

HISTORIA DEL BOSQUE EN EL CENTRO DE TIERRA DEL FUEGO, ARGENTINA

HISTORY OF THE FOREST OF CENTRAL TIERRA DEL FUEGO, ARGENTINA

Lidia S. Burry¹ y Matilde E. Trivi de Mandri¹

RESUMEN

Nothofagus pumilio es la especie forestal nativa de mayor importancia en Tierra del Fuego ocupa un área de 214,000 ha, y es la principal fuente de madera. En este trabajo se aportan elementos para la reconstrucción de la historia del bosque de *Nothofagus pumilio* en el centro de la Isla Grande de Tierra del Fuego, extremo austral del continente americano. La reconstrucción se realizó mediante el análisis polínico de tres segmentos de una columna de sedimentos, proveniente de una turbera de *Sphagnum*. Los granos de polen se extrajeron con técnicas físicas y químicas; se determinaron, contaron y los datos porcentuales se trataron estadísticamente mediante un análisis de ordenación, para lo cual se usó el análisis de correspondencia (CA programme). Los cambios del contenido polínico a lo largo del perfil muestran variaciones de los parámetros ambientales durante el Holoceno, en relación con el cambio de estepa a bosque. Se demuestra que en el centro de la Isla entre ca 6,800 y 7,775±205 años AP hubo una estepa de gramíneas, que se transformó en un bosque abierto entre 2,340±35 y 2,755±45 años AP, y a partir de 1,725±35 años AP se desarrolló el bosque cerrado, presente en la actualidad. Se supone que estas variaciones se relacionan con el aumento en la precipitación. Las asincronías en el establecimiento del bosque en otros sitios de Tierra del Fuego se deben al gradiente de humedad de los vientos del sureste.

Palabras clave: Estepa - bosque, gradiente de humedad, Holoceno, *Nothofagus pumilio*, paleoambiente, polen.

ABSTRACT

Nothofagus pumilio is the most important native forest species in Tierra del Fuego; it covers an area of 214,000 ha and is the main source of wood. In this work a contribution is made with the elements for the reconstruction of the history of the *Nothofagus pumilio* deciduous forest in the centre of Isla Grande de Tierra del Fuego, at the southeastern end of the American continent. The reconstruction was performed by means of pollen analysis out of a peat bog profile located in the Argentine sector of Isla Grande de Tierra del Fuego. Pollen grains were extracted by physical and chemical techniques; they were determined and counted, and per centual data were statistically treated through ordination analysis (CA programme). Changes in pollen content along the profile show variation of the environmental parameters during the Holocene with relation to the transition from steppe to forest. We demonstrate that in the centre of the isle, between ca 6,800 and 7,775±205 years BP there was a gramineous steppe, later an open forest between 2,340±35 and 2,755±45 years BP, and as from 1,725±35 years BP a closed forest started developing up to now. These changes are related to the increasing precipitation. The asynchrony in the establishment of forests in other sites of Tierra del Fuego is due to humidity gradients of the southern winds.

Key words: Steppe - forest, humidity gradient, Holocene, *Nothofagus pumilio*, palaeoenvironment, pollen.

Fecha de recepción: 22 de abril de 2010

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2011

INTRODUCCIÓN

La Isla Grande de Tierra del Fuego está situada en el sur del continente americano. La porción occidental de la isla corresponde al sector chileno y la oriental, entre 52°40' y 55°07' de latitud sur y 65°05' y 68°40' de longitud oeste,

INTRODUCTION

Isla Grande de Tierra del Fuego is located at the south of America. The western part of the island belongs to the Chilean sector and the eastern, between 52°40' and 55°07' South and 65°05' and 68°40' West, to the Argentine territory

¹Laboratorio de Palinología. Departamento de Biología. Universidad Nacional del Mar del Plata. Correo-e: lburry@mdp.edu.ar

pertenece al territorio argentino (Figura 1). Los bosques de Tierra del Fuego representan el ecosistema forestal más austral del planeta. Forman parte de la los distritos boscosos de la Provincia Fitogeográfica Subantártica (Roig, 1998), que reúne a bosques caducifolios y perennifolios que se desplazan a lo largo de la cordillera de los Andes, desde los 35° hasta los 55° de latitud sur y comprenden una longitud de 2,200 km (Dimitri, 1972; Roig, 1998). Distintos taxa del género *Nothofagus* (Fagaceae) son los elementos botánicos dominantes. *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser (lenga) es la especie más importante, de amplia distribución y ocupa un área superior a los cinco millones de hectáreas en Argentina y Chile. Constituye los bosques preandinos mesófilos, que en general, albergan una baja diversidad (Roig, 1998).

La masa arborea de Tierra del Fuego, incluida la sujeta a explotación forestal, está conformada exclusivamente por especies nativas. Las condiciones climáticas para el desarrollo de la vegetación en este lugar son extremas y sus bosques, que cubren en el sector argentino 712,000 ha, están formados tan sólo por, *N. pumilio* y *N. anctartica* (G. Forster) Oerst., ambas caducifolias y *N. betuloides* (Mirb.) Oerst., taxón perennifolio (Collado, 2001; Richter y Frangi, 1992). De toda la superficie boscosa, 214,000 ha son bosques de lenga que, actualmente, se usan para la producción de madera (Collado, 2001; Bava, 2003).

Nothofagus pumilio es la de mayor relevancia en el sur de la cordillera de los Andes (Figura 2), ya que representa la principal fuente de materia prima para la industria de aserrío (Martínez-Pastur et al., 2001). Es un árbol caducifolio que forma bosques de alta densidad, con fustes rectos de hasta 30 m de alto en el área septentrional; en Tierra del Fuego es de 18 a 20 m, por lo que resulta una especie de excelente crecimiento en la Isla (Martínez-Pastur et al., 2002). Sus individuos son longevos, de alrededor de 300 años (Roig, 1998), y dadas las condiciones climáticas en las que se desarrolla, la velocidad de sus funciones biológicas es baja. Así, un espécimen que crece en esa región tarda 25 años en llegar a una altura de 3 a 5 m y casi 80 años para alcanzar 30 cm de DAP (Frangi y Richter, 1992). A pesar de su reducida tasa de crecimiento, presenta alta regeneración natural, abundantes semillas de elevada viabilidad en años pico, alternados con periodos de poca producción y viabilidad (Richter y Frangi, 1992).

La situación del plan de manejo, en lo que respecta a la renovación del bosque, es crítica. Los herbívoros silvestres y domésticos obstaculizan la regeneración y el establecimiento del renuevo (Collado et al., 2008). Otro factor que incide en este último es la excesiva apertura del dosel durante el aprovechamiento forestal (Rusch, 1992), lo cual se agrava con el transcurso del tiempo por la caída de los árboles remanentes dañados por la misma

(Figure 1). These forests are the most austral forest ecosystems of the Planet. They are a part of the Forest Districts of the Sub-Antarctic Phytogeographical Province (Roig, 1998) that display along the Andean mountain chain, from 35° to 55° South, over 2, 200 km (Dimitri, 1972; Roig, 1998). Different taxa of the *Nothofagus* genus (Fagaceae) are dominant botanic elements. *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser ("lenga") is the most important species, of wide distribution and it covers an area over the 5 million hectareas in Argentina and Chile. They are the mesophyllic pre-Andean woods, that in general, engulf a low diversity (Roig, 1988).

