

Balances hídricos de bosques de *Nothofagus* de Tierra del Fuego, Argentina

JL Frangi¹ y Laura L Richter²

¹ Facultad de Ciencias Naturales y Museo - Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Dirección postal: Museo de La Plata, Paseo del Bosque s/n, 1900 La Plata, Argentina.
² Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC- CONICET), Islas Malvinas s/n, CC 92, 9410 Ushuaia, Argentina.

Recibido: 10 de Septiembre de 1993. Aceptado: 19 de Abril de 1994.

RESUMEN

El estudio estuvo dirigido a evaluar la magnitud de la precipitación gruesa (P_g) y neta (P_n), intercepción del dosel arbóreo (I), flujo caulinar (St), trascolación (T), evapotranspiración edáfica (Eve) y total (Evt), escurrimiento superficial (E), percolación (Pe) y rendimiento de agua (Ra) en bosques maduros de *Nothofagus antarctica* (nv ñire), *N. pumilio* (nv lenga) y *N. betuloides* (nv guindo) de la Isla Grande de Tierra del Fuego. P_g aumenta desde el centro insular (con dominio de bosques bajos caducifolios de ñire) hacia la cordillera fueguina (con bosque alto de lenga, guindo o mixto). En términos absolutos I aumenta en esa misma dirección, asociado a un incremento de P_g bajo un régimen de baja intensidad y alta frecuencia de precipitaciones, a un aumento del Índice de Área Foliar (IAF), de la Presencia de Área Foliar (PAF) y de la biomasa. El viento aumenta I y la evaporación desde las copas en la costa del mar. T y P_n son casi iguales debido al insignificante St ; éste último se explica por el régimen de precipitaciones y por una arquitectura arbórea con ramas plagiotrópicas y hojas horizontales. P_n es máxima en el bosque de lenga debido a una mayor P_g y una intercepción similar al otro bosque deciduo. Eve es máxima en el bosque de lenga expuesto al N. El de guindo (suelos oligoisotérmicos que no se congelan, alto IAF y PAF, expuesto al S) presenta una Eve mayor respecto del ñirantal (con suelo congelado durante el invierno, bajo IAF y menor PAF). La Evt resulta máxima en el guindal debido a la fuerte contribución de I . El agua de E es baja pero máxima en el lengal- con pendientes similares al guindal pero con mayor P_n , y menor masa de detritos finos que éste último; el ñirantal con una menor pendiente, mayor biomasa herbácea y menores precipitaciones presenta el menor E . Pe es mayor en los bosques caducifolios y máxima en el lengal (más lluvioso y con suelos con texturas más gruesas). Como consecuencia del mayor Ra en los lengales, cabe esperar de ellos un mayor aporte a la descarga de los ríos.

Se concluye que los bosques basales estudiados se encuentran en zonas sin déficit de agua, al menos para el año y periodicidad de observaciones efectuado. Las distintas magnitudes de los flujos están asociados al régimen de las precipitaciones (densidad de lluvias, precipitación gruesa), a condiciones topográficas (terreno ondulado y zona cordillerana, exposición y pendiente), de localización (centro o sur de la isla) y clima (oceánico moderado o extremo) que influyen en las fuerzas conductoras del balance hídrico (radiación, temperatura, déficit de saturación, viento) y en los suelos. También se relacionan con la duración de las fenofases foliares y el Índice de Área foliar, la arquitectura de las plantas, la biomasa y estructura forestal; éstos influyen en las características del clima endógeno forestal de relevancia para el balance hídrico. Las prácticas silviculturales deberían tener en cuenta las principales características de la hidrología de los bosques para obtener mejores resultados forestales y ambientales.

Palabras clave: Balances de agua, *Nothofagus*, hidrología forestal, Tierra del Fuego, microclimatología forestal.

Water balances of *Nothofagus* forests of Tierra del Fuego, Argentina.

SUMMARY

This study evaluates gross (Pg) and net (Pn) precipitation, canopy interception (I), stemflow (St), throughfall (T), edaphic (Eve) and total (Evt) evapotranspiration, overland flow (E), percolation (Pe) and water yield (Ra) in mature forests of *Nothofagus antarctica* (cn *ñire*), *N. pumilio* (cn *lenga*) and *N. betuloides* (cn *guindo*) located at low altitudes in the Isla Grande de Tierra del Fuego, Argentina.

The *ñire* forest (Pg= 489.2 mm/año), intercepted (I) 23% of Pg, T was 77% and St was negligible (0.1%). Eve, Etot and E were 23%, 44% and 1.4% of Pg, respectively. Pe and Ra were 55% and 56.4%. Pg in the *lenga* forest was 731.2 mm/y; I, T and St were 19%, 81% and 0.2% respectively. Eve and Etot were 31% and 52% of Pg. E reached a 4% and Pe a 44%, and then a Ra of 48%. In the *guindo* forest site Pg was 779.1 mm/y; I, T and St were 41%, 59% and 0.1%, respectively. The Eve and Etot were 25% and 66% of Pg. E was 2.2% and Pe 31%, then Ra summed 33.2% of Pg.

Pg increases from the center of the island (with dominance of *ñire* medium stature cold deciduous forests) to fuegian cordillera (with *lenga* high stature cold deciduous forest, *lenga* mixed with evergreen *guindo*, and evergreen high stature forests of *guindo*). In absolute values I increases toward the mountains; this is related to Pg increase, under a regime of low intensity and high frequency of precipitation, and to an augment of Leaf Area Index (LAI), Leaf Area Presence (PAF) and biomass. Wind appears to be important in the increase of I and canopy evaporation near the ocean. T and Pn are very similar due to the negligible St. St low fluxes can be explained because of the precipitation regime and a tree architecture with plagiotropic branches and horizontal arrangement of leaves. Higher Pn in the *lenga* forest is related to a similar I with the other deciduous forest but under a higher Pg. Eve is higher in the *lenga* forest in N aspect. The *ñire* forest (with frozen soil during winter, low LAI and lower PAF) and *guindo* forest (oligoisothermic non freezing soils, high LAI and PAF, and S aspect) showed lower Eve, with the *guindo* forest being the highest of both. Etot is highest in the *guindo* forest due to the strong contribution of I. E is low but highest in the *lenga* forest with similar slopes but with a higher Pn and lower fine litter stock compared to the *guindo* site. The *ñire* forest with a smaller slope, higher herbaceous biomass and lower precipitation has the lowest E. Pe is higher in deciduous forests and highest in the *lenga* one, with more Pn and coarse textured soils. As a consequence of a higher Ra in the *lenga* forest, its contribution to streams discharge should be larger. It is concluded that these forests are located in areas without water deficit, at least during the year and under the frequency of observations of this study. The different magnitudes of water fluxes are related to the precipitation regime (precipitation density, gross precipitation), relief (rolling country or cordillera, aspect and slope), location (center or south of the island) and associated climate (moderate or extremely oceanic) that influences the forcing functions of water balance (radiation, temperature, vapour pressure deficit, winds) and soil. They are linked also with leaf duration, leaf area index and architecture of trees, biomass and forest structure that in turn, influences the establishment of an endogenous forest microclimate significative to the water balance. Silvicultural practices should take in account the main features of these forests hydrology for better forestry and environmental results.

