

Capítulo 2

Antecedentes bioclimáticos del Parque Nacional Bosque Fray Jorge.

FRANCISCO LÓPEZ-CORTÉS & DAVID LÓPEZ

RESUMEN

Los principales factores que influyen el clima regional corresponden a la presencia de células de alta presión del Anticiclón del Pacífico Sur, la Corriente fría de Humboldt, y el relieve regional, en especial la presencia de la Cordillera de la Costa y de Los Andes. Climáticamente se ubica en la zona mediterránea árida de Chile. A menor escala y considerando variantes del clima mediterráneo, es posible reconocer el clima mediterráneo litoral con influencias oceánicas. Esta zonificación ha sido más extensamente discutida, asignándole la tipología de clima de estepa con nubosidad abundante (BSn). Es en esta zona donde se ubica el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Con una superficie de 9.959 ha, el Parque Nacional Bosque Fray Jorge alberga una diversidad de ambientes naturales con características climáticas particulares. En términos generales, las masas de aire transportadas en sentido sur-este desde el océano, y la presencia de la capa de inversión térmica, generan una marcada ocurrencia de nubosidad costera bajo los mil metros de altitud. Tales masas de aire, cuyo grosor es cercano a 250 m, son interceptadas por los cordones montañosos por encima de los 400 m, es en esta zona donde hay mayor influencia de la neblina como fuente de recursos hídricos. Finalmente, el efecto de succión de las zonas a sotavento acentúa un desplazamiento de la neblina, aunque con menor cantidad de vapor de agua, hacia las zonas interiores en sentido oeste-este. De especial interés y en función de la disponibilidad de antecedentes climáticos, se analiza la zona boscosa (bosque higrófilo), restringida a la cima de los cerros de la Cordillera de la Costa, caracterizada por presentar altos valores de humedad relativa, y bajas oscilaciones térmicas. La zona mediterránea (matorral seco), con menor influencia de la neblina se caracteriza por presentar altas temperaturas, menores valores de humedad relativa y una mayor dependencia de las precipitaciones. Así, la neblina constituye una fuente de agua más estable en el tiempo que las precipitaciones, las cuales están sujetas a una marcada variabilidad interanual. Finalmente, en este capítulo se entregan antecedentes de los principales elementos del clima local y se discuten algunas consideraciones acerca del futuro escenario micro-climático de los dos principales ambientes del Parque Nacional Bosque Fray Jorge.

Palabras Clave: Clima, precipitación, neblina, temperatura, humedad relativa.

INTRODUCCIÓN

La interacción de factores atmosféricos, oceánicos y orográficos determinan la distribución espacial de los principales elementos del clima en el Norte de Chile. La combinación e intensidad de la interacción de estos factores, determina el clima en la Cuarta Región de Coquimbo, ubicada en la zona árida de la vertiente occidental de Sudamérica, entre los 29° 00' y los 32° 10' de latitud Sur (Sánchez & Morales 1998). Corresponde a una región de transición entre el Desierto de Atacama y las zonas más mésicas del centro del país. Es afectada por la presencia permanente de la Corriente fría de Humboldt, que corresponde a un complejo flujo superficial y sub-superficial de aguas de origen polar que se desplazan hacia el norte influenciando la temperatura del aire superficial y del mar, provocando valores inferiores a lo esperado por el descenso latitudinal de la temperatura del mar (Cereceda & Errázuriz 1991), registrándose en las costas del norte de Chile temperaturas menores a 17° C (Romero 1985, Romero et al. 1988, Vásquez et al. 1998, Luna-Jorquera & Culik 1999).

El efecto del Anticiclón del Pacífico subtropical, que corresponde a un sistema semi permanente de altas presiones situado cerca de los 35°S, 90°O en enero y a 25°S, 90°O en Julio (Kalthoff et al. 2002), influencia la intrusión de frentes de inestabilidad polar, estabiliza la atmósfera debido a la subsidencia atmosférica, inhibe la formación de nubes en la media y alta atmósfera y en particular, cuando estas corrientes de aire descendente se enfrentan con la superficie oceánica fría, se genera una capa de inversión térmica, es decir, una capa de aire de mayor temperatura entre dos capas de aire frío, contrario a la condición normal de descenso de la temperatura con el incremento de la altitud.

A lo largo de la costa del norte de Chile, la capa de inversión térmica resulta en el establecimiento de una capa de estratos nubosos permanentes durante el año (Miller 1976), que ocupan cientos de kilómetros de extensión norte-sur con grosor aproximado de 250 m (Rundel et al. 1991), y cuya altitud media varía latitudinalmente, así por ejemplo en las cercanías de Antofagasta se ubica entre los 800-900 m (Miller 1976), Pan de Azúcar entre los 300 y 800 m (Thompson et al. 2003), La Serena entre los 500 y 800 (Weischet 1970, Miller 1976) y Quintero a 500 m (Miller 1976).

