diferencias entre las estaciones, pero tendieron a ser mayores en el bosque de Las Peladas durante la estación lluviosa y menor en el bosque del Macagual en esta misma época del año; en el bosque del Helechal los valores promedio de la fitomasa de las raíces no cambiaron con la estación. En general, este

for May and November; although it must be considered that this layer doubles the area and volume of the first, which possibly allows that root production (Sagué and Hernández, 1978; Herrera *et al.*, 1988b; Fornaris *et al.*, 2006).

On the other hand, when root phytomass production per hydrological season was studied, in the 0-15 cm depth there were only significant differences for the localities of the Las Peladas savanna and the Mulo, Macurije and Jagüey forest sites (fig. 3). In the other sites there were no differences between seasons, but they tended to be higher in the Las Peladas forest during the rainy season and lower in the Macagual forest in that same season; in the Helechal forest the average root phytomass values did not change with the season. In general, this result showed the variability undergone by root phytomass with water availability. However, it is important to state that in this study the root phytomass quantity was only determined in two months of each season, which could undoubtedly have affected the results, although the changes undergone by root biomass with water substratum availability are known (Sagué and Hernández, 1978).

The dendrograms elaborated with the root phytomass data, likewise, showed variability among localities when they were analyzed for the different depths (fig. 4). In the 0-5 cm depth (fig. 4A) three groupings arose. The first group, constituted by the Las Peladas forest, showed the highest root biomass values and was completely separated from the other localities. In the other extreme of this grouping, there was a second group constituted by those localities which had moderate values (Macagual and Mulo forests and the Las Peladas savanna). The third grouping was formed by the sites that showed low values (Jagüey, Helechal and Macurije forests), and which occupied an intermediate position in the dendrogram between the sites of higher root phytomass production.

In the 5-15 cm depth, the dendrogram showed a new grouping of the ecosystems (fig. 4B). The sites with higher quantity of root phytomass (Las Peladas and Mulo forest) were placed at an extreme of this grouping and differentiated from



Ps, sabana de Las Peladas; Pb, bosque de Las Peladas; Mu, bosque del Mulo; Ma, bosque del Macagual; M, bosque del Macuriye; H, bosque del Helechal; J, bosque del Jagüey

Fig. 3. Fitomasa de las raíces finas (profundidad de 0-15 cm) en ecosistemas de la RBSR.

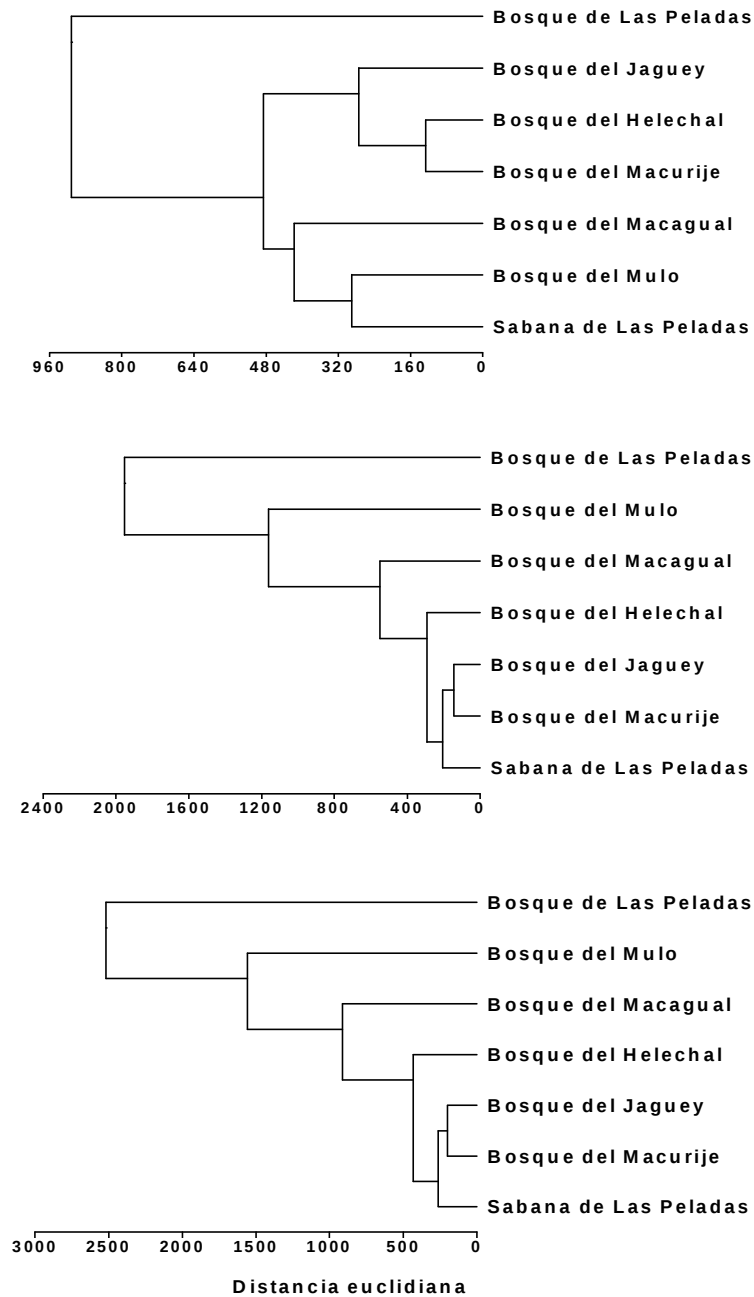
Fig. 3. Fine root phytomass (depth 0-15 cm) in ecosystems of the SRBR.