Key words: water balance, *Nothofagus*, forest hidrology, Tierra del Fuego, forest microclimatology.

INTRODUCCION

Este trabajo tuvo como objetivo el estudio del balance hídrico y flujos de agua intraecosistémicos de rodales maduros de *Nothofagus pumilio* (lenga), *N. antarctica* (ñire) y *N. betuloides* (guindo) de sitios de baja altitud de la isla Grande de Tierra del Fuego (52° 30' - 55° 30' S).

Las características ecológicas de las parcelas estudiadas y de los bosques fueguinos, y los antecedentes científicos ya fueron comunicados (Frangi, 1992; Frangi y Richter, 1992a, 1992b; Richter y Frangi, 1992).

Los bosques fueguinos ocupan, en el sector argentino de la isla Grande, unas 635.000 ha (IFONA, 1988). Su condición de bosques más australes del planeta, su régimen climático severo y las demandas múltiples sobre él, estimulan a conocer sus principales procesos ecológicos. El estudio de sus ciclos de agua no reconoce antecedentes y resulta de interés desde el punto de vista climático e hidrológico, ecológico y silvicultural.

MATERIALES Y METODOS

Marco climático. El clima de la Tierra del Fuego es parte del general subpolar del hemisferio Sur; tiene una marcada influencia de la masa de hielo antártico, de las corrientes occidentales frías y de la alta relación masa oceánica / masa terrestre (Burgos, 1985). Los vientos del oeste predominan durante todo el año (Prohaska, 1976).

Las condiciones climáticas insulares (Prohaska, 1976; Burgos, 1985; SMN, 1986; Iturraspe *et al.*, 1989) asociadas a los bosques fueguinos muestran, a nivel del mar, temperaturas medias invernales de 0 a 2°C, estivales de 8 a 10°C, y anuales entre 5 y 6°C. Estas

disminuyen de S a N, aumentando las heladas y la amplitud térmica en dicha dirección (Knoche y Borzacov, 1946; Knoche y Borzacov, 1947 *vide* Milano y Marzocca, 1954). En la zona meridional, la frecuencia de heladas disminuiría hacia el E (Milano y Marzocca, 1954). La temperatura extrema más baja registrada es de -14,9°C en Río Grande (sin bosques) y de -12,1°C en Ushuaia (SMN, 1986).

Las precipitaciones son mayores en la costa del océano Pacífico y del canal Beagle, y a mayor altitud; reduciéndose hacia el paisaje colinado y llano del centro y norte insular (Frangi, 1992). Ellas se distribuyen uniformemente durante el año; son de alta frecuencia (100 días en el N, aproximadamente 200 días en Ushuaia y más de 300 días en la isla de los Estados) (Prohaska, 1976; Popper, 1891) y baja intensidad (SMN, 1986; Prohaska, 1976; Iturraspe *et al.*, 1989). La densidad (total de precipitaciones/N° de días con lluvia) en Ushuaia es de 3 mm/d; de mayo a setiembre son más abundantes las nevadas, que representan el 34% de las precipitaciones. La evaporación y la transpiración se consideran reducidas debido a las bajas temperaturas.

La nubosidad se manifiesta todo el año con máximas estivales y mayor número de días nublados en el sur (Ushuaia con 165 días/año, 10 días claros/año) (Prohaska, 1976). Su efecto se evidencia en la duración del brillo solar de 1500 h/año -33% de la cantidad astronómicamente posible-, como de la radiación solar que presentan una gran variación en la distribución mensual. Los valores diarios extremos de mínima y máxima radiación solar observados son de 3,27 cal/cm².día y 775 cal/cm².día (Iturraspe *et al.*, 1989).

Sitios. Se seleccionaron rodales maduros de cada bosque con el objeto de comparar la fase de desarrollo forestal de mayor estructura. Se instalaron tres parcelas experimentales de ca 0,25 ha, una por cada tipo de bosque, localizadas a baja altura (<150 m snm) en las áreas de distribución predominante de cada uno de los tipos forestales. Bosque bajo caducifolio de *ñire*: loma suave en el sector de colinas del centro de la isla, en la Ea María Cristina (54° 30' S, 67° 05' W). Bosque caducifolio alto de *tenga*: faldeo N de la Sierra de Sorondo (54° 47' S, 67° 41' W). Bosque perennifolio de *guindo*: faldeo cordillerano de exposición S con clima oceánico extremo aledaño al canal Beagle, en la Ea Moat (54° 54' S, 66° 55' W).

Temperatura del aire. La temperatura en el interior de los bosques y claros fue registrada mediante termohigrógrafos SIAP de registro semanal ubicados a 1,5 m sobre el suelo, en sendas casillas meteorológicas. Se registraron en promedio 2 semanas por mes. Se tomaron temperaturas de control en los momentos de instalación y retiro de fajas mediante termómetros.

Temperatura y agua del suelo. La temperatura del suelo se midió con termopares ubicados a -10, -30 y -60 cm de la superficie del suelo y lector electrónico. La tensión de agua del suelo mediante tensiómetros Jet-Fill con cápsula porosa a -25 cm.

Hidrología. Las mediciones hidrológicas corresponden al año de observaciones que va entre el 1-6-88 y el 30-5-89. Las definiciones de los términos empleados en los modelos hidrológicos de éste trabajo son aquellas de Frangi (1992).

La precipitación gruesa (Pg) fue medida en cada bosque mediante pluviómetros con protectores de viento, ubicados a 1,5 m

sobre el suelo en claros de más de 1 ha localizados entre 200 y 1000 m de las parcelas. La trascolación (T) fue estimada mediante 14 pluviómetros dispuestos al azar dentro de cada parcela. A todos los pluviómetros mencionados se les agregaron cantidades conocidas de anticongelante y antievaporante.

El flujo caulinar (St) se obtuvo mediante collares de aluminio corrugado ubicados a la altura del pecho -adheridos a los fustes con caucho siliconado-, conectados mediante tubería plástica con trampa para vapor a recipientes colectores colocados en todos los árboles presentes en una subparcela de 100 m².