La topografía, en especial la Cordillera de la Costa, ejerce un control orográfico bloqueando la penetración de masas de aire marino, que arrastradas por los vientos se dirigen hacia las tierras interiores del continente (Rundel et al. 1991) y la Cordillera de Los Andes que actúa como biombo climático de la influencia climática oriental, y a causa de su abrupto levantamiento provoca un control de los flujos regionales de los vientos (Kalthoff et al. 2002), y un notorio gradiente climático-altitudinal, especialmente de la temperatura y la precipitación.

Utilizando criterios bioclimáticos, la Cuarta Región de Coquimbo se ubica en la zona mediterránea árida de Chile (Di Castri & Hajek 1976), la que se extiende hasta cerca de los 33° de latitud Sur. En ella las precipitaciones se concentran en la estación fría del año, con sequía en los meses cálidos (estival), aunque con una marcada variabilidad de los montos pluviométricos intra e interanual. Las temperaturas muestran fluctuaciones estacionales, aunque con notable homegeneidad a lo largo de los años (Espinoza & Hajek 1988).

litoral, favorecen la formación de estratos nubosos, en una atmósfera estabilizada y cuyo techo altitudinal corresponde a la capa de inversión térmica.

En el Parque Nacional Bosque Fray Jorge, la angosta extensión de las terrazas marinas de abrasión (cerca de 5 km) es interrumpida abruptamente por los macizos de la Cordillera de la Costa (Paskoff 1993), en particular Los Altos del Talinay que alcanzan cerca de 700 m de altitud (Novoa & López 2001). En áreas donde el relieve supera los 400 m de altitud, las masas de aire marino son interceptadas y forzadas a ascender por la vertiente occidental (Fig. 2), con lo cual disminuye su capacidad de retención de humedad, creándose un ambiente lo suficiente húmedo como para sostener comunidades vegetales (Rundel & Mahu 1976, Marquet et al. 1998, ver Capítulo 16).

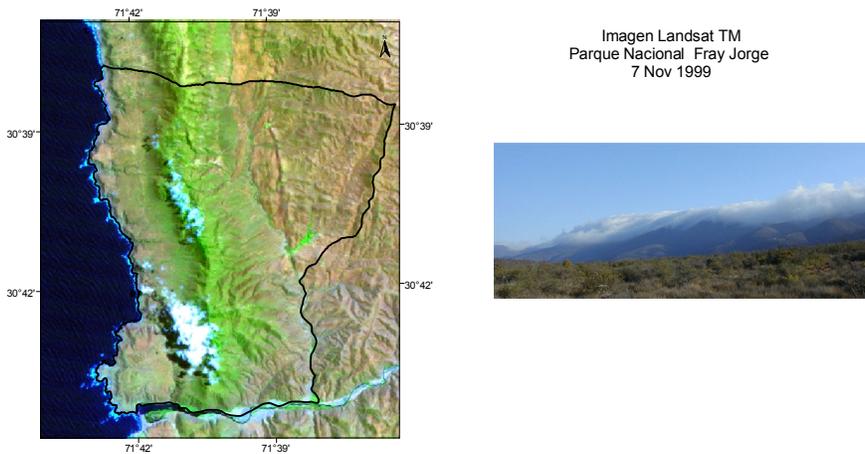


Fig. 2. Imagen satelital del Parque Nacional Bosque Fray Jorge.

Una vez que la neblina atraviesa la cima de los cerros, y debido a la menor presión atmosférica en la vertiente oriental como causa de su mayor insolación, se genera un gradiente de presión que favorece el descenso rápido de la masa de aire, la que ahora con una menor cantidad de vapor de agua y una mayor temperatura (Peña & Schneider 1982) alcanza la zona mediterránea.

ANTECEDENTES DE LOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS EN EL P.N. BOSQUE FRAY JORGE

Precipitaciones

Las regiones áridas y semiáridas se caracterizan por presentar precipitaciones anuales inferiores a 250 mm (Noy-Meir 1973, Strahler 1979, Cuadrat & Pita 1997) altamente variables entre años como dentro de estos.

A escala inter-anual, y para una serie de 21 años de registro (1983-2003), el promedio anual de precipitación en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge es de 147 mm (Fig. 3). Una alta variabilidad (coeficiente de variabilidad = 81%) es evidente ya que se presentan años extremadamente lluviosos (i.e. 1987, 1991, 1997, 2002), que pueden ser seguidos por uno o varios años secos (i.e., 1990, 1998), a intervalos

variables entre 2 a 5 años. La recurrencia de años secos y lluviosos estaría asociada al fenómeno de ENOS (El Niño / Oscilación del Sur), el cual favorece la ocurrencia de precipitaciones en la franja costera del norte del Perú hasta Chile Central. No obstante en algunos años ENOS la precipitación puede ser deficitaria (i.e., 1986), o menos intensa que lo observado en Chile central en los mismos años. Adicionalmente, estudios recientes muestran que la tendencia secular (i.e., de más de 50 años) de la precipitación en Chile central es hacia una disminución de la precipitación (Santibáñez & Uribe 1999).