resultado demostró la variabilidad que sufre la fitomasa de las raíces con la disponibilidad de agua. Sin embargo, es importante señalar que en el presente estudio solo se determinó la cantidad de fitomasa de las raíces en dos meses de cada estación, lo que sin duda pudo afectar los resultados, aunque es conocido los cambios que sufre la biomasa de las raíces con la disponibilidad de agua del sustrato (Sagué y Hernández, 1978).

Los dendrogramas realizados con los datos de la fitomasa de las raíces, igualmente mostraron variabilidad entre localidades cuando se analizaron para las distintas profundidades (fig. 4). En la profundidad de 0-5 cm (fig. 4A) surgieron tres agrupaciones. El primer grupo, constituido por el bosque de Las Peladas, presentó los mayores valores de biomasa de las raíces y se separó por completo del resto de las localidades. En el otro extremo de este agrupamiento apareció un segundo grupo constituido por aquellas localidades que tuvieron valores medios (bosques del Macagual y el Mulo, y la sabana de Las Peladas). El tercer agrupamiento estuvo formado por los sitios que presentaron valores bajos (bosques de Jagüey, Helechal y Macuriye), y que ocuparon en el dendrograma una posición intermedia entre los sitios de mayor producción de fitomasa de las raíces.

those with moderate or low production (Macagual, Helechal, Jagüey and Macuriye forests, and Las Peladas savanna). Finally, the total analysis of fine root phytomass production (fig. 4C; depth 0-15 cm) showed a very similar grouping as the one obtained in 5-15 cm, which proved that the quantity of underground phytomass found in this last depth defines its spatial distribution, at least in the first 15 cm of soil depth for the studied sites.

In pasturelands, the first soil layers play a fundamental role in vertical root distribution (Hernández, 1999). The highest total underground phytomass production was concentrated in the soil surface layer (0-5 cm) and represented 65,0% of that profile; in the 5-15 cm layer 77,9% (1 262 g m^{-2}) of this phytomass was concentrated. For the 0-15 cm layer 84% of the phytomass was concentrated in the 0-5 cm soil layer, which is equivalent to 1 060 g m^{-2} . In a *Cynodon nlemfuensis* pastureland, Hernández *et al.* (1998) found, in the first 15 cm of soil (for a 95 cm deep profile), 70% of the root phytomass and 86% of detritus. In studies conducted in the Mulo forests, in the SRBR, Sagué and Hernández (1978) determined that 63% of the fine roots were found in the 0-10 cm soil layer and up to 20 cm they



Profundidad: A = 0-5 cm, B = 5-15 cm, C = 0-15 cm.