La percolación (Pe) se midió, en cada parcela, con 3 lisímetros de tensión cero de 0,25 m² cada uno, de acero inoxidable, ubicados a -0,40 m de la superficie del suelo, por debajo de la zona de mayor concentración de raíces. El escurrimiento superficial (E) mediante una subparcela de escurrimiento de 4 m². Su lado superior -ubicado en el lugar más alto del terreno ocupado por aquella- estuvo limitado por una canaleta derivadora del agua externa a la superficie de medición, excavada unos 20 cm en el suelo; los dos laterales y el lado inferior, consistieron de caños de PVC de 4" abiertos lateralmente 45°, que conducían el agua de escurrimiento a un bidón colector ubicado en un pozo en el vértice más bajo de la parcela. Una banda de polietileno de 10 cm de ancho inserta lateralmente 2 cm en el suelo (a -2 cm de la superficie del mismo), con su otro lateral dispuesto en el caño de PVC, evitaba las pérdidas de agua en la zona de contacto suelo-canaleta.

La precipitación neta (Pn), interceptación del canopy (I), evapotranspiración edáfica (Eve), evapotranspiración total (Etot) y rendimiento de agua (Ra) fueron obtenidos mediante cálculo:

$$\begin{aligned} Pn &= T + St, & I &= Pg - Pn, & Eve &= Pn - (E + Pe), \\ Etot &= Eve + I, & Ra &= Pe + E. \end{aligned}$$

Las mediciones se iniciaron un año después de instalar los equipos, con la recuperación y estabilización de las condiciones edáficas y herbáceas en las parcelas de escurrimiento y los lisímetros.

RESULTADOS

BOSQUE DE N. ANTARCTICA.

Características climáticas del sitio (Figura 1a). El invierno se presentaba bien definido con temperaturas medias bajo cero de junio-agosto. Los veranos muestran máximas cercanas a los 20°C y mínimas absolutas levemente bajo cero con medias mensuales entre 7 y 10°C. Las amplitudes térmicas mensuales son de ca 18°C en los claros, reduciéndose a 9-15°C en el interior del bosque. Las medias y las máximas mensuales entre el bosque y el claro difieren en menos de 2°C; pero las temperaturas mínimas absolutas de los sitios abiertos son mucho más bajas resultando un mayor riesgo de heladas estival en los últimos.

Las temperaturas del suelo (Fig 1b) en el ñirantal alcanza, en invierno, valores de congelamiento en los horizontes superiores (mínima -1,3°C a -10 cm en horas del mediodía) siendo frecuente la acumulación de hielo o nieve en la superficie. El periodo frío (temperaturas edáficas < 0°C a -10 cm) va de mediados de abril a octubre inclusive. La máxima temperatura estival registrada a -10 cm fue de 8,6°C. El congelamiento invernal-primaveral del suelo superficial se refleja en la nula tensión de succión de agua del suelo húmedo congelado; en el periodo templado la tensión de succión siguió con retraso a la temperatura edáfica sin manifestar ausencia de agua gravitacional.

Balance hídrico. El modelo (Figura 1c) muestra el balance de agua del ñirantal desagregado en dos periodos fenológica y climáticamente relevantes: la época sin hojas correspondiente al periodo frío y la época con hojas del periodo templado del año.

Durante el periodo sin hojas el bosque intercepta el 18% de los 256,7 mm de precipitación gruesa, T representa el 82 % restante y dicho valor corresponde también a Pn, ya que St es prácticamente nulo. Eve alcanza al 12 % de las precipitaciones del intervalo y es entonces inferior a las pérdidas por I. Las pérdidas totales por evapotranspiración son el 30% de Pg; el E observado es muy bajo (1%) y consecuentemente Ra de 179,3 mm (70% de la Pg) es proporcionado esencialmente por agua de percolación (69%). Debido a que las precipitaciones son predominantemente nivales es posible que la percolación se produzca más lentamente en los momentos de descongelamiento parcial del suelo, y hacia el final del periodo frío; este proceso de descongelamiento gradual favorecería la infiltración y percolación profunda.

Durante el periodo con hojas se midieron 232,5 mm de Pg. I es el 28% de la Pg, y T suma el 72% restante debido a St insignificante. Eve representa, durante el periodo templado, el 31% de Pg, reflejando el mayor consumo de agua por transpiración arbórea y herbácea y la evaporación desde la superficie del suelo. Consecuentemente con una mayor I y Eve, la E_{tot} asciende a 137,2 mm o sea el 59% de Pg del intervalo. E alcanza al 1,6% de la Pg, y Ra a 95,3 mm (40,6 % de Pg) lo que muestra que su principal componente sigue siendo el agua de percolación.

Comparativamente entre las dos épocas (sin hojas-con hojas) se verifican cambios en las tasas diarias de los flujos: aumenta un décimo Pg pero más de 2/3 I, y casi se triplica Eve y consecuentemente se duplica la tasa de

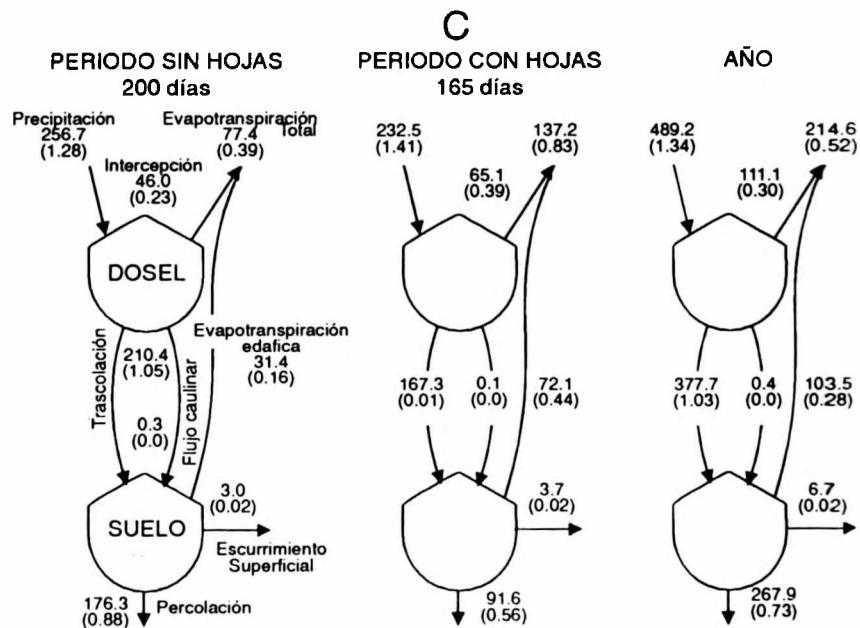
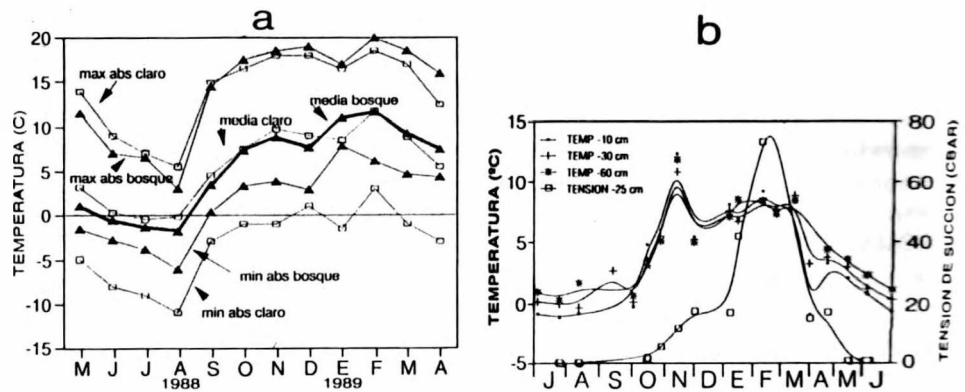