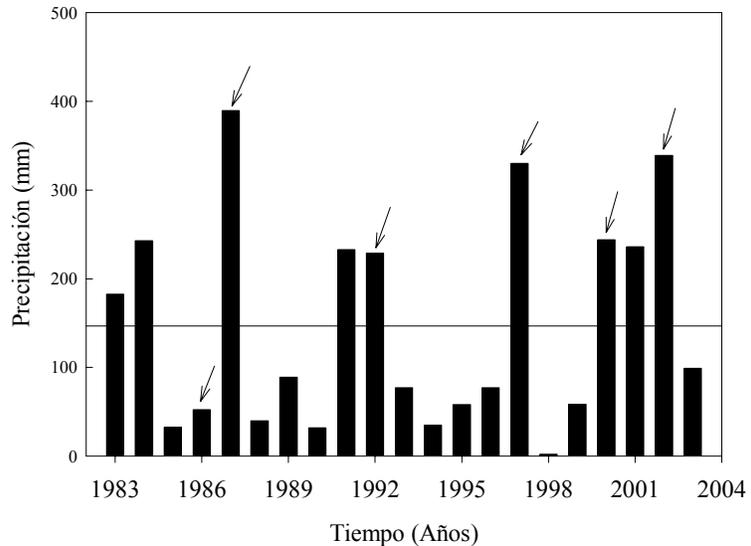


Fig. 3. Precipitación anual en el P. N. Bosque Fray Jorge. Las flechas indican años ENOS. La línea horizontal corresponde al promedio del período 1983-2003.

La conducta de años lluviosos separados por un número variable de años secos y sus efectos sobre la biota terrestre han sido extensamente estudiados en el sector del matorral xerófito del Parque Nacional Fray Jorge por Meserve et al. (1995, 2003), Gutiérrez et al. (1993a), Gutiérrez & Meserve (2003), Holmgren et al. (2001), Holmgren & Scheffer (2001), aunque menor atención ha sido prestada a los efectos de ENOS en el sector del bosque.

A escala intra-anual, la precipitación se concentra en la estación de invierno, acumulándose entre junio y agosto. Excepcionalmente la estación de lluvias puede extenderse entre abril a octubre. Debido a la falta de información climática secular del Parque Nacional Bosque Fray Jorge, y utilizando los antecedentes recopilados por la estación meteorológica automática ubicada al interior del Parque en la Quebrada Las Vacas, se analizó la tendencia de la precipitación dentro de cada año. Para un período de 5 años de registro, 1999 a 2002, encontramos que la estación húmeda se extendió desde mayo a septiembre, acumulándose entre junio y agosto más del 50% de la precipitación anual total. El mes más lluvioso en 1999 correspondió a octubre (acumulando el 25% del monto anual), junio (58%) en el año 2000, julio (51%) en el 2001 y junio (35%) el año 2002 (Fig. 4).

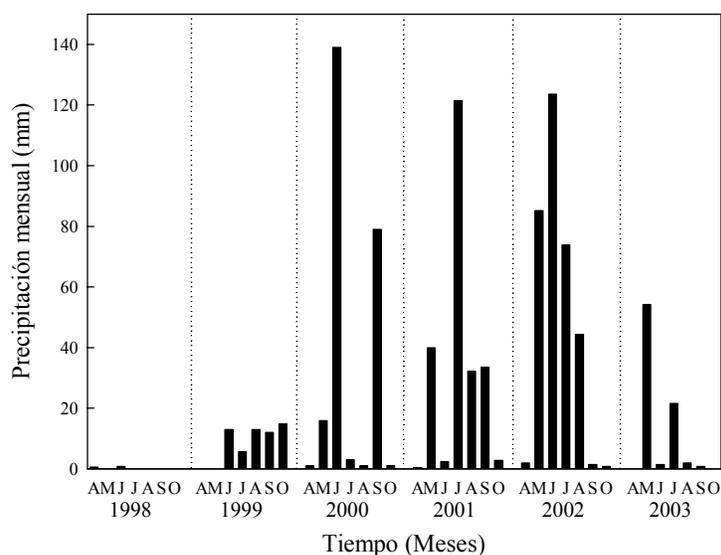


Fig. 4. Precipitación mensual registrada en el P. N. Bosque Fray Jorge. Se muestran sólo los meses con presencia de lluvia (Abril a Octubre). Datos de Estación Quebrada Las Vacas.

Al analizar los montos pluviométricos diarios dentro de la estación de lluvias, es notorio que el agua caída durante un año ocurre en eventos intensos de corta duración, los que en general duran unas pocas horas. Esto es la conducta habitual en áreas desérticas, especialmente en zonas donde los eventos de precipitación son impredecibles (Fuentes 1988). Por ejemplo, al considerar el mes más lluvioso de cada año entre 1999 a 2002, período para el cual se cuenta con registros detallados, encontramos que el 89% del monto total del mes de octubre de 1999 precipitó en un evento de 6 h, dicho de otra manera, el 22% del monto anual ocurrió en ese tiempo. En el año 2000, el monto total del mes más lluvioso (139 mm) estuvo concentrado en tres eventos: dos de 15 h de duración (34% y 35% del monto mensual) y otro de 21 h. En el año 2001 en un evento de 16 h precipitó el 53% del monto del mes más lluvioso (julio= 121,4 mm), mientras que en el año 2002, el 76% del monto de junio (123,6 mm) precipitó en un evento de 23 h. Los restantes montos de cada año se encuentran discretamente distribuidos a lo largo de la estación lluviosa.