The tree mass of Tierra del Fuego, including that subject to harvesting, is made up exclusively, of native species. The climatic conditions for the development of vegetation of this place are extreme and their forests, that cover in the Argentine sector, 712,000 ha, are composed just by *N. pumilio* and *N. anctartica* (G. Forster) Oerst., both deciduous and *N. betuloides* (Mirb.) Oerst., an evergreen taxon (Collado, 2001; Richter and Frangi, 1992). Of the whole forest surface, 214, 000 ha.

Of the tree surface, 214, 000 ha are lenga forests that, at present, are bound to the production of wood (Collado, 2001; Bava, 2003).

Nothofagus pumilio is the most relevant species in the south of the Andes mountain range (Figure 2), since it provides the main source of raw material for the sawing industry (Martínez-Pastur et al., 2001). This deciduous tree may form high density forests, with straight stems up to 30 m tall in the northern area; in Tierra del Fuego it gets near 18 to 20 m, thus it is a species with excellent growth in the island (Martínez-Pastur et al., 2002). Individuals are long-lived, around 300 years old (Roig, 1998), and starting from the climatic conditions in which it grows, the speed of its biological functions is low. Thus, a specimen that grows here lasts 25 years to reach a height of 3 to 5 m and almost 80 years for a 30 cm DBH (Frangi and Richter, 1992). In spite of its low growth rate, it has a very numerous natural regeneration, abundant seeds of high viability in crucial years, alternated with periods of scarce production and viability (Richter and Frangi, 1992).

In regard to forest renewal, the management plan is critical. Wild and domestic herbivores handicap regeneration and the establishment of seedlings (Collado et al., 2008). Another factor that falls into the latter is the excessive canopy opening during forest harvesting (Rusch, 1992), which becomes worse along time when the remaining trees fall as a result of this practice or of the strong winds that are very common in the area. With these conditions, there is a risk that a great part of those forests liable to harvesting become degraded lands, with a very scarce forest cover (Collado et al., 2008).

actividad, o por los fuertes vientos comunes en la zona. Con estas prácticas, se corre el riesgo de que gran parte de esos bosques sujetos a aprovechamiento se conviertan en áreas degradadas, con escasa cobertura forestal (Collado *et al.*, 2008).

Con base en lo anterior, es importante conocer los momentos de establecimiento del bosque y su evolución natural en Tierra del Fuego desde hace aproximadamente 8,000 años hasta la actualidad a fin de tener elementos que coadyuven el manejo sustentable de las especies locales.

Hoy en día, la vegetación forestal se extiende del extremo sur de la Isla Grande de Tierra del Fuego, con un bosque siempreverde de *Nothofagus betuloides*, al centro de la isla, donde se desarrolla una comunidad de *Nothofagus pumilio*; hacia el norte se localiza la estepa de gramíneas, en la que domina *Festuca gracillima* Hook. f. (Moore, 1983) (Figura 1). Estas unidades de vegetación corresponden con un gradiente decreciente de precipitación de sur a norte, de tal manera que la comunidad perennifolia se ubica en un intervalo de precipitaciones que va de 700 mm a más de 1,000 mm, e incluso alcanza los 3,000 mm al año. El bosque decíduo de *N. pumilio* se localiza en lugares con precipitaciones anuales entre 450-650 mm, mientras que la estepa de 250 a 400 mm (Tuhkanen, 1992). Específicamente, la isoyeta de 400-450 mm anuales limita al sureste de Tierra del Fuego con un gradiente de precipitación acentuado y la existencia de turberas, y otra al noreste, con un gradiente de lluvia moderada, suelos más secos y de escurrimiento (Tuhkanen, 1992).

En cuanto a la temperatura, en el bosque siempre-verde el mes más cálido registra temperaturas por debajo de los 10 °C, con una media del mes más frío de 1 °C a 3.5 °C; la media del la vegetación caducifolia para el mes más cálido es de 9 a 11 °C y para el más frío de -3.5 a 2 °C. En la estepa la temperatura media para el mes más cálido es de alrededor de 12 °C y para el más frío entre -4 y 2 °C (Tuhkanen, 1992).

Los trabajos paleoambientales previos demuestran que el establecimiento del bosque en la Isla fue asincrónico en las distintas latitudes, y explican que durante el inicio del Holoceno, hace aproximadamente 10,000 años, prosperó en su parte sur, a lo largo de la costa del Canal de Beagle, para luego extenderse al centro con una dirección SW-NE del gradiente de precipitación (Markgraf, 1980a, 1980b, 1983; Rabassa *et al.*, 1989; Heusser, 1993, 1994, 2003; Burry *et al.*, 2006, 2007).

Una de las metodologías que se usan para estudiar los procesos paleoambientales es la palinológica. El análisis de polen fósil permite reconstruir la sucesión vegetal e investigar varios aspectos del ambiente en el pasado. Para utilizar la información encerrada en el polen extraído de depósitos

Based upon the former statements, it is important to know the moments of establishment of the forest and its natural evolution in Tierra del Fuego since 8,000 years up to now, in order to have information that helps to plan a sustainable management for the local species.

Nowadays, the forest vegetation extends from the southern extreme of Isla Grande de Tierra del Fuego with an evergreen forest of *Nothofagus betuloides* to the center of the island, where a *Nothofagus pumilio* community develops; to the north, is found the gramineous steppe in which *Festuca gracillima* Hook. f. (Moore, 1983) is the dominating species (Figure 1). These vegetation units belong to a decreasing rainfall gradient from south to north, in such a way that the evergreen community is located in a rainfall interval from 700 mm to 1,000 mm, and even gets up to 3,000 mm / year. The deciduous *N. pumilio* forest grows with annual rainfall between 450 and 650 mm, while in the steppe it is from 250 to 400 mm (Tuhkanen, 1992). Specifically, the isohyet of 400 - 450 mm / year limits Tierra del Fuego to the southeast with a pronounced rainfall gradient, running-off and dryer soils (Tuhkanen, 1992).

In regard to temperature, the warmest month in the evergreen forest has a record under 10°C, with means from 1 °C a 3.5°C in the coldest month; for deciduous vegetation, the mean for the warmest month is from 9 a 11 °C and for the coldest, from -3.5 a 2 °C. At the steppe, the mean temperature for the warmest month is around 12 °C and for the coldest, between -4 and 2 °C (Tuhkanen, 1992).

Former paleoenvironmental works show that the establishment of the forest in the Island was asynchronous at the different latitudes, and explain that, during the beginning of the Holocene era about 10,000 years ago, it was organized in the south along the Beagle Channel coast, to extend itself later towards the center following a SW - NE direction of the rainfall gradient (Markgraf, 1980a, 1980b, 1983; Rabassa *et al.*, 1989; Heusser, 1993, 1994, 2003; Burry *et al.*, 2006, 2007).