Figura 1: Bosque de *Nothofagus antarctica*, Ea María Cristina. (a) Temperatura mensual del aire (1.5 m, en casilla meteorológica) máxima absoluta, media, y mínima absoluta, en el interior y exterior (claro) del bosque; (b) temperaturas y tensión de succión de agua del suelo; (c) balance de agua en los periodos sin hojas, con hojas y anual; flujos en mm/periodo y, mm/día (entre paréntesis).

Nothofagus antarctica forest, Ea María Cristina. (a) Monthly absolute maximum, mean and absolute minimum air temperatures (at 1.5 m inside standard instrument shelter), in the open and under the forest canopy, (b) soil temperature and water tension, and (c) water balance during the periods with and without leaves and annual; fluxes in mm/period and mm/day (between brackets).

Etot; T se reduce levemente, pero Pe y Ra lo hacen en más de 4/10.

La escasa diferencia entre las tasas diarias de Pg en ambos periodos corrobora la uniformidad en la distribución de las precipitaciones a lo largo del año. Otras variaciones ambientales y las fenológicas se expresan en cambios en los flujos internos del bosque y en las vías de salida de agua del sistema.

BOSQUE DE N. PUMILIO.

Características climáticas del sitio (Figura 2a). La temperatura media mensual oscila entre ca 0 y 10°C en el bosque. Dichas medias, en el invierno, son similares o algo más bajas en los claros (2 a -2 °C) que en el bosque (<3 a 0°C). En cambio durante el estío los claros manifiestan medias hasta 2°C superiores. Las temperaturas extremas lo son más en los claros prácticamente todo el año, destacándose las diferencias en las máximas estivales cuando el bosque está con hojas y se observan diferencias de hasta ca 5°C. La temperatura mínima del aire es muy baja en el invierno (-5 a -12°C), en tanto las mínimas absolutas estivales parecen indicar una baja frecuencia de heladas en la estación.

En el lengal el período con temperaturas edáficas favorables se extiende de mediados de octubre a mediados de abril inclusive (Figura 2b). La temperatura más alta observada a -10 cm fue de 8,9°C y la más baja de -0,7°C, lo que sumado al período con temperaturas debajo de 0°C, muestra que de los bosques caducifolios el de lenga presenta un período frío menos marcado y prolongado. La amplitud térmica edáfica disminuye con la profundidad. La tensión de

agua en el suelo no manifiesta carencia hídrica

Balance hídrico. En la Figura 2c, puede observarse que durante el período sin hojas el bosque intercepta el 13% de los 362,5 mm de Pg y T corresponde al 87% restante; el último valor es similar a Pn, ya que St casi no existe. Eve alcanza al 15% de las precipitaciones del intervalo y es entonces algo superior a las pérdidas de agua por I. Las pérdidas totales por evapotranspiración son el 28% de Pg, y E es del 3,6% de Pg. Los 260,7 mm de Ra (71,6% de Pg) son proporcionados mayoritariamente por agua de percolación (68% de Pg). El descongelamiento lento de la nieve y la textura edáfica favorecerían la infiltración y el drenaje.

En el período con hojas Pg alcanzó 368,7 mm, cantidad semejante a la del período frío. I subió al 25% de Pg, y T suma el 75% restante ya que St es casi inapreciable. La Eve durante el período templado es del 50% de Pg, poniendo de manifiesto el aumento de consumo de agua por la transpiración de la fitomasa y la evaporación desde el suelo. Etot asciende a 276,4 mm o bien al 75% de Pg del período. E representa el 5% de Pg. El Ra de 92,3 mm (25% de la Pg), tuvo 8/10 partes aportadas por agua de percolación.

Comparando las dos épocas (sin hojas con hojas), se observan cambios en las tasas diarias de los flujos: disminuye 1/4 Pg, más de 1/3 T, y casi 5 veces Pe y Ra; aumenta 1/2 I, 2,5 veces Eve y entonces se duplica la tasa diaria Etot.

A pesar de la semejanza en las precipitaciones gruesas de ambos periodos, se observa que este bosque recibió una mayor precipitación diaria durante el período más frío.