Estos eventos intensos de lluvia (*pulsos*), aunque de corta duración, tienen un importante impacto sobre los ecosistemas áridos, ya que pueden corresponder a umbrales de germinación de semillas (véase Vidiella & Armesto 1989, Armesto et al. 1993), favorecer la mayor presencia de agua en la capa superficial del suelo, especialmente en áreas bajo arbustos (véase Gutiérrez et al. 1993b, Gutiérrez 2001), la que puede ser utilizada por especies con sistema radicular superficial (Squeo et al. 1999, Torres et al. 2002) y desencadenar aumentos de la actividad microbológica, especialmente en áreas bajo el dosel arbustivo (Aguilera et al. 1999).

Para el sector de bosque se dispone de escasa información, sin embargo algunas investigaciones que analizaron el contenido de agua del suelo (Kummerow 1966, Hajek & Saiz 1976) entre el sector del bosque higrófilo y la zona de matorral, sugieren que el efecto de la lluvia no es claramente detectable en el bosque, pero si

en el matorral, donde estos ingresos pueden tener consecuencias biológicas más evidentes. Asimismo, plantean que la precipitación de neblina (Kummerow 1966), es clave para mantener los niveles de humedad de suelo necesarios para el desarrollo de la actividad biológica en el bosque.

Humedad del Suelo

El contenido volumétrico de agua en el suelo, medido con sensores automáticos instalados en tres niveles de profundidad (0-5 cm, 5-10 cm y 10-15 cm) en la zona de matorral (Quebrada Las Vacas) durante los meses con registros de precipitaciones (mayo a septiembre) del año 2002, aumenta en respuesta a los eventos de precipitación (Fig. 5). Así por ejemplo, el evento del 13 y 14 de mayo (31,6 mm) generó un aumento del contenido volumétrico de agua del suelo desde 3% (valor modal para la estación libre de precipitaciones) a 16% en el nivel más superficial.

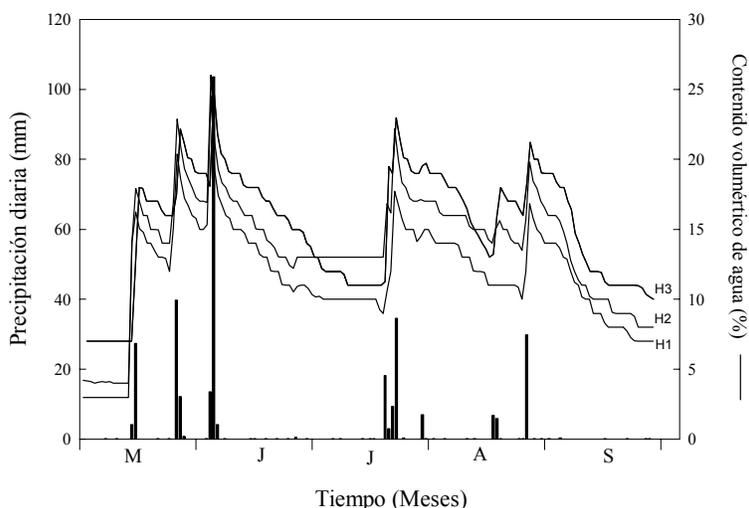


Fig. 5. Precipitación y contenido volumétrico de agua diaria del suelo en tres niveles de profundidad durante la estación lluviosa del año 2002 (1 de Mayo al 30 de septiembre). H₁ (0-5 cm), H₂ (5-10 cm) y H₃ (10-15 cm de profundidad)

Durante la estación de lluvias, los eventos de precipitación, aunque distanciados en el tiempo, permiten mantener la humedad del suelo en valores superiores al 10%, los que se mantienen bajos en los meses de verano (ca. 2 - 3 %).

La respuesta a los *pulsos* de precipitación en los estratos más profundos del suelo es retrasada con respecto a los más superficiales, aunque proyecta la misma conducta. Sin embargo, la disponibilidad de agua en el tiempo es mayor en los estratos más profundos del suelo (Fig. 5). Este comportamiento acoplado de respuesta de la humedad del suelo en los distintos niveles de profundidad y los eventos de precipitación, es dependiente de la magnitud de los eventos, así como de las características particulares del suelo de la zona de estudio.

No podemos determinar la contribución directa de la neblina sobre la humedad del suelo en el sector del matorral. Sin embargo, al analizar los meses de primavera-verano, que corresponden a las estaciones con mayor influencia de neblina

(Capítulo 16), no detectamos cambios importantes en la humedad del suelo, en especial en el nivel más superficial. La neblina tendría un efecto más evidente sobre la temperatura superficial del suelo, y por ende sobre la evapotranspiración. En cambio, en el sector del bosque la neblina tendría efectos claros e importantes como aporte de agua al suelo (Hajek & Saiz 1976), provocando altos niveles de humedad del suelo en los meses ausentes de precipitaciones. Esto ha impulsado recientes investigaciones acerca del aporte de la neblina como fuente de agua al ecosistema boscoso (Capítulos 9 y 16) y sus posibles aplicaciones en aspectos de reforestación que son tratados en este libro (Capítulos 17 y 18).