One of the methods used in the study of the paleoenvironmental processes is Palynology. The fossil pollen analysis makes it possible to reconstruct vegetal succession and to do research about diverse environmental aspects of the past. In order to use the information preserved in the pollen grains extracted from the sedimentary deposits it is necessary to reconstruct the relations with the vegetal communities with their environment. From them, the process from a known basis, as present times, to a different one can be interpreted: the past through retro-diction and the future by prediction.

On the other hand, the knowledge of the present system makes it possible to understand how the variables articulate in the functional structure of the system, which gives Palynology an

sedimentarios es necesario reconstruir las relaciones de las comunidades vegetales con su ambiente. A partir de ellas se puede interpretar el proceso desde una base conocida, como es el presente, hacia otras desconocidas: el pasado por medio de la retrodicción y el futuro mediante la predicción.

Por otro lado, el conocimiento del sistema actual hace posible entender cómo se articulan las variables en la estructura funcional del sistema, lo que le da a la Palinología un poder explicativo similar al del actualismo geológico (D'Antoni, 2008). De esta manera, es importante conocer la vegetación actual, el clima y también contar con un modelo de deposición de la lluvia polínica en nuestros días para ser empleado como modelo de referencia del registro fósil. Al respecto, existen antecedentes en Tierra del Fuego (Heusser, 1989; Trivi *et al.*, 2006).

En este estudio se documentan los resultados del análisis palinológico de tres secciones de un perfil de ca. 8,000 años AP provenientes de una turbera, obtenidos de la integración de nuevos datos con otros previamente publicados (Burry *et al.*, 2006). El producto contribuye al conocimiento de la transición en el tiempo de estepa a bosque. Por consiguiente, el objetivo del trabajo fue reconstruir la historia del bosque decido de *Nothofagus pumilio* durante el Holoceno en el centro de la Isla Grande de Tierra del Fuego. Calibraciones posteriores llevarán a la construcción de modelos adecuados para las predicciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con el material de una columna de sedimento de 4.56 m de profundidad extraída de una turbera de *Sphagnum* con una sonda Dachnowski (1924). El sitio de colecta está situado en el sector argentino de la Isla Grande de Tierra del Fuego en la Estancia La Pampa a 250 msnm. El lugar se denomina R-2 (54°32'00" S, 67°04'00" W) y se ubica en el bosque decido del centro de la Isla (Figura 1).

En la columna se delimitaron tres secciones; la superior desde los 0 a 0.82 m y la inferior de los 3.14 a 3.40 m, ya estudiados (Burry *et al.*, 2006), y la porción media (1.20 a 1.70 m) que se analiza en la presente investigación. La sección superficial de la columna correspondió a una turba de *Sphagnum*, la que se torna cada vez más oscura a medida que aumenta la profundidad. Desde los 1.20 m hasta 1.75 m el material se halla descompuesto y a partir de los 3.0 m el sedimento tiene un aspecto fangoso con mezcla de turba.

Se cuenta con fechados radiocarbónicos para los tres segmentos (Trivi *et al.*, 2005), que indican la antigüedad de los sedimentos. El inferior comprende entre 7,775±205 años antes del presente (AP) y una edad estimada de 6,847 años AP; el medio de 2,755±45 a 2,340±35 años AP y el superior de 1,725±35 años AP a la actualidad (Cuadro 1).

explanatory power similar to the geologic actualism (D'Antoni, 2008). In this way it is important to know the present vegetation, the climate and also to rely on a deposition model of pollen rain in our days to use it as a reference of fossil records. In this context, there is a background in Tierra del Fuego (Heusser, 1989; Trivi *et al.*, 2006).

In the following study are documented the results of a palinological analysis of three sections of a profile near 8,000 years BP from a peat bog, obtained from the integration of new data with other previously published (Burry *et al.*, 2006). These results are a contribution to the knowledge of the transition in time of the steppe to forest. Thus, the purpose of this work was to reconstruct the history of the deciduous forest of *Nothofagus pumilio* during the Holocene in the center of Isla Grande de Tierra del Fuego. Subsequent calibration will lead to the building of models adjusted to predictions.

MATERIALS AND METHODS

The study was made with the material contained in a sediment column obtained at 4.56 m deep extracted from a peat bog of *Sphagnum* with a Dachnowski dragrope (1924). The collecting site is located in the Argentine sector of the Isla Grande de Tierra del Fuego in the La Pampa Estancia at 250 masl. The place is referred to as R-2 (54°32'00" S, 67°04'00" W) and is located in the deciduous forest of the center of the island (Figure 1).

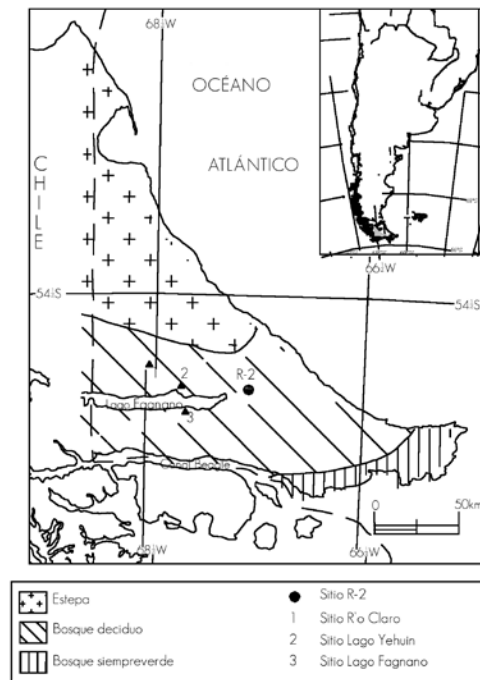


Figura 1. Isla Grande de Tierra del Fuego, sector argentino. Unidades fitogeográficas (Moore, 1983).

Figure 1. Isla Grande Tierra del Fuego, Argentine sector. Phytogeographic Units (Moore, 1983).

Cuadro 1. Fechados radiocarbónicos del sitio R-2 (Tierra del Fuego).
Table 1. Radio-carbonic dating of the R-2 site (Tierra del Fuego).

Profundidad (m)	Fechado (años AP)	Edad calibrada (años AP)
0.54	955±95	689-1,014
0.82	1,725±35	1,548-1,711
1.20	2,340±35	2,309-2,470
1.70	2,755±45	2,765-2,951
3.39	7,775±25	8,171-9,135

Fuente: Trivi *et al.*, 2005.