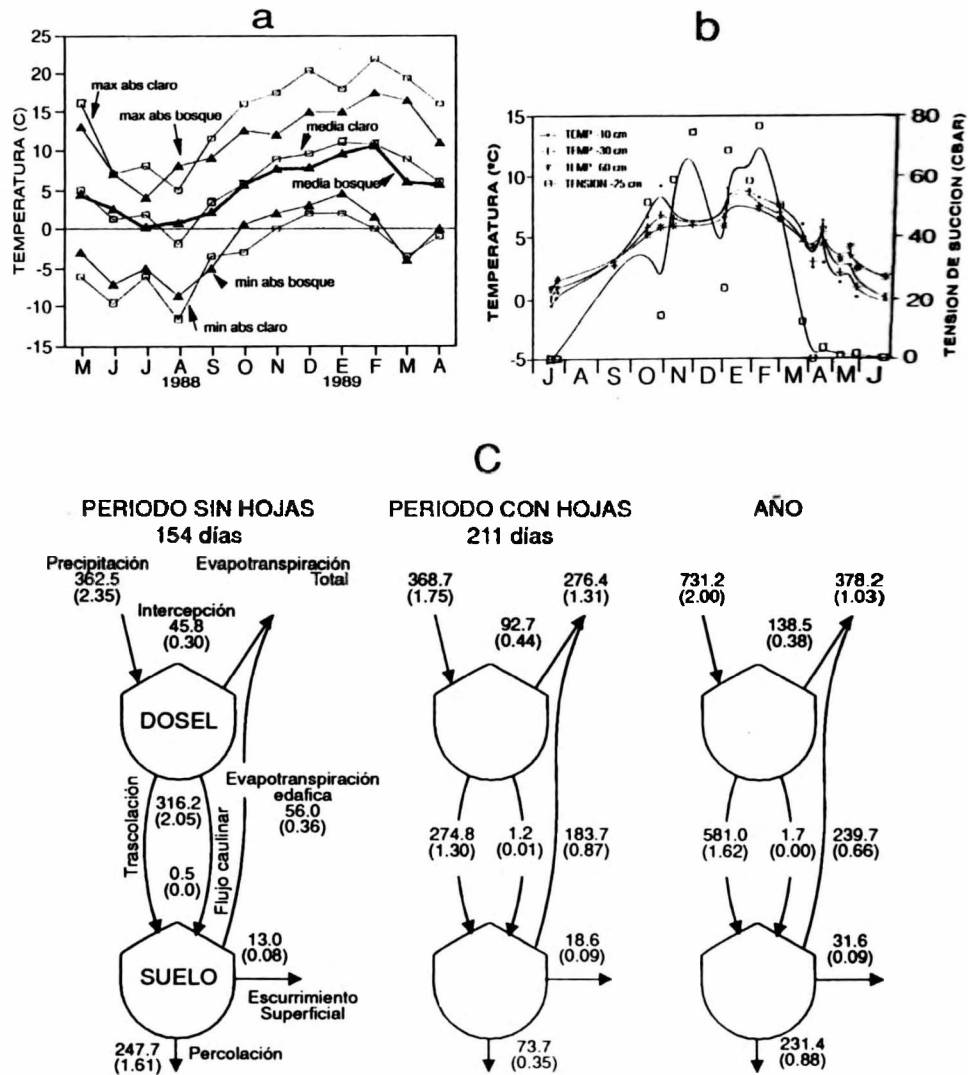


Figura 2: Bosque de *Nothofagus pumilio*, Laguna Victoria. (a) Temperatura mensual del aire (1.5 m, en casilla meteorológica) máxima absoluta, media, y mínima absoluta, en el interior y exterior (claro) del bosque; (b) temperaturas y tensión de succión de agua del suelo; (c) balance de agua en los periodos sin hojas, con hojas y anual; flujos en mm/periodo y, mm/día (entre paréntesis).

Nothofagus pumilio forest, Laguna Victoria. (a) Monthly absolute maximum, mean and absolute minimum air temperatures (at 1.5 m inside standard instrument shelter), in the open and under the forest canopy, (b) soil temperature and water tension, and (c) water balance during the periods with and without leaves and annual; fluxes in mm/period and mm/day (between brackets).

BOSQUE DE N. BETULOIDES.

Características climáticas del sitio (Figura 3a). Las temperaturas medias mensuales del bosque estuvieron entre 1 y 9°C; en invierno fueron semejantes a las de lugares abiertos vecinos, y hasta levemente inferiores a las mismas durante el estío. No obstante, las amplitudes térmicas entre los valores mínimos y máximos absolutos mensuales son marcadamente inferiores en el bosque (7 a 13°C) que en los claros (13 a 31°C), esas diferencias son más aparentes en el verano. Las mínimas absolutas muestran riesgos de heladas prácticamente todo el año en los claros, pero un período muy extenso con temperaturas mínimas extremas superiores a 0°C en el interior del bosque.

Las condiciones en el suelo del guindal (Figura 3b) son de clara tendencia isohigra y oligoisoterma (especialmente a los -60 cm). Es frío en invierno, sin alcanzar temperaturas de congelación y, en verano, es el más fresco de los suelos de los tres bosques. La humedad es muy elevada con mínima o ausente tensión de agua.

Balace hídrico. En la Figura 3c puede constatarse que el bosque perennifolio durante la época fría intercepta el 39% de los 340,5 mm de Pg, transfiriéndose al piso del bosque mediante T el 61% restante; nuevamente, éste último valor es semejante a Pn, ya que St es sólo del 0,1%. La Eve representa el 14% de la precipitación gruesa del intervalo y casi un tercio de las pérdidas por I. Las pérdidas totales mediante evapotranspiración son 53% de Pg. E es el 1,5% de Pg, y los 158,4 mm de Ra (46,5% de Pg) son proporcionados mayoritariamente por agua de percolación (45% de Pg).

En el período templado Pg alcanzó 438,6

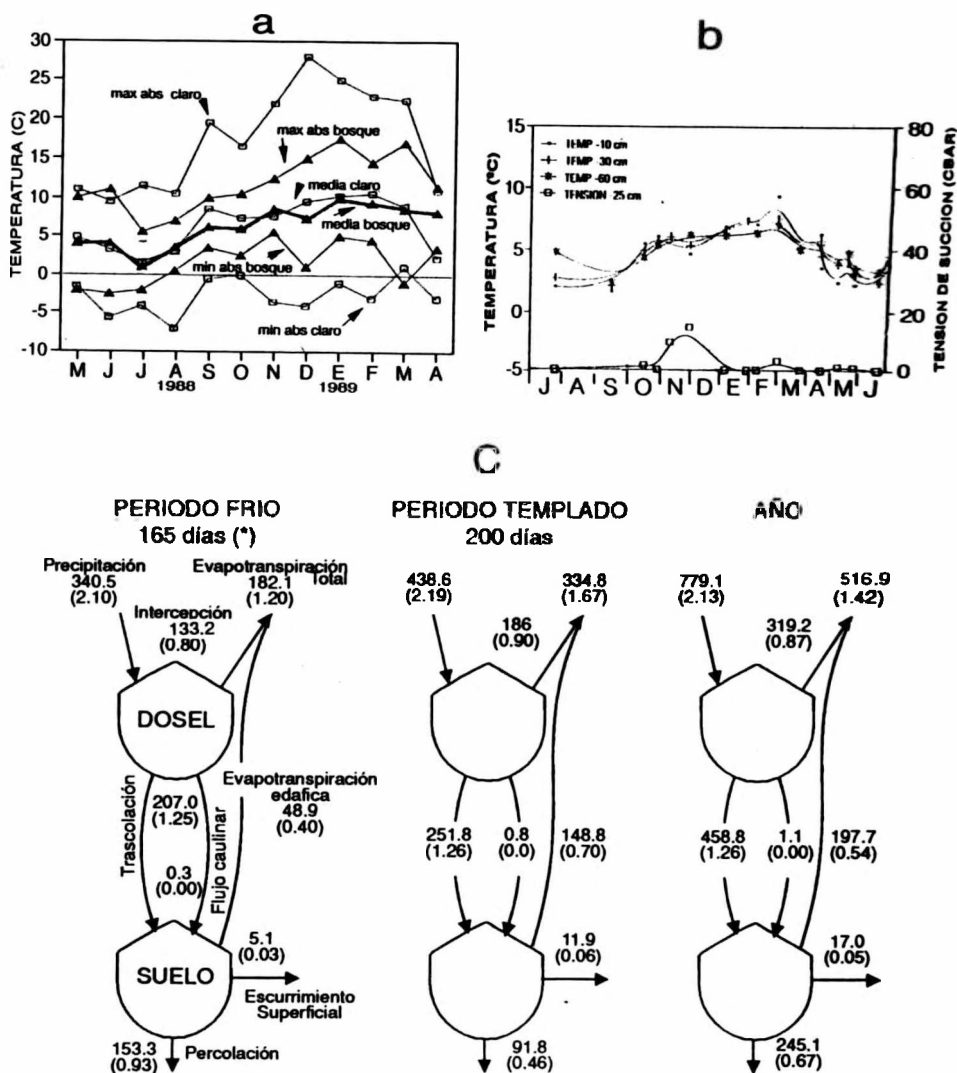
mm, cantidad superior a la del período frío; no obstante, si se consideran las tasas diarias de precipitación en ambos periodos puede observarse una gran semejanza. Es levemente mayor al 42% de Pg, y T es el 57% de aquella, ya que St es también mínimo en éste período. Eve es el 34% de Pg, casi 2,5 veces mayor que en el lapso frío, reiterando las condiciones más favorables de la estación para la absorción, transpiración y evaporación del agua. Etot asciende a 334,8 mm (76% de Pg del intervalo), y E el 2,7% de Pg. El Ra suma 103,7 mm (29,7% de Pg) con 7/10 partes de agua percolada.