Humedad Relativa del Aire

Los valores de humedad relativa del aire varían tanto a escala espacial como temporal. En términos espaciales estos dependen de la ubicación del sitio en estudio, encontrándose montos diferentes entre zonas de laderas a barlovento y cimas, que sujetos a efectos locales según la altitud, inclinación, exposición de la ladera, velocidad del viento y estructura vegetacional (Capítulo 9 y 12) son menores en la vertiente oriental (matorrales), donde por efectos orográficos es mayor la disipación y pérdida de humedad.

En términos temporales hay una variación entre años e intra-anual. A escala interanual se han notado diferencias en la frecuencia de días nublados y consecuentemente de los valores de humedad relativa entre años El Niño/La Niña, siendo mayores durante la Niña (Dawson & Vidiella 1998).

Para 5 años de registro en el sector de Quebrada Las Vacas (1998-2003) la humedad relativa promedio fue 74%, el promedio más alto se presentó el año 2002 (75,3 %), mientras el menor fue el año 2000 (70,8%), el cual es estadísticamente menor que los restantes años (Anova; $p < 0,05$) (Fig. 6).

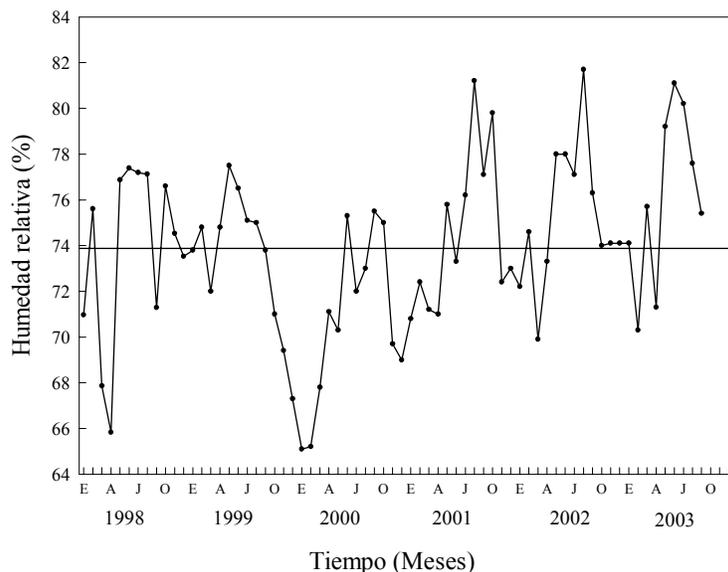


Fig. 6. Humedad relativa mensual en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. La línea horizontal corresponde al promedio del período 1998-2003.

Dentro de cada año se detectan variaciones estacionales, con valores mayores de humedad en los meses de primavera y verano. Para una serie de seis años (1998 y 2003) de registros en el sector matorral, los mayores valores de humedad se alcanzan en los meses de primavera (Fig. 6), aunque en años con bajo aporte de precipitaciones, los meses de fines de invierno (junio-agosto) muestran mayores valores. Desgraciadamente no se dispone de más antecedentes para poner a prueba si esto constituye una regularidad.

En una escala de tiempo menor, durante parte del año 1999 (abril-diciembre) se realizaron mediciones diarias de temperatura y humedad relativa (medias, máximas, mínimas) en fragmentos de bosque, considerando situaciones control (sin remoción de vegetación) y de parches de bosques con extracción de *Griselinia scandens*, (ver Capítulo 17).

Se detecta la variación estacional de la humedad relativa independiente de la condición de manejo del bosque (componente temporal), aunque se observa que en bosques abiertos (con remoción) existen notorias variaciones en los valores máximos y promedio de humedad relativa en los meses de primavera y verano (Fig. 7a) que corresponden a las estaciones en que la humedad ambiental es máxima y que coinciden con el período de germinación de las semillas y crecimiento de la vegetación arbórea (ver Capítulo 17). Estos datos al ser contrastados con los registros de la zona de matorrales, muestran que la humedad relativa media, máxima y mínima es mayor en los bosques (componente espacial), con valores más altos en bosques cerrados.

Cuando existen altos valores de humedad relativa del aire, el vapor de agua contenido en éste bajo ciertas condiciones de temperatura y presión llega a formar neblinas, las que en sistemas desérticos constituyen un importante aporte hídrico que es posible cuantificar. Kummerow (1966) utilizando neblinómetros estimó para cinco años un promedio anual de agua a través de la neblina en 661 mm en la zona del bosque de Fray Jorge, los que sujetos claramente a variaciones estacionales e interanuales, constituyen aportes promedio diez veces superiores a los de precipitación. Recientemente Cruzat (ver Capítulo 16), utilizando neblinómetros, estimó la captación de agua de neblina del sector norte del bosque en $3.117 \pm 526 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (27 meses, entre abril de 1998 a junio de 2000).