Las técnicas de recuperación de los granos de polen incluidos en los sedimentos de cuatro muestras del segmento medio son las mismas que se usaron en los segmentos superior e inferior (Faegri e Iversen, 1989). En todos los casos se aplicó la siguiente secuencia: a) A cada muestra se le agregaron tabletas de esporas de *Lycopodium clavatum* L. para garantizar que el polen no se perdiera durante el tratamiento; b) las muestras se filtraron a través de una malla de nylon de 260 μm ; c) el material fue defloculado con una solución de hidróxido de potasio (KOH) al 10%, para neutralizar los ácidos húmicos; d) los carbonatos se neutralizaron con ácido clorhídrico (HCl) al 10%, a temperatura ambiente y posteriormente se enjuagaron numerosas veces con agua destilada; e) la separación de los compuestos orgánicos ($d < 1,7$) e inorgánicos ($d > 2,0$) se hizo por flotación diferencial con una solución acuosa de cloruro de zinc (ZnCl_2), calibrada a una densidad de 1.9 g L^{-1} ; f) los silicatos remanentes se removieron por medio de enjuagues con ácido fluorhídrico (HF) al 40%; g) la molécula de celulosa se disgregó en fragmentos solubles mediante una acetólisis, los cuales se lavaron sucesivamente con agua destilada; h) los sedimentos se incluyeron en glicerina y transfirieron a viales de 5 mL a temperatura ambiente.

Los tipos polínicos observados en cada una de las muestras fueron determinados con la ayuda de atlas polínicos (Erdtman, 1943, 1969; Heusser, 1971; Markgraf y D'Antoni, 1978; Moore *et al.*, 1991) y por comparación con la colección de referencia del Laboratorio de Palinología de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Cada uno de ellos se contabilizó al microscopio óptico con un aumento de 1000X, hasta obtener una suma polínica no menor a 300 granos y se calculó su porcentaje, para cada una de las muestras. Se realizó un análisis de ordenación por medio del análisis de correspondencia (CA programme) Tilia pack, versión 1,12 (Grimm, 1992). Sólo se consideraron los tipos polínicos con porcentajes mayores al 2 %, en al menos una muestra.

Three sections were determined in the column; the upper, from 0 a 0.82 m and the lower, from 3.14 to 3.40 m, already studied (Burry *et al.*, 2006), and the middle part (1.20 to 1.70 m) that is analyzed in the present paper. The first one belongs to a peat bog of *Sphagnum*, which becomes darker with depth. From 1.20 m to 1.75 m the matter is rotten and from 3.0 m on the sediment has a muddy look mixed with peat.

Radio-carbonic dating for the three segments was considered (Trivi *et al.*, 2005), which shows the timing of the sediments. The lowest is around 7,775±205 years before present times (BP) and an estimated age of 6,847 years BP; the middle segment is around 2,755±45 to 2,340±35 years BP and the upper, from 1,725±35 years BP to the present (Table 1).

The procedure to recover the pollen grains in the sediments of the four samples of the middle segment is the same that were used for the upper and lower segments (Faegri e Iversen, 1989). In all cases the following sequence was applied: a) To each sample were added spore tablets of *Lycopodium clavatum* L. as to guarantee that the pollen would not get lost; b) the samples were filtered through a nylon 260 μm z solution (KOH) at 10%, to neutralize the hummic acids; d) carbonates were neutralized with chlorhydric acid (HCl) at 10%, environmental temperature and were rinsed in several times, later, with distilled water; e) the separation of organic ($d < 1,7$) and inorganic ($d > 2,0$) was made through differential flotation with a water solution of zinc chloride (ZnCl_2), fixed to a 1.9 g L^{-1} density; f) the remaining silicates were removed by means of fluorhydric acid rinsing (HF) at 40%; g) the cellulose molecule was parted into soluble fragments through acetolysis, and were successively washed with distilled water; h) sediments were immersed into glycerine and were transferred to 5mL glass vials at environmental temperature.

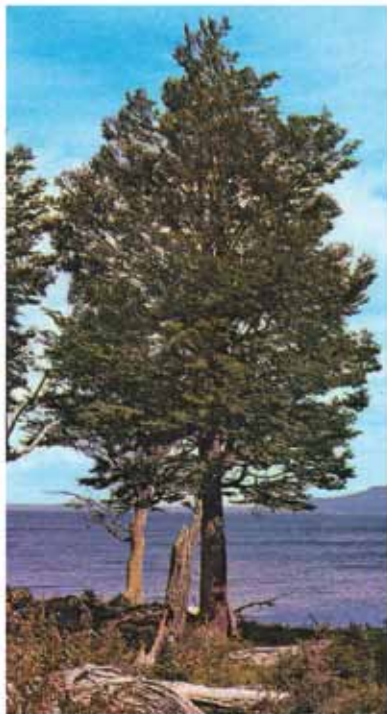


Figura 2. *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser
Figure 2. *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis conjunto de los datos provenientes de los tres segmentos del perfil permitió seguir el desarrollo del bosque en los últimos 8,000 años en el centro de la Isla Grande de Tierra del Fuego. Se observó una tendencia sucesional de estepa hacia bosque. El marcado gradiente de precipitación SW-NE determinó las unidades de bosque y de estepa, así como las zonas transicionales, las que están bien definidas en el espectro polínico actual, y proveen un modelo para la comparación con el fósil (Trivi *et al.*, 2006).

A partir del análisis de los segmentos del perfil R-2 se identificaron 36 tipos polínicos (Figura 3). El inferior reúne altos porcentajes de la familia Poaceae (30-72%) y de plantas características de los suelos húmedos (Cyperaceae y otras Monocotiledoneae). Aparecen también especies herbáceas y arbustivas, incluido *Empetrum* sp (0 y 8.5%), en escasa proporción pero en forma constante. Como taxón arbóreo se identificó el género *Nothofagus* con valores bajos (2-18%), acompañado por *Misodendrum*, parásito del primero. La composición polínica de este segmento del perfil corresponde con la composición polínica de muestras procedentes de la estepa (Trivi *et al.*, 2006) que existe en la actualidad, hacia el norte de la Isla, donde se registran precipitaciones menores a 400 mm anuales.

The pollinic types observed in each sample were determined with the aid of a pollinic atlas (Erdtman, 1943, 1969; Heusser, 1971; Markgraf and D'Antoni, 1978; Moore *et al.*, 1991) and by comparison with the reference collection of the Palynology Laboratory of the National University of Mar del Plata. Each of them was counted with an optical microscope and a 1000X magnification until a pollinic amount not under 300 grains was obtained and per cent was calculated for each sample. An ordination analysis was performed with a 1,12 version Tilia pack (Grimm, 1992) correspondence analysis (CA programme). Only the pollinic types above 2% at least in one sample were considered.

RESULTS AND DISCUSSION

The joint analysis of the proceeding data from the three segments of the profile made it possible to follow the development of the forest in the last 8, 000 years at the center of Isla Grande de Tierra del Fuego. A successional tendency was observed from steppe to forest. The pronounced rainfall SW-NE gradient determined the forest and steppe units, as well as transitional zones, which are well defined in the present pollinic spectrum and provide a model for the comparison with the fossil (Trivi *et al.*, 2006).