En las dos épocas -fría y templada- se presentan algunas diferencias en las tasas diarias de los flujos de agua. Comparándolas en el orden mencionado, se observa que las tasas de Pg y T se modifican poco. I aumenta algo más de 1/10, pero Eve se incrementa 8/10 y consecuentemente Etot lo hace en 4/10. E se duplica, pero la tasa de percolación y la de Ra se reducen a la mitad.

DISCUSION

El análisis del marco climático regional, como de las condiciones particulares de los sitios, muestra que existen vinculaciones entre las diferencias climáticas y topografía, con la distribución geográfica de los bosques, su fisonomía y composición florística. Asimismo, la vegetación modifica las condiciones térmicas del aire interior y del suelo del bosque.

El bosque de ñire presenta la mayor estacionalidad térmica de los tres bosques con inviernos más rigurosos y congelamiento de suelos, y veranos con algún grado más de temperatura y un aumento de la tensión de succión de agua del suelo. El bosque aparece disminuyendo más las mínimas temperaturas



(*) Periodo entre fechas de muestreo típicamente invernales (fines de abril - principios de octubre)

Figura 3: Bosque de *Nothofagus betulooides*. (a) Temperatura mensual del aire (1.5 m, en casilla meteorológica) máxima absoluta, media, y mínima absoluta, en el interior y exterior (claro) del bosque; (b) temperaturas y tensión de succión de agua del suelo; (c) balance de agua en los periodos frío, templado y anual; flujos en mm/periodo y, mm/día (entre paréntesis).

Nothofagus betulooides forest, Ea Moat. (a) Monthly absolute maximum, mean and absolute minimum air temperatures (at 1.5 m inside standard instrument shelter), in the open and under the forest canopy, (b) soil temperature and water tension, and (c) water balance during the cold, temperate and annual period; fluxes in mm/period and mm/day (between brackets).

que las máximas extremas. Esto último quizá producto de un bosque más abierto y bajo, que permite una mayor llegada de la radiación solar a sus niveles inferiores y el desarrollo de un estrato gramíneo. En el lengal se destacan menores amplitudes térmicas anuales, con inviernos menos crudos (aunque con temperaturas mínimas extremas semejantes), y veranos con un menor riesgo de heladas y una mayor amortiguación de las máximas temperaturas absolutas que en el otro bosque caducifolio (ñirantal). El contenido de arena del suelo del lengal facilitaría el drenaje de los suelos y la mayor fluctuación de la baja tensión de succión de agua.

Las temperaturas del aire del interior del quindal presentaron las menores amplitudes térmicas anuales de los tres sitios. Esto se debería a la capacidad morigeradora de la gran estructura vegetal, especialmente durante el estío. De ello resulta una marcada oligotermia sin medias bajo cero y con mínimas absolutas más elevadas, las cuales pueden asociarse a su vecindad al mar. Estas condiciones del aire se reflejan en el comportamiento térmico del suelo y se presentan vinculadas a una elevada disponibilidad de agua en el mismo. El balance hídrico comparado de los tres bosques y las tendencias en el comportamiento de las variables hidrometeorológicas (Fig. 4a) muestran que las parcelas reciben diferente cantidad de precipitaciones, con mayores semejanzas entre los sitios cordilleranos.

La interceptación de los bosques caducifolios, exhibe gran similitud (Fig. 4a-b); el ñirantal tiene la menor interceptación absoluta, pero la mayor relativa a las precipitaciones. La baja densidad de lluvias, las temperaturas

estivales semejantes, la PAF⁽⁹⁾ similar (11,5 y 11,9) entre ambos bosques y una morfología y disposición foliar parecida se relacionan con la semejanza de valores. La mayor cantidad de días con precipitaciones en el S y, quizá en menor medida, la mayor biomasa leñosa, podría favorecer la diferencia de interceptación absoluta en favor del lengal.

El bosque de guindo presenta 2,3 veces más interceptación que el lengal y 2,8 veces más que el ñirantal, y la misma representa el 41% de las precipitaciones en el sitio. Esa gran diferencia de interceptación puede explicarse por una elevadísima PAF (Fig. 4c) debida a sus hojas perennes y alto IAF concentrado en copas de escaso desarrollo vertical, y mayor biomasa. Probablemente también sea elevada por el efecto de los mayores vientos sobre las costas del Canal Beagle que ayudan a evaporar, y facilitan la rehumectación de las superficies vegetales, aun con bajos déficits de saturación atmosférica. En menor grado contribuiría la mayor precipitación (Fig. 4a).

Como resultado de la mayor interceptación y de un casi inexistente flujo de tallos, la trascolación en términos porcentuales es menor en el bosque de guindo. El lengal es el bosque caducifolio con mayor trascolación porcentual y absoluta de todos (Fig. 4a).

Las causas primordiales del despreciable flujo caulinar son el régimen pluviométrico de alta frecuencia y baja intensidad, y una arquitectura arbórea caracterizada por el predominio de ramas gruesas plagiotrópicas y hojas dispuestas horizontalmente que no favorecen la conducción de agua interceptada vía St.

Consecuentemente, el valor absoluto de la Pn es máximo en el bosque de lenga

⁽⁹⁾ La PAF (Presencia de Área Foliar), es el producto del IAF (Índice de Área Foliar) por el número de meses en que hay presencia de hojas. Es afín al LAD (Leaf Area Duration, cf. Waring y Schlesinger, 1985) pero la diferenciamos en que sólo se refiere a la presencia física foliar y no a la necesidad de que éstas estén fotosintéticamente activas. Tiene por objeto destacar el papel interceptor diferente de las especies de distinta periodicidad e índice de área foliar.