Fig. 4. Agrupamiento de los ecosistemas a partir de la fitomasa subterránea total.

Fig. 4. Grouping of ecosystems from the total underground phytomass.

En la profundidad de 5-15 cm, el dendrograma mostró un nuevo agrupamiento de los ecosistemas (fig. 4B). Los sitios con mayor cantidad de fitomasa de las raíces (bosque de Las Peladas y

had values over 73%. On the other hand, Hertel *et al.* (2003), in Costa Rica forests, with different successional status, stated that the highest quantity of fine roots is found in the soil organic

del Mulo) se situaron en un extremo de este agrupamiento y se diferenciaron de aquellos con una producción media o baja (bosques del Macagual, Helechal, Jagüey y Macurije, y sabana de Las Peladas). Finalmente, el análisis total de la producción de la fitomasa de las raíces finas (fig. 4C; profundidad de 0-15 cm) mostró un agrupamiento muy similar al obtenido en 5-15 cm, lo que evidenció que la cantidad de fitomasa subterránea encontrada en esta última profundidad define su distribución espacial, al menos en los primeros 15 cm de profundidad del suelo, para los sitios estudiados.

En los pastizales, las primeras capas de suelo desempeñan un papel fundamental en la distribución vertical de las raíces (Hernández, 1999). La mayor producción de fitomasa subterránea total estuvo concentrada en la capa superficial del suelo (0-5 cm) y representó el 65,0% de este perfil; en la capa 5-15 cm se concentró el 77,9% ($1\,262\text{ gm}^{-2}$) de esta fitomasa. Para la capa 0-15 cm el 84% de la fitomasa estuvo concentrada en la capa de suelo 0-5 cm, lo que equivale a $1\,060\text{ gm}^{-2}$. En un pastizal de *Cynodon nlemfuensis*, Hernández *et al.* (1998) encontraron, en los primeros 15 cm de suelo (para un perfil de 95 cm de profundidad), el 70% de la fitomasa de las raíces y el 86% de los detritos. En estudios realizados en los bosques del Mulo, en la RBSR, Sagué y Hernández (1978) determinaron que el 63% de las raíces finas se encontraba en la capa de suelo 0-10 cm y hasta los 20 cm tenían valores por encima del 73%. Por su parte Hertel *et al.* (2003), en bosques de Costa Rica con diferente estatus sucesional, señalaron que la mayor cantidad de raíces finas se concentra en la capa orgánica del suelo y no en los primeros 10 cm de la capa mineral.

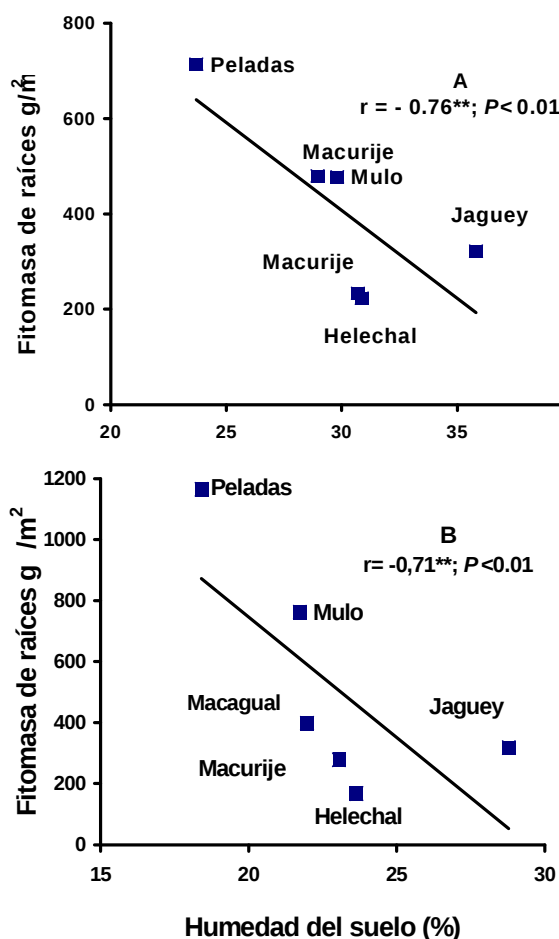
Relación entre la humedad del suelo y la cantidad de fitomasa de raíces por localidades. Existió una correlación significativa y negativa entre la humedad del suelo y la cantidad de fitomasa producida en los sitios boscosos (fig. 5), o sea, al aumentar la humedad del suelo disminuyó la producción de raíces. De este modo, el sitio boscoso más seco (bosque de Las Peladas) tuvo la mayor producción de raíces; por su