Temperatura

Para el período entre 1998 al 2003 se observa una baja variación del promedio anual de temperatura del aire en la zona de Quebrada Las Vacas (13,6 °C). Esto es característico en zonas con influencia marítima (Paskof 1993). Al comparar entre los años, es notoria la estacionalidad en la tendencia de la temperatura mensual, registrándose las menores temperaturas en los meses de invierno (junio-julio) y las mayores en verano, especialmente enero y febrero (Fig. 7b). La temperatura media del mes más frío del período fue 9,7 °C (julio de 1999), mientras que el mes más cálido correspondió a enero de 1998 con 18,5 °C.

Registros detallados de la temperatura diaria y mensual durante el año 2002 muestran una media anual de 13,7 °C. El mes más cálido fue enero (17,05 °C) y el más frío julio (10,9 °C). La temperatura más baja del año ocurrió en julio (0,2 °C) y la mayor en enero (28 °C). El día más frío presentó una temperatura promedio de 7,2 °C (Fig. 8).

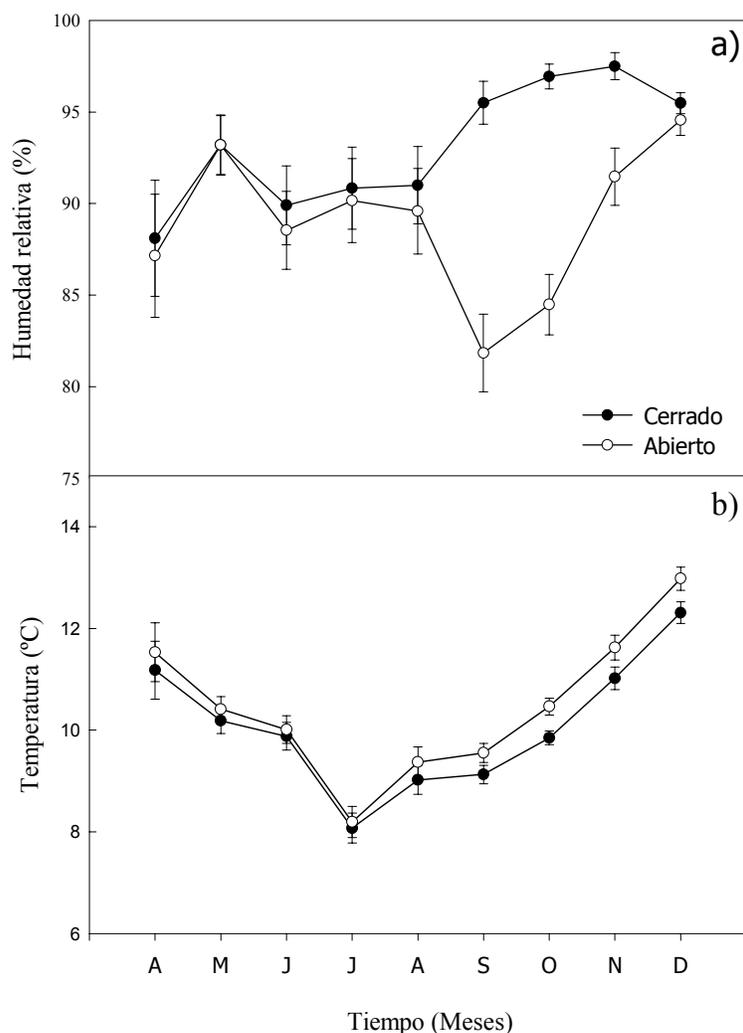


Fig. 7. Humedad relativa (a) y temperatura del aire (b) promedio en fragmentos de bosque, con y sin remoción de *Griselinia scandens* (Yelmo). Las líneas verticales representan ± 1 error estándar. Datos de F.A. Squeo (no publicados).

Al analizar la temperatura del suelo en tres niveles de profundidad para el mismo año, se observa un descenso de la temperatura media anual con la profundidad, con 20,6 °C en el perfil más superficial (0-5 cm), 19,6 °C (entre 5-10 cm) y 19,7 °C en el perfil más profundo (10-15 cm). El perfil superficial (0-5 cm), está sujeto a las mayores variaciones de la temperatura, diaria y mensual. La mayor temperatura promedio mensual se registra en enero (30 °C), y la menor en julio (11,8 °C), similar a la tendencia observada en la temperatura del aire. Los valores absolutos mínimos y máximos de temperatura en el mismo perfil durante el 2002 son de 5,3 °C en julio y 44 °C en enero (Fig. 9).

La temperatura diaria del aire en el curso de un año siempre es menor que la registrada en el suelo, excepto en algunas semanas de los meses de invierno (Fig. 9),

cuando el suelo registra temperaturas cercanas a los 5 °C. La amplitud térmica entre el aire y suelo aumenta claramente hacia los meses de verano, cuando se llegan a registrar hasta 22 °C de oscilación diaria.