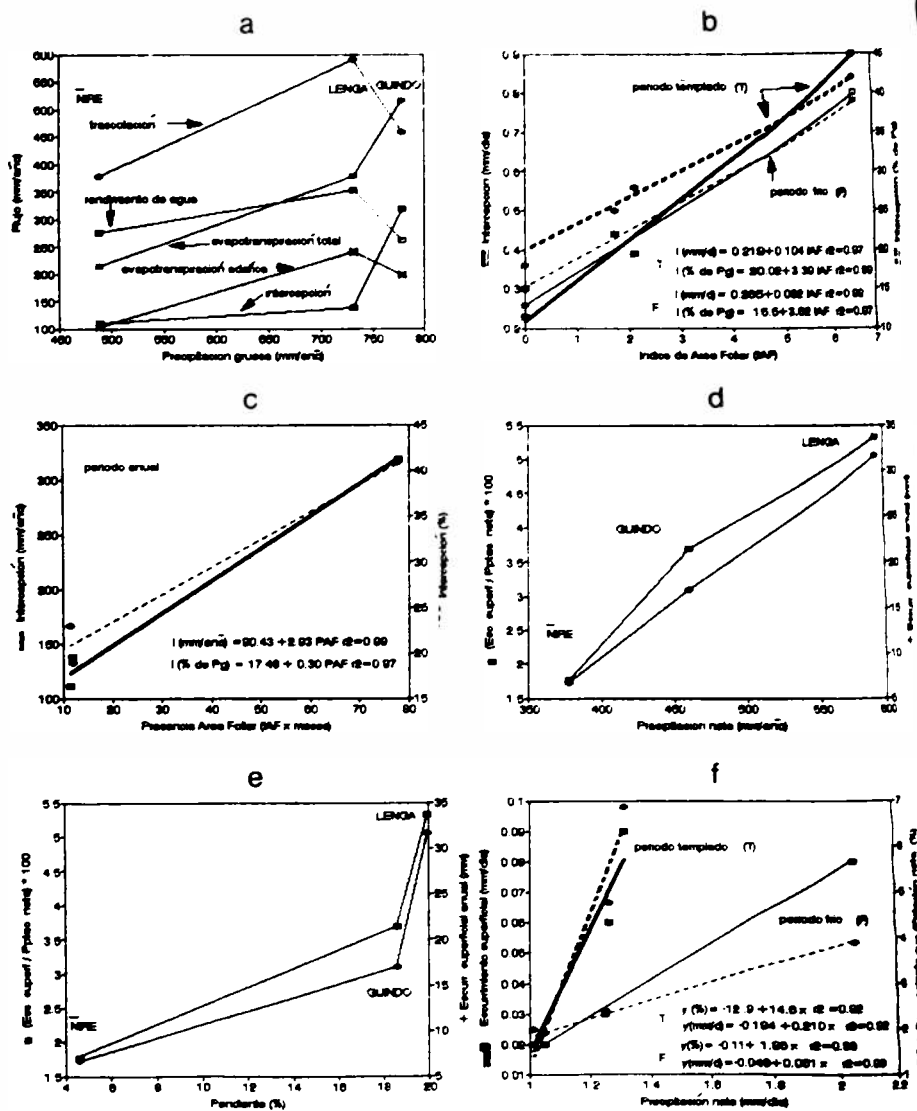


Figura 4: Relaciones hidrológicas en bosques de *Nothofagus* de Tierra del Fuego. (a) flujos hídricos en función de la Precipitación gruesa, (b) Interceptación estacional del dosel en función del Índice de Área Foliar estacional, (c) Interceptación anual del dosel en función del Índice de Presencia de Área Foliar, (d) Escurrimiento superficial anual en función de la Precipitación neta, (e) Escurrimiento superficial en función de la pendiente, (f) Escurrimiento superficial estacional en función de la Precipitación neta estacional.

Hydrological relationships in *Nothofagus* forests of Tierra del Fuego. (a) water fluxes as a function of Gross precipitation, (b) seasonal canopy interception as function of seasonal Leaf Area Index, (c) annual canopy interception vs Leaf Area Presence Index, (d) annual Overland flow vs Net precipitation or (e) slope, and (f) seasonal Overland flow as a function of seasonal Net precipitation.

como resultado de una intercepción casi tan baja como la del otro bosque caducifolio, pero bajo un aporte de precipitaciones (P_g) mayor, similar al del bosque perennifolio de gran intercepción.

El agua de escurrimiento superficial es reducida en los tres bosques, lo que puede asociarse a un régimen de precipitaciones de baja intensidad que favorece la infiltración. No obstante, E se relaciona positivamente con la precipitación neta (Fig. 4d) y con la pendiente (Fig. 4e), mayores en los sitios cordilleranos. En el ñirantal el escurrimiento superficial representa el 1,8% de la precipitación neta, en el bosque de guindo el 3,7% y en el de lenga el 5,3% de la misma. Si bien la reducción del escurrimiento en el guindal puede atribuirse a la menor P_n - 30% inferior al lengal- existe una parte aparentemente no explicada que podría deberse a una mayor infiltración superficial favorecida por el mantillo más grueso y los horizontes superiores muy ricos en materia orgánica. Por otra parte el tipo de precipitación (nieve o lluvia) dominante en las distintas épocas del año parece importante en la relación entre el escurrimiento y la precipitación neta (Fig. 4f).

La evapotranspiración edáfica, que incluye el consumo de agua por las plantas y la evaporación desde la superficie del terreno, es mayor en el lengal, con valores levemente superiores al bosque de guindo pero el doble de los de ñire. Considerando la PAF, esto sugiere un uso conservador del agua en el bosque perennifolio, probablemente con una baja tasa transpiratoria. Durante el periodo en que todas las especies están con hojas, el bosque de ñire presenta una tasa transpiratoria edáfica (0,44 mm/día) más baja que el de guindo (0,70) con la lenga con los valores más elevados (0,87 mm/día). En el periodo frío -con las especies deciduas sin hojas- pueden constatare importantes pérdidas evaporativas

desde la superficie del suelo en los lengales (0,36 mm/día) que duplican las pérdidas por esa vía en los ñirantales; lo cual se vincularía con las diferencias en las condiciones de precipitaciones y temperatura asociadas a la localización del bosque. El guindal de Moat, a pesar de su elevado IAF, apenas supera estos valores (0,40 mm/día) reflejando posiblemente el efecto combinado y opuesto IAF-temperatura pluviometría invernal en el faldeo S.

Con respecto a la evapotranspiración total -suma de la evapotranspiración edáfica y la intercepción- las tendencias observadas (Fig. 4a) reflejan el comportamiento aditivo de sus componentes y de los factores asociados a ellos. Como resultado, se destacan las mayores salidas por esta vía en el bosque de guindo, donde resalta la contribución de la intercepción del canopy.