layer, and not in the first 10 cm of the mineral layer.

Relationship between soil moisture and quantity of root phytomass per localities. There was a significant and negative correlation between soil moisture and phytomass quantity produced in forest sites (fig. 5), that is, as soil moisture increased, root production decreased. Thus, the driest forest site (Las Peladas forest) had the highest root production; on the other hand, the moistest forests (Jagüey and Helechal) showed the lowest mean values of root phytomass. This did not occur when including the site Las Peladas savanna (data not shown), which proves a differential performance in this relationship between forest sites and savannas.

In the stressed forests of the SRBR, such as Las Peladas, there is a large phytomass quantity from root mats and the root/stem ratio (underground biomass/aerial biomass) is high (Herrera *et al.*, 1988b), which supports the above-discussed result. On the other hand, the average root phytomass in the organic matter layer (mulch) in the forest sites, at the beginning of the study, was very variable and it showed a mean value of $703 \pm 93\text{ gm}^{-2}$ for litter, and $49 \pm 16\text{ gm}^{-2}$ for root mats. The latter was higher (479 gm^{-2}) in the mining region of Moa, which is a highly stressed site due to the lack of available nutrients and the edaphic drought (Hernández *et al.*, 2003), which in turn represented 21% of all the studied profile. The rainforest areas of Moa showed the highest values of root mats (34,1% of the profile); the average root phytomass for the different forest types studied (Horizon O + 0-20 cm layer) was $2\,275\text{ gm}^{-2}$, which represented 54,7% of the soil organic matter. According to the report by Fornaris *et al.* (2006), the presence of the root mat not always depends on high sclerophylly, and it is only developed when there is enough environmental humidity.

In studies conducted about fine roots ($< 0,1\text{ mm}$), in different forest formations and plantations of Cuba (Hernández *et al.*, 2006), remarkable differences were observed in the first soil layers (0-10 and 0-15 cm). In mangroves this indicator fluctuated between 5,3 and 8,6 t/ha, in



Profundidad: A = 0-5 cm, B = 5-15 cm. Los datos de la sabana de Las Peladas se excluyeron del análisis.

Fig. 5. Relación lineal entre la humedad del suelo y la fitomasa total de las raíces finas en sitios boscosos de la Sierra del Rosario.

Fig. 5. Lineal relationship between soil moisture and total fine root phytomass in forest sites of Sierra del Rosario.

parte, los bosques más húmedos (del Jagüey y el Helechal) mostraron los valores medios más bajos de fitomasa de las raíces. Ello no ocurrió al incluir el sitio de la sabana de Las Peladas (datos no mostrados), lo que evidencia un comportamiento diferencial en esta relación entre sitios boscosos y sabanas.

En los bosques tensionados de la RBSR, como el de Las Peladas, existe una gran cantidad de fitomasa de esteras radicales y la relación raíz/tallo (biomasa subterránea/biomasa aérea) es alta (Herrera *et al.*, 1988b), lo cual apoya el resulta-

evergreen forests it varied from 3,4 to 4,7 t/ha and in semideciduous forests it was 2,9 t/ha; the low values (1,8 t/ha) were found in *Talipariti elatum* plantations and the lowest (1,0 t/ha) in pine plantations (*Pinus cubensis* and *P. caribaea*).