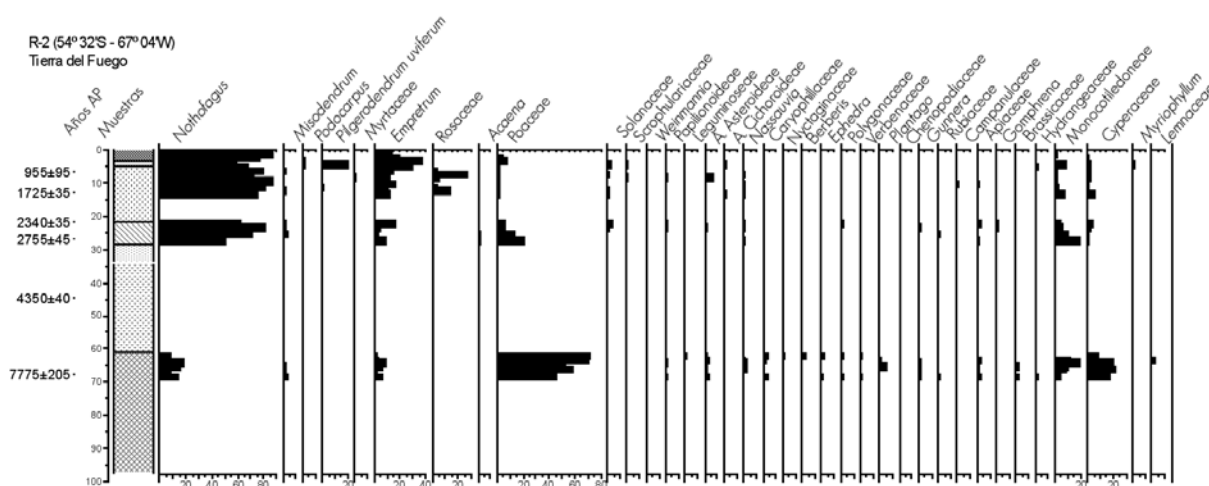


Figura 3. Diagrama polínico porcentual de los tres segmentos estudiados del sitio R-2.
 Figure 3. Pollinic diagram per cent of the three studied segments of the R-2 site.

La parte media datada entre 2,755±45 y 2,340±35 años AP, respecto al segmento inferior, tuvo valores mayores de *Nothofagus* (80 y 50%) y considerablemente pobres de Poaceae (19.5 y 5.5%), con un aumento de *Empetrum* (2 y 16.5%), y se estimaron porcentajes importantes de Monocotiledoneae (Figura 3). La relación entre *Nothofagus* y Poaceae evidencia la presencia de un bosque abierto en franco proceso de expansión, con un manifiesto incremento en las condiciones de humedad.

En la sección superior, desde 1,725±35 años AP a la fecha, predomina *Nothofagus* (56 a 87%), aunque se tienen valores altos de *Empetrum* (9 y 36.5%) y de Rosaceae, principalmente del género *Acaena*, y valores entre 0 y 7% para Poaceae. Hay una reducida abundancia de taxa de suelos húmedos, mientras que los herbáceos y arbustivos están casi ausentes. Este espectro polínico es similar al del bosque actual, en el que las precipitaciones oscilan de 450 a 650 mm anuales.

Por otro lado, el análisis de ordenación de las muestras de los tres segmentos del perfil y de las variables (tipos polínicos) explicó 59% de la varianza con el primer eje y con el segundo 20%. Como resultado, en el extremo derecho del eje 1 se ubican las muestras pertenecientes a la porción más antigua, hacia el centro las del segmento intermedio y en el extremo izquierdo, la más moderna (Figura 4). La parte inferior se definió por los tipos polínicos: Poaceae, Caryophyllaceae, Apiaceae, *Ephedra*, *Nassauvia*, *Plantago* y *Cyperaceae*, familias relacionadas con un tipo de vegetación de estepa. En la sección media predominó el tipo polínico Monocotiledoneae y en la tercera, la más reciente, destacaron *Nothofagus* y *Empetrum*, que indican una fisonomía de bosque.

La ordenación de las muestras a lo largo del primer eje de correspondencia separó, de manera clara, los tres fragmentos del perfil R-2, y permitió relacionar este eje con el gradiente de

From the analysis of the segments of the R-2 profile, 36 pollinic types were identified (Figure 3). The lowest includes a high per cent of the Poaceae family (30-72) and plants proper of wet soils (*Cyperaceae* and other Monocotiledoneae). There are also herbaceous and shrub species, including *Empetrum* sp (0 y 8.5%) in a small but constant proportion. *Nothofagus* was found as tree taxon, with lower values (2-18%), in association with *Misodendrum*, which is a parasite of the first. The pollinic composition of this profile segment is coincidental to the samples of the steppe (Trivi *et al.*, 2006) that exist at present at the north of the Island where rainfall is under 400 mm / year.

In the middle part, dated from 2,755±45 to 2,340±35 years BP, in regard to the lower segment, *Nothofagus* had higher values (80 and 50%), and considerably poor of Poaceae (19.5 and 5.5%), with an increase of *Empetrum* (2 y 16.5%), and important Monocotiledoneae per cent was estimated (Figure 3). The relation between *Nothofagus* and Poaceae demonstrates the presence of an open forest in clear expansion with an evident increase of the humidity conditions.

In the upper section, from 1,725±35 years BP to present times, *Nothofagus* is dominant, even though there are high values of *Empetrum* (9 and 36.5%) and Rosaceae, mainly of *Acaena*, and between 0 and 7% of Poaceae. There is a rather scarce abundance of the taxa of humid soils, while the herbaceous and shrub are almost non-existent. This pollinic spectrum is similar to the present forest, in which rainfall is from 450 to 650 mm / year.

On the other hand, the ordination analysis of the samples of the three segments of the profile and the variables (pollinic types) explained 59% of the variance with the first axis and 20% with the second. As a result, in the right limit of axis 1 are the samples of the most ancient portion, at the center

precipitación de sur a norte que determina las distintas unidades de vegetación en la región. A la derecha del eje 1 la lluvia es menor a 400 mm, área en la que se localizan las muestras pertenecientes a la estepa, en tanto que hacia la izquierda la precipitación aumenta alcanzando valores de 450 a 650 mm, es decir, con fisonomía de bosque deciduo.

Con base en el modelo polínico actual (Trivi *et al.*, 2006), en la relación porcentual de los tipos polínicos *Poaceae* y *Nothofagus*, taxa indicadores de las distintas unidades de vegetación de la Isla, en los segmentos estudiados del perfil y el análisis de ordenación se diferenciaron las comunidades imperantes en los tres períodos considerados para el sitio R-2; además se estableció la correspondencia de estas unidades de vegetación con los cambios ambientales.

Así, se puede precisar que en el segmento más antiguo, Holoceno temprano con alrededor de 7,000 años AP, se identificaron comunidades de estepa y transición estepa-bosque, que confirman la prevalencia de un clima más seco que el actual. En el medio se detectaron comunidades de bosque abierto y en el moderno, Holoceno tardío, se registraron comunidades de bosque indicativas de condiciones con humedad superior a la que caracterizó a las secciones previas. En este período se distinguieron unidades de bosque abierto y de bosque cerrado relacionadas con etapas más secas y húmedas, en los últimos 2,000 años (Burry *et al.*, 2006).