La estimación de la Evapotranspiración potencial (ETP) según Holdridge (1978) para los bosques de ñire, lenga y guindo durante el año 1988-89, es de 348, 351 y 379 mm/año respectivamente. Cabe destacar que Holdridge expresa que su cálculo es válido para asociaciones «normales», con lo cual cabe esperar que la asociación (*sensu* Holdridge) de guindo pueda tener una ETP diferente de la estimada. Los valores empíricos de evapotranspiración de este trabajo resultan marcadamente más bajos que el potencial para el caso de ñire, levemente superiores en la lenga y marcadamente superior en el guindo. A pesar de las diferencias conceptuales entre ambas evapotranspiraciones (real y potencial), probablemente nuestra estimación de la percolación (y su efecto en el cálculo de la evapotranspiración edáfica) resulte una sobreestimación y por ende se subestimen las pérdidas evapotranspiratorias totales, en especial del ñirantal.

El rendimiento de agua, constituido en todos los casos esencialmente por la

percolación, es máximo en términos absolutos en el lenga cordillerano y notoriamente inferior en el bosque de guindo. El bosque de ñire presenta valores levemente superiores al de guindo, pero quizá sea una sobreestimación como se ha indicado.

CONCLUSIONES

El balance de agua de los bosques fueguinos demuestra que éstos se encuentran en zonas sin déficit de agua, al menos teniendo en cuenta las precipitaciones durante el año estudiado y la periodicidad de las observaciones. Las distintas magnitudes de los flujos están asociados al régimen de las precipitaciones (densidad de lluvias, precipitación gruesa), al relieve (terreno ondulado y zona cordillerana, exposición y pendiente), de ubicación geográfica (centro o sur de la isla) y clima (oceánico moderado o extremo) que influyen en las fuerzas conductoras del balance hídrico (radiación, temperatura, déficit de saturación, viento) y en los suelos. También se relacionan con la duración de las fenofases foliares y el índice de área foliar, la arquitectura de las plantas, la biomasa y estructura forestal, que modifican a los estados de las variables climáticas y contribuyen a crear un clima endógeno forestal, con efectos en el microclima edáfico y el balance hídrico. El agua no parece ser una limitante para la regeneración de estos bosques basales, en particular de los cordilleranos fueguinos de lenga y guindo. En los bosques cordilleranos, las prácticas silviculturales de aplicación extensiva que impli-

quen cambios marcados en la estructura del tales como talas rasas u otras con disminución excesiva de la cobertura del ca-nope pueden causar incrementos importantes en la precipitación neta, y cambios en el escurrimiento y rendimiento de agua con potenciales consecuencias erosivas. También, pueden dar lugar a cambios microclimáticos a nivel del suelo (extremos térmicos más marcados, posible incremento de la evapotranspiración, disminución de la disponibilidad de agua) que suelen asociarse con cambios de la cubierta herbácea y los almacenajes de detritos orgánicos finos, reduciendo las posibilidades de regeneración. Un manejo silvicultural tendiente al aumento del crecimiento y/o a estimular la regeneración natural, que evite los efectos negativos de una reducción marcada de la cobertura podrá aprovecharse -junto a la mejora en las condiciones de luz en el interior del bosque- de un incremento en la disponibilidad de agua y de las ventajas de la capacidad de infiltración y escaso escurrimiento superficial del suelo forestal no disturbado.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Claudio Bilos y a Sergio Di Marco la colaboración prestada durante la instalación del instrumental y medición. A Rodolfo Iturraspe su colaboración con la elaboración de los datos de temperatura. Este trabajo fue realizado con un subsidio del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de la República Argentina.

BIBLIOGRAFIA

Burgos JJ (1985) Clima del extremo sur de Sudamérica. En: *Transecta Botánica de la Patagonia Austral*. Ed O Boelcke, DM Moore y FA Roig. CONICET-Royal Society-Instituto de la Patagonia (Chile), Buenos Aires 2: 10-40

Frangi JL (1992) *Ecología de Bosques: estructura biogeoquímica. Objetivos, métodos y perspectivas*. En: *Resultados preliminares del Proyecto Subantártico*. Ed F García Novo, J Puigdefábregas, J Rucabado, A Vila y JL Frangi. Convenio CSIC (España)-CONICET



Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata. Tomo 70, Año 1994: 65-79

- (Argentina). CSIC, Madrid. En prensa
- Frangi JL y LL Richter (1992a)** Estructura y Función de Ecosistemas Forestales Fueguinos. Algunos resultados preliminares. En: Resultados preliminares del Proyecto Subantártico. Ed F García Novo, J Puigdefábregas, J Rucabado, A Vila y JL Frangi. Con-venio CSIC (España) - CONICET (Argentina). CSIC, Madrid. En prensa
- Frangi JL y LL Richter (1992b)** Los ecosistemas forestales de la Tierra del Fuego. Vida Silvestre; España, 72 : 36-43
- Holdridge LR (1978)** Ecología, basada en zonas de vida. IICA, San José, Costa Rica. 216 p
- IFONA (1988)** Argentina Forestal. Síntesis de la situación actual, política y proyecciones. Documento de las Jornadas para el Desarrollo del Sector Forestal Argentino, 28 al 30 de noviembre de 1988, Corrientes, Argentina. Instituto Forestal Nacional (IFONA), Mimeografiado. 66 p
- Iturraspe R, R Sottini, C Schroeder y J Escobar (1989)** Generación de información hidroclimática en Tierra del Fuego. En: Hidrología y Variables climáticas del Territorio de Tierra del Fuego, Información Básica. CADIC-CONICET, Contribución Científ. No 7, Ushuala 4-170
- Knoche W y V Borzacov (1948)** Heladas. En: Clima de la República Argentina. GAEA, Soc.Arg.Est.Geográficos, Bs As 278-300
- Milano, VA y A Marzocca (1954)** Las plantas cultivadas en la Tierra del Fuego. IDIA 80:1-40
- Popper J (1891)** Apuntes geográficos, etnológicos, estadísticos e Industriales sobre la Tierra del Fuego. Bol Inst Geogr 13: 130-170
- Prohaska F (1976)** The Climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. En: Climates of Central and South America, Survey of Climatology 12. Ed W Schwerdtfeger. Elsevier Sci Publ Co, Amsterdam-Oxford-New York. 13-112
- Richter LL y JL Frangi (1992)** Bases ecológicas para el manejo del bosque de *Nothofagus pumilio* de Tierra del Fuego. Rev Fac Agronomía, La Plata 68: 35-52
- Servicio Meteorológico Nacional (1986)** Estadísticas Meteorológicas 1971-1980. SMN, Fuerza Aérea Argentina, Estadística No 36, 1a edición, Bs As
- Waring RH y WH Schlesinger (1985)** Forest Ecosystems. Concepts and Management. Academic Press. 340 p