On the other hand, in pasturelands northeast of the SRBR, Hernández and Fiala (1992) found total aerial phytomass values between 626 and 1 358 g/m² and of total underground phytomass between 1 182 and 1 735 g/m². The variations were caused mainly by the relief and slope

do previamente discutido. Por su parte, la fitomasa de las raíces promedio en la capa de materia orgánica (mantillo) en los sitios boscosos, al inicio de la investigación, fue muy variable y presentó un valor medio de $703 \pm 93 \text{ gm}^{-2}$ para la hojarasca, y de $49 \pm 16 \text{ gm}^{-2}$ para las esteras radicales. Este último fue superior (479 gm^{-2}) en la región minera de Moa, que es un sitio muy tensionado por la falta de nutrientes disponibles y la sequía edáfica (Hernández *et al.*, 2003), lo que a su vez representó el 21% de todo el perfil estudiado. Las áreas de pluvisilva de Moa presentaron los valores más altos de las esteras radicales (34,1% del perfil); el promedio de la fitomasa de las raíces para los diferentes tipos de bosque que se estudiaron (Horizonte O + capa 0-20 cm) fue de $2\,275 \text{ gm}^{-2}$, que representó el 54,7% de la materia orgánica del suelo. De acuerdo con lo planteado por Fornaris *et al.* (2006), la presencia de la estera radical no siempre depende de una alta esclerofilia, y solo se desarrolla cuando hay suficiente humedad ambiental.

En estudios realizados acerca de las raíces finas ($< 0,1 \text{ mm}$), en distintas formaciones boscosas y plantaciones de Cuba (Hernández *et al.*, 2006), se observaron diferencias notables en las primeras capas de suelo (0-10 y 0-15 cm). En los manglares este indicador fluctuó entre 5,3 y $8,6 \text{ t/ha}$, en los bosques siempreverdes de 3,4 a $4,7 \text{ t/ha}$ y en los semidecíduos fue de $2,9 \text{ t/ha}$; los valores bajos ($1,8 \text{ t/ha}$) se encontraron en las plantaciones de majagua (*Talipariti elatum*) y los más bajos ($1,0 \text{ t/ha}$) en los pinos (*Pinus cubensis* y *P. caribaea*).

Por otra parte, en los pastizales al noreste de la RBSR, Hernández y Fiala (1992) hallaron valores de fitomasa aérea total entre 626 y $1\,358 \text{ gm}^{-2}$ y de fitomasa subterránea total entre 1 182 y $1\,735 \text{ gm}^{-2}$. Las variaciones fueron ocasionadas principalmente por las diferencias de relieve y pendiente, las cuales determinaron cambios en el contenido de humedad y nutrientes del suelo. En la parte más baja de la ladera las condiciones favorecieron los mayores valores de fitomasa aérea viva (649 gm^{-2}) y de rizomas ($1\,023 \text{ gm}^{-2}$), y la menor cantidad de raíces vivas. A través de la pendiente se produjo un incremento en la proporción total de fitomasa aérea

differences, which determined changes in the soil moisture and nutrient contents. In the lowest part of the hillside the conditions favored the highest values of live aerial phytomass (649 gm^{-2}) and rhizomes ($1\,023 \text{ gm}^{-2}$), and the lowest quantity of live roots. Through the slope an increase occurred in the total proportion of aerial phytomass (from 34,1 to 43,9%), while the underground phytomass decreased (from 65,9 to 56,1%) from the highest to the lowest part; nevertheless, the proportion of live rhizomes increased (from 38,5 to 57,7%), and the live root phytomass decreased (from 17,8 to 5,6%). These authors also determined a negative lineal correlation between root phytomass and soil moisture, in the surface layers.