En otros sitios del centro de la Isla Grande de Tierra del Fuego, durante el Holoceno temprano, se observan asincronías de las comunidades vegetales para aproximadamente la misma latitud, de tal manera que para los 7,000 años AP en otros sitios centrales (Cuadro 2), como Lago Fagnano (Heusser, 2003) y Lago Yehuin (Markgraf, 1983) (Figura 1), hubo una expansión del bosque (respecto a períodos anteriores) con una fisonomía de dosel abierto, mientras que en R-2 (hacia el este) todavía se presentaba la estepa o una transición incipiente estepa-bosque. Así mismo en el lapso comprendido entre 2,340±35 - 2,755±45 años AP ya se había establecido el bosque tanto en los lugares mencionados, como en la localidad Río Claro (Burry *et al.*, 2007), y en R-2 se desarrollaba un bosque abierto.

En los últimos dos milenios ya existían bosques en todos los sitios centrales. Por lo tanto, las diferencias identificadas entre ellos en las comunidades del Holoceno se deben al establecimiento asincrónico del bosque en distintas zonas del centro de la Isla, situación relacionada con el volumen de lluvia recibida. El sitio R-2 se localiza al este de los otros sitios indicados, por lo cual la humedad de los vientos del SW habría tenido una influencia en el desarrollo tardío de *Nothofagus*.

those of the in between segment and to the left, the most recent (Figure 4). The lower part was defines by the following pollinic types: *Poaceae*, *Caryophyllaceae*, *Apiaceae*, *Ephedra*, *Nassauvia*, *Plantago* and *Cyperaceae*, which are families related to a steppe vegetation type. In the middle section dominated the *Monocotiledoneae* pollinic type and in the third one, the most recent, *Nothofagus* and

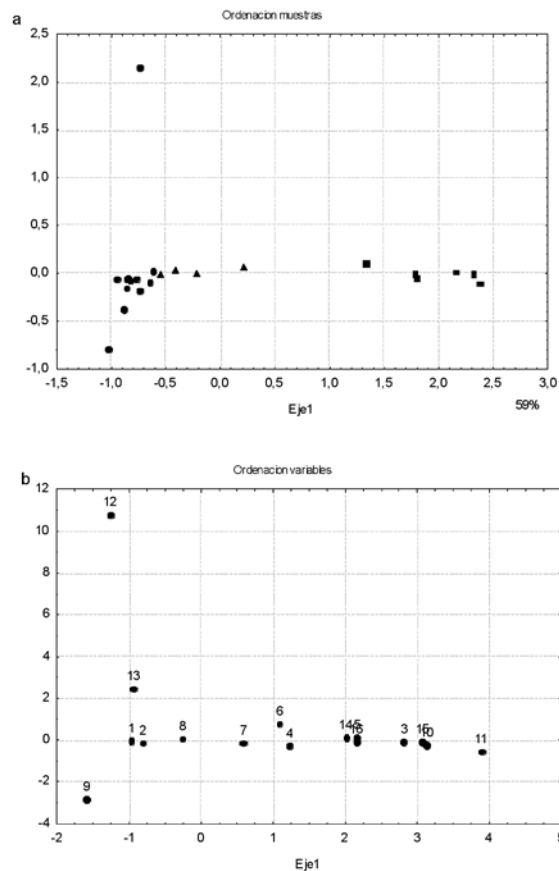


Figura 4. a. Ordenación de las muestras pertenecientes a ■ segmento más antiguo, ▲ segmento medio y ● segmento más moderno del perfil R-2. b. Ordenación de los tipos polínicos: 1. *Nothofagus*, 2. *Empetrum*, 3. *Poaceae*, 4. *Asteraceae* Subfamilia *Asteroideae*, 5. *Cyperaceae*, 6. *Poaceae*, 7. *Misodendrum*, 8. *Acaena*, 9. *Rosaceae*, 10. *Caryophyllaceae*, 11. *Ephedra*, 12. *Pilgerodendrum uviferum*, 13. *Solanaceae*, 14. *Nassauvia*, 15. *Plantago*, 16. *Apiaceae*.

Figure 4 a. Distribution of the samples tan belong to a ■ eldest segment, ▲ middle segment and ● most recent segment of profile R-2. b. Distribution of the pollinic types: 1. *Nothofagus*, 2. *Empetrum*, 3. *Poaceae*, 4. *Asteraceae* Subfamilia *Asteroideae*, 5. *Cyperaceae*, 6. *Poaceae*, 7. *Misodendrum*, 8. *Acaena*, 9. *Rosaceae*, 10. *Caryophyllaceae*, 11. *Ephedra*, 12. *Pilgerodendrum uviferum*, 13. *Solanaceae*, 14. *Nassauvia*, 15. *Plantago*, 16. *Apiaceae*.

Cuadro 2. Sitios del centro de la Isla Grande de Tierra del Fuego con registros polínicos.
Table 2. Sites of the center of the Isla Grande de Tierra del Fuego with pollinic records.

Años AP	Río Claro 54°22'S, 68°W (Burry <i>et al.</i> , 2007)	Lago Fagnano 54°57'S, 67°62'W (Heusser, 2003)	Lago Yehuín 54°20'S, 67°45'W (Markgraf, 1983)	R-2 54°32'S, 67°04'W
Actual-1,725±35	Bosque cerrado	Bosque cerrado	Bosque deciduo	Bosque cerrado
2,340±35-2,755±45	Bosque cerrado	Aumento de bosque	Bosque mixto deciduo	Bosque abierto
Ca 6,800-7,775±205	-	Dominio de gramíneas, aumento de <i>Nothofagus</i>	<i>Nothofagus</i> y gramíneas codominantes	Estepa de gramíneas Transición estepa-bosque

Las diferencias observadas en las comunidades del Holoceno temprano en localidades cercanas a la estudiada responden al distinto volumen de precipitación en cada una, lo que también se refleja en la actualidad, con respecto a la ubicación de la isoyeta de 500 mm que delimita las fisonomías más contrastantes existentes en la Isla. El clima en Tierra del Fuego está determinado sobre todo por los cambios estacionales del frente polar y la actividad ciclónica relacionada con los *westerlies* del sur (Pisano, 1977).

La precipitación, que se distribuye regularmente durante todo el año, ocurre como consecuencia del paso de masas de aire húmedo y frío provenientes del Pacífico a través de los *westerlies* que cruzan las barreras montañosas (Tukhanen, 1992). De esta manera, las condiciones climáticas más secas en distintos períodos del Holoceno en la Isla de Tierra del Fuego estarían relacionadas con *westerlies* reducidos, y por el contrario las situaciones más húmedas con su incremento.

Borromei *et al.* (2010) concluyen en su investigación sobre cambios paleoambientales de Tierra del Fuego, a partir de registros *multi-proxy*, que después de 6,500 años *ca* AP comienza una intensificación de los *westerlies* del sur que traen asociados aumentos de precipitación y frío. Estos resultados son coincidentes con los de R-2 aquí consignados, y en los cuales se constata un aumento de la humedad para la región después de 6,800 años AP.