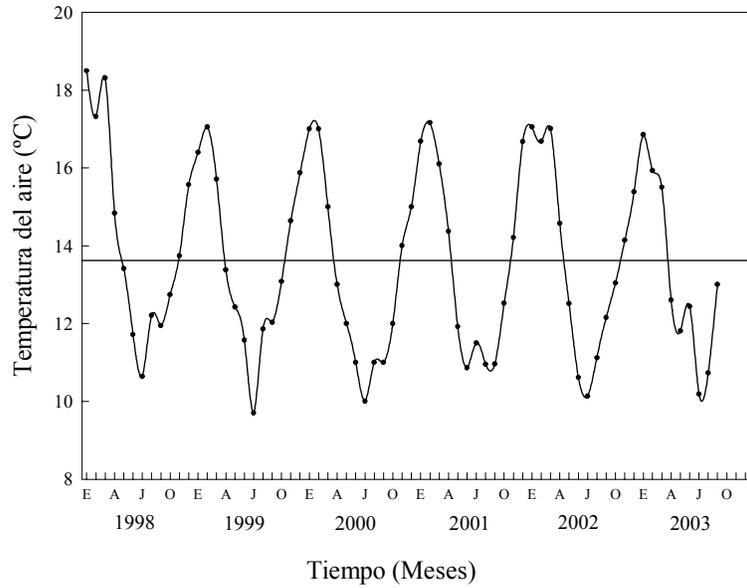


Fig. 8. Tendencia mensual de la temperatura del aire en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. La línea horizontal corresponde al promedio del periodo 1998-2003.

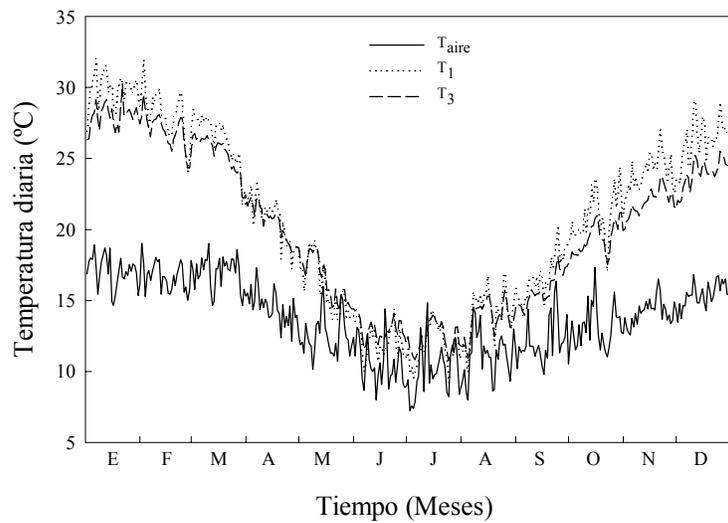


Fig. 9. Temperatura diaria del aire (T_{aire}) y del suelo en dos niveles de profundidad ($T_1 = 0-5$ cm, $T_3 = 10-15$ cm) durante el año 2002.

El análisis de imágenes termales con sensores satelitales Landsat TM7 permite evidenciar la variación espacial a mesoescala, de la temperatura superficial en diferentes zonas del Parque Nacional Bosque Fray Jorge (Fig. 10). Espacialmente es notoria la diferencia de temperatura entre el océano, laderas occidentales, cimas de los cerros de la Cordillera de la Costa y ladera oriental. Para septiembre del año 2002 la temperatura de la superficie del mar en la costa de Fray Jorge era cercana a los 12 °C, mientras que en las zonas de la ladera occidental la temperatura variaba entre 16 °C y 20 °C. En la zona de quebradas y planicies de la vertiente oriental la temperatura superficial alcanzó valores entre 20° y 30 °C. Esto significa que, para un mismo día y hora, se establecen diferencias térmicas cercanas a 15 °C entre ambas laderas (Fig. 10).

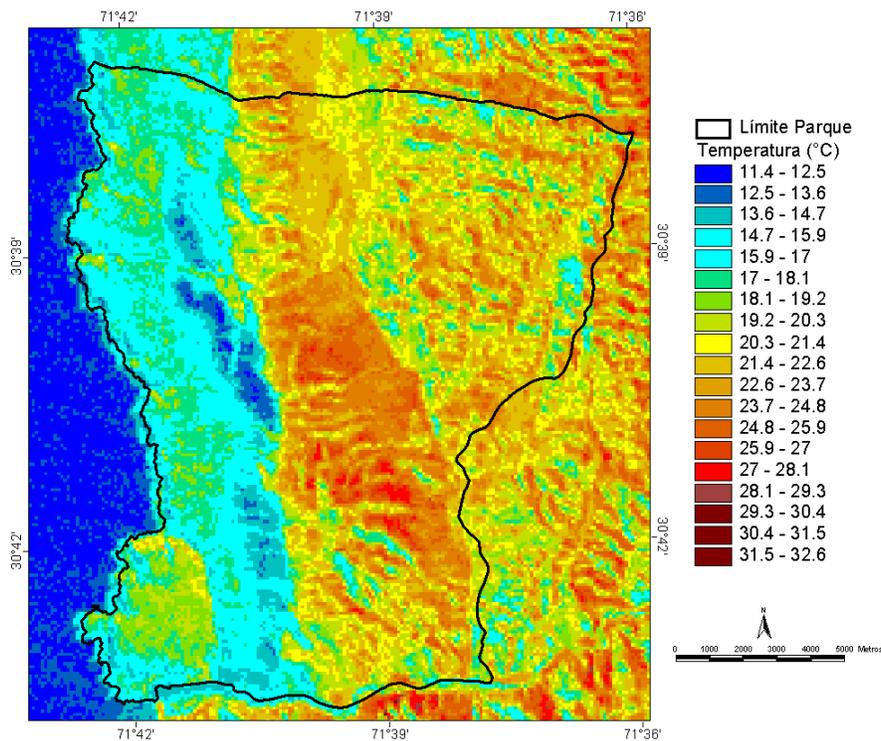


Fig. 10. Temperatura superficial (20 septiembre 2002) basado en imagen satelital del Landsat TM7 en la zona del Parque Nacional Bosque Fray Jorge. La imagen no presenta influencia de nubosidad.