Renewal rate. The lowest renewal rate (RR) occurred in the locality Las Peladas savanna (fig. 6), in the 0-5 cm soil layer, but in the 5-15 cm layer it was among the highest in the studied localities. There were remarkable differences in the RR between soil layers and among localities, which could be given by soil moisture and the large differences existing in the mountains regarding exposure, slope, vegetation height and prevailing species, as well as the anthropic activities in each area (Caldwell and Virginia, 1989). Except in two of the areas (Las Peladas and Mulo forests), the RR was higher in the 5-15 cm soil layer, possibly due to the lower variability of soil moisture in this layer. The average RR ($\pm \text{SE}$) of the root phytomass for all the studied localities was 0,60 ($\pm 0,10$) for the 0-5 cm layer and 0,92 ($\pm 0,07$) in the 5-15 cm layer (volume two times higher than the surface layer); this result can also be consequence, among other factors, of a higher stability of soil moisture in this layer and higher fine root proportion (Hernández, 1999).

Summarizing, this study proved that soil moisture plays an important role in fine root production in forest systems, as has been reported for different herbaceous systems (Hernández and Fiala, 1992; Hernández, 1999). Likewise, this study corroborated the importance of the first soil layer in the moisture dynamics of the substratum and of fine root phytomass, aspects which must

rea (de 34,1 a 43,9%), mientras que la fitomasa subterránea disminuyó (de 65,9 a 56,1%) de la parte más alta a la más baja; sin embargo, la proporción de rizomas vivos se incrementó (de 38,5 a 57,7%) y decreció la fitomasa de raíces vivas (de 17,8 a 5,6%). Estos autores también determinaron una correlación lineal negativa entre la fitomasa de las raíces y la humedad del suelo, en las capas superficiales.

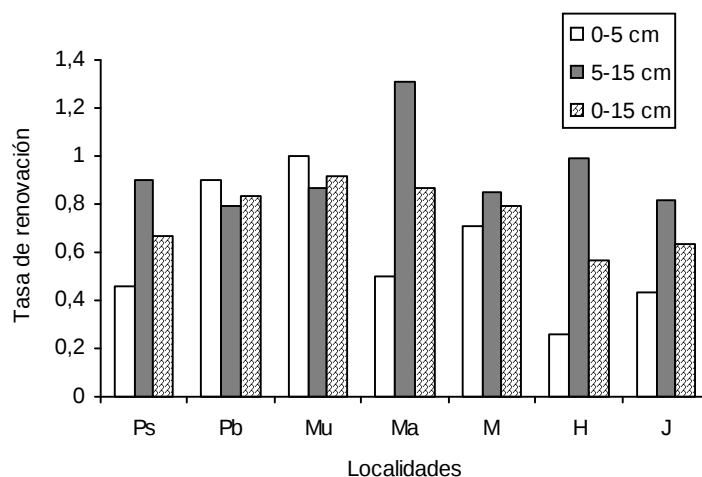
Tasa de renovación. La menor tasa de renovación (TR) se produjo en la localidad sabana de Las Peladas (fig. 6), en la capa de suelo de 0-5 cm, pero en la de 5-15 cm estuvo entre las más altas de las localidades estudiadas. Existieron diferencias notables en la TR entre las capas de suelo y entre las localidades, lo que pudiera estar dado por la humedad del suelo y las grandes diferencias que existen en las montañas en cuanto a la exposición, la pendiente, la altura de la vegetación y las especies predominantes, así como por las actividades antrópicas en cada área (Caldwell y Virginia, 1989). Excepto en dos de las áreas (el bosque de Las Peladas y del Mulo), la TR fue mayor en la capa de suelo 5-15 cm, debido posiblemente a la menor variabilidad de la humedad del suelo en esta capa. La TR promedio ($\pm$ EE) de la fitomasa de las raíces para

be considered for the adequate functioning of these plant formations in the SRBR and other localities with similar characteristics, and also for their future management.

Acknowledgements

The authors would like to thank Dr. Héctor Sagué Díaz, who started the hydrological studies and their processes in the SRBR; the workers of the former Department of Forestry Ecology of the Cuban Academy of Sciences (Leudelio Lastres, Justo Arteaga and Rolando Francés); the direction of the Plan Las Terrazas, for the financing and construction of the facilities that served as basis for the observations and results of this work. We also would like to thank Dr. Ricardo A. Herrera and Dr. Maritza García, and the other workers of the Ecological Station, who facilitated the sample collection and the process to determine soil moisture. In addition, this research was partly financed by the International Foundation for Science (IFS), through the donation D/3536-2 to J. A. Sánchez.