CONCLUSIONES

Las unidades de vegetación son una expresión de los parámetros climáticos. En el presente trabajo se aportaron elementos para la reconstrucción de la historia del bosque deciduo en el centro de la Isla Grande de Tierra del Fuego. Se determinó la presencia de una estepa de gramíneas entre *ca* 6,800 y 7,775±205 años AP, seguido por un

Empetrum were outstanding, which show the physiognomy of the forest.

The arrangement of the samples along the first axis in correspondence clearly distinguished the three segments of R-2 profile, and made it possible to relate this axis with the rainfall gradient from south to north that determines the different vegetation units in the region. To the right of axis 1, rainfall is lower than 400 mm, where the steppe samples are located, while to the left, rainfall increases up to 450 to 650 mm, that is, with a deciduous forest physiognomy.

Based upon the present pollinic model (Trivi *et al.*, 2006), in regard to the *Poaceae* and *Nothofagus* pollinic types, from indicator taxa of the vegetation units of the Island, in the studied segments of the profile and the ordination analysis, the dominant communities of the three periods considered here for the R-2 site were differentiated; in addition, the correspondence of these vegetation units with the environmental changes was established.

Thus, precision can be made in the eldest segment, early Holocene around 7,000 years BP, where steppe communities were identified as well as a steppe-forest transition, which confirms the prevalence of a dryer weather than at present. In the middle, open forest communities were detected and in the most recent, late Holocene, forest communities indicative of more humid conditions to the previous section were recorded. In this period were defined open forest units and closed forest related with drier and more humid stages in the last 2,000 years (Burry *et al.*, 2006).

In other sites of the center of Isla Grande de Tierra del Fuego during the early Holocene, some asynchronism was observed in vegetation communities for nearly the same latitude, in such a way that for the 7,000 years BP in other

bosque abierto entre $2,340\pm 35$ y $2,755\pm 45$ años AP, y a partir de $1,725\pm 35$ la formación del bosque cerrado que se observa en la actualidad.

Los cambios verificados a través de las variaciones en el registro polínico del perfil llevan a considerar la existencia de modificaciones en los parámetros ambientales durante el Holoceno, en este caso, en relación con los aumentos de precipitación asociados con una intensificación de los *westerlies* del sur.

Las variaciones obtenidas en cuanto a las asincronías en el establecimiento de las unidades de vegetación en distintos sitios del centro de Tierra del Fuego se deben a que en los ubicados hacia el occidente incide de manera más temprana la humedad de los vientos del SO. Todas las localidades del centro de la Isla tuvieron un incremento de la precipitación; sin embargo, dada su ubicación hacia el este, en el sitio R-2 el fenómeno se detecta más tardíamente.

Los resultados que definen la evolución natural del bosque de *Nothofagus pumilio* son un aporte al conocimiento, ya que muestran su comportamiento con diferentes condiciones hídricas. Además permitirán realizar análisis de calibración para la elaboración de modelos predictivos que dilucidarán las tendencias de la vegetación en la región, en concordancia con las variaciones de los factores climáticos. Aunque el futuro sea incierto, es importante tener en cuenta las variables ambientales que regulan su desarrollo y que redundarán en estudios conducentes al manejo sustentable del recurso maderero. 🌿

AGRADECIMIENTOS

A Patricia Palacio, por la colaboración en el análisis estadístico, la confección de las figuras y la revisión del texto.

REFERENCIAS

- Bava, J. O. 2003. El uso forestal de los bosques de lenga argentinos y la certificación de manejo del Forest Stewardship. *Quebracho* 10: 53-59.
- Borromei A., M., A. Coronato, L. G. Franzén, J. F. Ponce, J. A. López Sáez, N. Maidana, J. Rabassa and M. S. Candel. 2010. Multiproxy record of Holocene paleoenvironmental change, Tierra del Fuego, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 286: 1-16.
- Burry, L. S., M. Trivi de Mandri y H. L. D'Antoni. 2006. Paleocomunidades vegetales del centro de Tierra del Fuego durante el Holoceno temprano y tardío. *Revista Museo Argentino Ciencias Naturales* 8(2): 127-133.
- Burry, L. S., M. Trivi de Mandri and H. L. D'Antoni. 2007. Modern analogues and past environments in central Tierra del Fuego. *Anales del Instituto de la Patagonia* 35(2): 5-14.
- Collado, L. 2001. Los bosques de Tierra del Fuego. Análisis de su estratificación mediante imágenes satelitales para el inventario forestal de la provincia. *Multequina* 10: 1-16.

central sites (Table 2), such as Fagnano Lake (Heusser, 2003) and Yehuin Lake (Markgraf, 1983) (Figure 1), there was a forest expansion (in regard to previous periods) with an open canopy physiognomy, while in R-2 (to the East) still the steppe or an incipient steppe-forest transition were present. Also, in the lapse of time between $2,340\pm 35$ and $2,755\pm 45$ years BP, the forest had already been established in the fore-mentioned places as well as in Claro River (Burry *et al.*, 2007), and in R-2 developed an open forest.

In the last two millennia, there were forests already in all the central sites. Thus, the differences that were found among them in the Holocene communities are due to the asynchronous establishment of the forest in different zones of the center of the Island, a situation related to the volume of rain that was received. The R-2 site is located at the east of the other sites, which means that humidity could have had an influence upon the late development of *Nothofagus*.

The differences observed in the early Holocene communities in the locations near the studied one are a consequence of the different rainfall volume in each one, which is also shown at present, in regard to the isohyets of 500 mm that divide the most contrasting physiognomies present at the Island. The weather of Tierra del Fuego is determined, mainly, by the seasonal changes of the polar front and the cyclone activities related to the southern westerlies (Pisano, 1977).

Rain, that regularly falls all year long, occurs as a result of the passing of humid and cold air masses that originate in the Pacific Ocean, by means of the westerlies that cross the mountain barriers (Tukhanen, 1992). In this way, the drier climatic conditions at different times of the Holocene in the Isla de Tierra del Fuego would be related to smaller westerlies, and on the contrary, the more humid situations, to their increment.

Borromei *et al.* (2010) conclude in their research about paleoenvironmental changes in Tierra del Fuego from their multiproxy records, that after 6,500 years near BP starts a southern westerlies intensification, that bring in association, rainfall and cold. These results are coincidental with those of R-2 described here, and in which an increment of humidity for the region appeared after 6,800 years BP.

CONCLUSIONS

Vegetation units are an expression of the climatic parameters. In this paper were provided elements for the reconstruction of the history of the deciduous forest located at the center of Isla Grande de Tierra del Fuego. The presence of a grain steppe was determined around 6,800 and $7,775\pm 205$ years BP, followed by an open forest between $2,340\pm 35$ and $2,755\pm 45$ years BP and from $1,725\pm 35$ the formation of the closed forest that can be seen today.