--End of the English version--



Ps, sabana de Las Peladas; Pb, bosque de Las Peladas; Mu, bosque del Mulo; Ma, bosque del Macagual; M, bosque del Macurije; H, bosque del Helechal; J, bosque del Jagüey

Fig. 6. Tasa de renovación de la fitomasa de las raíces finas.

Fig. 6. Renewal rate of fine root phytomass.

todas las localidades estudiadas fue de 0,60 ($\pm 0,10$) para la capa 0-5 cm y de 0,92 ($\pm 0,07$) en la capa de suelo de 5-15 cm (volumen dos veces mayor que la capa superficial); este resultado también podría ser consecuencia, entre otros factores, de una mayor estabilidad de la humedad del suelo en esta capa y la mayor proporción de raíces finas (Hernández, 1999).

En conclusión, el presente estudio evidenció que la humedad del suelo desempeña un papel importante en la producción de raíces finas en los sistemas boscosos, tal como ha sido informado para diferentes sistemas herbáceos (Hernández y Fiala, 1992; Hernández, 1999). Este estudio, igualmente, corroboró la importancia de la primera capa del suelo en la dinámica de la humedad del sustrato y de la fitomasa de las raíces finas, aspectos que se deben considerar para el funcionamiento adecuado de estas formaciones vegetales en la RBSR y otras localidades con características afines, y también para su manejo futuro.

Agradecimientos

Dejamos constancia de nuestro agradecimiento al Dr. Héctor Sagué Díaz, quien iniciara los estudios hidrológicos y sus procesos en la RBSR; a los compañeros del antiguo Departamento de Ecología Forestal de la Academia de Ciencias de Cuba (Leudelio Lastres, Justo Arteaga y Rolando Francés); a la dirección del Plan Las Terrazas, por el financiamiento y la construcción de las instalaciones que sirvieron de base para las observaciones y los resultados de este trabajo. A los doctores Ricardo A. Herrera y Maritza García, y a los demás compañeros de la Estación Ecológica, quienes hicieron posible la toma de las muestras y el proceso para la determinación de la humedad del suelo. Esta investigación también fue parcialmente financiada por la Fundación Internacional para la Ciencia (IFS), mediante el donativo D/3536-2 a J. A. Sánchez.

Referencias bibliográficas

- Bazzaz, F.A. 1996. Plants in changing environments: linking physiological, population, and community ecology. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 320 p.
- Blanco, F.A. 2001. Métodos apropiados de análisis estadísticos subsiguientes al análisis de varianza (ANDEVA). *Agronomía Costarricense*. 25:53
- Bucci, S.J. *et al.* 2004. Functional convergence in hydraulic architecture and water relations of tropical savanna trees: from leaf to whole plant. *Physiology*. 24:891
- Caldwell, M.M. & Virginia, R.A. 1989. Root systems. In: Plant physiological ecology. (Eds. R. Pearcy *et al.*). Chapman and Hall. New York. p. 367
- FAO. 2011. State of the world's forests. FAO. Rome, Italy. 164 p.
- Fiala, K. *et al.* 1991. Biomass partitioning in *Paspalum notatum* stands on the slope relief in the anthropic savanna of Cuba. *Preslia*. 63:269
- Fornaris E.G. *et al.* 2006. Características fisonómicas y funcionales del bosque siempreverde mesófilo de las cuchillas del Toa, Guantánamo, Cuba. *Biodiversidad Cuba Oriental*. 4:36
- Hernández, A. *et al.* 1988. Los suelos de la Reserva. En: Ecología de los bosques siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba. Proyecto MAB No. 1, 1974-1987. (Eds. R.A. Herrera *et al.*) ROSTLAC, Montevideo. p. 88
- Hernández, L. 1999. Fitomasa subterránea en un pastizal de *Paspalum notatum*, en la Sierra del Rosario, Cuba. Tesis presentada en opción al título de M.Sc. en Ecología. Instituto de Ecología y Sistemática. Ciudad de La Habana, Cuba. 85 p.
- Hernández, L. & Fiala, K. 1992. Root biomass dynamics in the savanna communities of *Paspalum notatum* in Cuba. *Ekología*. 1:153
- Hernández, L. & Rodríguez, María. 2011. La fitomasa subterránea en bosques naturales y en áreas de rehabilitación de la región minera de Moa, Holguín, Cuba. *Acta Bot. Cub.* 211:36
- Hernández, L. & Sánchez, J.A. 2009. Distribución del agua de lluvia y factores microclimáticos en ecosistemas de la Reserva de la Biosfera "Sierra del Rosario", Cuba. [cd rom] Memorias del V Congreso de Meteorología. Ciudad de La Habana, Cuba
- Hernández, L. *et al.* 1998. Caracterización espacial de la biomasa subterránea en pastizales del Instituto de Ciencia Animal. *Acta Bot. Cub.* 116:1
- Hernández, L. *et al.* 2003. Biomasa vegetal subterránea en áreas naturales, contaminadas y reforestadas de la región minera de Moa, Cuba. En: Memorias de la Cuarta Conferencia Internacional sobre Ecología de la Serpentina. <http://www.sciencereviews2000.co.uk/>