- Collado, L., S. Farina, F. Jaras y H. Vargas. 2008. Monitoreo del estado de intervención y de la regeneración de *Nothofagus pumilio* en un plan de manejo forestal en el ecotono estepa-bosque de Tierra del Fuego, Argentina. *Bosque* 29(1): 85-90.
- Dachnowski, A. P. 1924. The stratigraphic study of peat deposits. *Soil Sci.* 17: 107-131.
- D'Antoni, H. L. 2008. Arqueología Sistémica y Caótica. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, España. 278p.
- Dimitri, M. J. 1972. La región de los bosques Andino-Patagónicos. Colección Científica INTA. Tomo X. Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Nación. Buenos Aires, Argentina. 381p.
- Erdtman, G. 1943. An Introduction to pollen analysis. Chronica Botanica Company, New York, NY USA. 239 p.
- Erdtman, G. 1969. Handbook of Palynology. Hafner Publishing Co. New York, NY USA. 486 p.
- Fægri, K. and J. Iversen. 1989. Textbook of pollen analysis. Fægri, K., P. E., Kaland and K. Krzywinski (Eds.). 4th ed. John Wiley and Sons. New York, NY USA. 328 p.
- Frangi, J. y L. L. Richter. 1992. Los ecosistemas forestales de la Tierra del Fuego. *Vida Silvestre* 72: 36-43.
- Grimm, E. 1992. Tilia software. Illinois State Museum. Research and Collection Center Springfield, IL USA. CD.
- Heusser, C. J. 1971. Pollen and spores from Chile. Modern Types of Pteridophyta, Gymnospermae and Angiospermae. University of Arizona Press, Tucson, AZ USA. 167 p.
- Heusser, C. J. 1989. Late Quaternary vegetation and climate of Southern Tierra del Fuego. *Quaternary Research* 31: 396-406.
- Heusser, C. J. 1993. Late Quaternary forest - steppe contact zone, Isla Grande de Tierra del Fuego, Subantarctic South America. *Quaternary Science Review* 12: 169-177.
- Heusser, C. J. 1994. Paleoindians and fire during the late Quaternary in southern South America. *Revista Chilena de Historia Natural* 67: 435-443.
- Heusser, C. J. 2003. Ice Age Southern Andes. a chronicle of paleoecological events. *Developments in Quaternary Science*, 3. Elsevier Books, Amsterdam, The Netherlands. 240 p.
- Markgraf, V. and H. L. D'Antoni. 1978. Pollen flora of Argentina. Modern Spores and Pollen Types of Pteridophyta, Gymnospermae and Angiospermae. The University of Arizona Press. Tucson, AZ USA. 208 p.
- Markgraf, V. 1980a. New data on the late and postglacial vegetational history of La Misión, Tierra del Fuego, Argentina. In: *Proceedings of the IV International Palynology Conference*. Lucknow, India Vol.3. pp. 68-74.
- Markgraf, V. 1980b. Nuevos datos para la historia vegetacional del Tardiglacial y Postglacial de "La Misión" Tierra del Fuego. In: *Memorias del 3er. Coloquio de Paleobotánica y Palinología*. Instituto Nacional de Antropología. México, D.F., México. pp. 75-81.
- Markgraf, V. 1983. Late and Postglacial vegetational and paleoclimatic changes in subantarctic, temperate and arid environments in Argentina. *Palynology* 7: 43-70.
- Martínez-Pastur G., J. M. Cellini, M. V. Lencinas, R. Vukasovic, R. Vicente, F. Bertolami y J. Giunchi. 2001. Modificación del crecimiento y de la calidad de fustes en un raleo fuerte de un rodal en fase de crecimiento óptimo inicial de *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser. *Ecología Austral* 11: 95-104.
- Martínez-Pastur G., J. M. Cellini, M. V. Lencinas, R. Vukasovic, P. Peri and S. Donoso. 2002. Response of *Nothofagus betuloides* (Mirb.) Oersted to different thinning intensities in Tierra del Fuego (Argentina). *Interciencia* 12: 679-685.
- Moore, D. M. 1983. Flora of Tierra del Fuego. Anthony Nelson, Oswestry, UK. 396 p.
- Moore, P. D., J. A. Webb and M. E. Collinson. 1991. *Pollen Analysis*, 2nd ed. Blackwell Scientific Publications. London, UK. 216 p.
- Pisano, V. E. 1977. Fitogeografía de Fuego-Patagonia chilena. 1. Comunidades vegetales entre las latitudes 52 y 56° S. *Anales del Instituto de la Patagonia* 8: 121-250.
- Rabassa, J., C. J. Heusser and A. Coronato. 1989. Peat-bog accumulation rate in the Andes of Tierra del Fuego and Patagonia (Argentina and Chile) during the last 43,000 years. *Pyrenees* 133: 113-122.

The changes that have been registered by the variations in the pollinic record of the profile suggest the existence of modifications of the environmental parameters during the Holocene, in this case, that are related to the increments of rainfall associated with an intensification of the southern westerlies.

The variations about the asynchrony in the establishment of the vegetation units in different sites of the center of Tierra del Fuego are due to the fact that the SW wind humidity falls earlier in those to the West. All the places of the center of the Island had an increment of rainfall; however, according to its location to the East, in the R-2 site the phenomenon is detected later.

The results that define the natural evolution of the forest of *Nothofagus pumilio* are a contribution to knowledge as they show the behavior of different hydric conditions. In addition, they will favor the calibration analysis for the design of predictive modes that will foresee the tendencies that the regional vegetation might follow, in agreement with the variation of climatic factors. Even though the future is uncertain, it is important to take into account the environmental variables that regulate their development and that will overflow in studies bound to the sustainable management of wood.

ACKNOWLEDGEMENTS

To Patricia Palacio for her support in the statistical analysis, the design of figures and the review of the text.

End of the English version

- Richter, L. L. y J. L. Frangi. 1992. Bases ecológicas para el manejo del Bosque de *Nothofagus pumilio* de Tierra del Fuego. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*. 68: 35-52.
- Roig, F. 1998. La Vegetación de la Patagonia. In: Correa, M. (Comp.). Flora patagónica. Colección Científica INTA. Tomo VIII. Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Nación. Buenos Aires, Argentina. 1:48-174.
- Rusch, V. 1992. Principales limitantes para la regeneración de lenga en la zona NE. de su área de distribución. Variables ambientales en claros del bosque. In: *Actas Seminario Manejo Forestal de la lenga y aspectos ecológicos relacionados*. CIEFAP, Esquel, Argentina. Publicación técnica 8: 61-73.
- Trivi, M., L. S. Burry y H. L. D'Antoni. 2005. Fechados radiocarbónicos en un turbera holocénica del centro de Tierra del Fuego. *Relaciones. Sociedad Argentina de Antropología*. XXX: 219-224.
- Trivi, M., L. S. Burry y H. L. D'Antoni. 2006. Modelo de dispersión - deposición del polen actual en Tierra del Fuego, Argentina. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 77: 89-95.
- Tuhkanen, S. 1992. The climate of Tierra del Fuego from a vegetation geographical point of view and its ecoclimatic counter parts elsewhere. *Acta Botánica Fennica* 145: 1-64.



“Piloncillos”, formaciones rocosas localizadas en el bosque de coníferas de las inmediaciones de El Salto, municipio de Pueblo Nuevo, Durango.

Juan Bautista Rentería Ánima (2007)