- Hernández, L. *et al.* 2006. Fine root biomass of various Cuban forests indicating the resistance to disturbance. *Memorias. Symposium*, Solvákia. <http://www.ukesav.sk>. p. 240
- Herrera, P. 2007. Flora y vegetación. En: Biodiversidad de Cuba. (Ed. H. González). Ediciones Polymita. La Habana, Cuba. p. 142
- Herrera, R.A. *et al.* 1988a. Ecología de los bosques siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba. Proyecto MAB No. 1, 1974-1987. ROSTLAC, Montevideo. 760 p.
- Herrera, R.A. *et al.* 1988b. Caracterización y dinámica de la fitomasa de raíces y micorrizas vesículo-arbusculares en la Sierra del Rosario. En: Ecología de los bosques siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba. Proyecto MAB No. 1, 1974-1987. (Eds. R.A. Herrera *et al.*). ROSTLAC, Montevideo. p. 447
- Herrera, R.A. *et al.* 1997. Ecotechnologies for the sustainable management of tropical forest diversity. *Nature and Resources*. 33:2
- Hertel, D. *et al.* 2003. Size and structure of fine root systems in old-growth and secondary tropical montane forest (Costa Rica). *Biotropica*. 35:143
- Kaúrichev, I.S. 1980. Prácticas de edafología. Editorial MIR. Moscú. 287 p.
- Mancina, C.A. *et al.* 2007. Habitat use by phyllostomid bat assemblages in secondary forests of the "Sierra del Rosario" Biosphere Reserve, Cuba. *Acta Chiropterologica*. 9:203
- Priess, J.A. *et al.* 1999. Litter and fine-root production in three types of tropical premontane rain forest in SE Venezuela. *Plant Ecol.* 143:171
- Sagué, H. & Hernández, L. 1978. Estructura del sistema radical de dos comunidades vegetales de suelos montañosos. *Inf. Cient. Téc.* 41:9
- Sagué, H. *et al.* 1979. Balance hídrico y erosión en Sierra del Rosario. *Voluntad Hidráulica*. 49:50
- Sánchez, J.A. *et al.* 2009. Ecological grouping of tropical trees in an evergreen forest of the Sierra del Rosario, Cuba. *Acta Bot. Cub.* 204:14
- Sarmiento, G. & Vera, M. 1976. La marcha anual del agua en el suelo en sabanas y bosques tropicales en los llanos de Venezuela. *Agronomía Tropical*. 27(6):629
- Singh, K.P. & Singh, R.P. 1981. Seasonal variation biomass and energy of small roots in tropical dry deciduous forest, Varanasi, India. *Oikos* 37:88

Recibido el 10 de mayo del 2011

Aceptado el 19 de septiembre del 2011