Por otra parte, resulta interesante que en la zona de las cimas de los cerros se registran los menores valores de temperatura superficial, cercanos a lo registrado en el océano. En estas áreas de baja temperatura (núcleos de baja temperatura) se ubican los bosquetes del Parque Nacional Bosque Fray Jorge, en los que se mantiene una temperatura promedio cercana a los 12 °C (Fig. 10). En la zona donde se encuentra la mayor representación areal de los bosquetes, se registran valores de temperatura cercanas a los 11 °C, probablemente asociadas a un enfriamiento por mayores tasas de transpiración del bosque en comparación con el matorral xerofítico. En términos generales, la menor temperatura en el área cubierta por el bosque es influenciada por

el movimiento de masas de aire húmedo desde el océano, conjuntamente con atributos de los fragmentos boscosos (tamaño, estructura de la vegetación).

Al comparar la temperatura registrada con la imagen del Landsat TM7 de septiembre de 1999 (un año La Niña) con la temperatura de terreno mostrada en la figura 7b, en ambos casos es cercana a 9 °C. En un año El Niño (2002), la temperatura de esta zona es cercana a los 12 °C. Tal diferencia en temperatura superficial durante 1999 y 2002 podrían estar asociadas a los efectos de la alternancia La Niña / El Niño sobre la temperatura del mar entre años.

Finalmente el análisis de la temperatura provee pistas para establecer la diferenciación micro-climática del Parque Nacional Bosque Fray Jorge, en el cual la variación espacial de dos variables de importancia biológica como son la temperatura en conjunción con la humedad relativa, permiten comprender la existencia de zonas con vegetación higrófila inmersa en áreas eminentemente áridas.

Por último es preciso destacar la necesidad de realizar estudios detallados del clima del Parque Nacional Fray Jorge considerando una escala de tiempo mayor, lo cual requiere de la mantención, sistematización y organización de registros meteorológicos completos para una serie de tiempo más larga, tal que en el mediano plazo se disponga de una base de datos climáticos detallada que permita comprender cuestiones relacionadas con el cambio del clima a escala local, efectos de las influencias globales (ENOS), riesgos climáticos (incendios, zonas de riesgo), y en particular la modelación del clima sobre los componentes ecosistémicos en áreas silvestres protegidas del estado.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Julio Gutiérrez (FONDECYT 1030225) quién aportó la información meteorológica 1998-2003. Al Dr. Francisco Squeo quién aportó los registros de temperatura y humedad relativa en áreas de bosquetes (B.I.P. 20092545-0). A Rodrigo Contreras de la Secretaría Ministerial de Agricultura IV Región quién aportó la información meteorológica 2000-2003 del Parque Nacional Fray Jorge. Esta es una contribución del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA).

LITERATURA CITADA

- AGUILERA LE, JR GUTIÉRREZ & PL MESERVE (1999) Variation in soil micro-organisms and nutrient underneath and outside the canopy of *Adesmia bedwellii* (Papilionaceae) shrubs in arid coastal Chile following drought and above average rainfall. *Journal of Arid Environments* 42: 61-70.
- ANTONIOLETTI R, H SCHNEIDER, JL BORCOSQUE & E ZARATE (1972) Características climáticas del Norte Chico (26° a 33° latitud sur). Instituto de Investigación de Recursos Naturales, Santiago, 102 pp.
- ARMESTO JJ, PE VIDIELLA & JR GUTIÉRREZ (1993) Plant communities of the fog-free coastal desert of Chile: Plant strategies in a fluctuating environment. *Revista Chilena de Historia Natural* 66: 271-282.
- CERECEDA P & A ERRÁZURIZ (1991) *Ecogeografía: Nueva Geografía de Chile*. Editorial Zig-Zag SA, Santiago, 225 pp.
- CUADRAT JM & MF PITA (1997) *Climatología*. Ediciones Cátedra, Madrid, 496 pp.

- DAWSON TE & PE VIDIELLA (1998) Plant-fog interactions in California and Chile. 225-228. First International Conference on Fog & Fog Collection. Vancouver, Canadá. 19-24 Julio.
- DI CASTRI F & E HAJEK (1976) Bioclimatología de Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 107 pp.
- ESPINOZA GA & ER HAJEK (1988) Riesgos climáticos: Evidencias en Chile central. En: ER Fuentes & S Prenafeta (eds) Ecología del paisaje en Chile central. Estudios sobre sus espacios montañosos: 31-41. Ediciones Universidad Católica, Santiago, 125 pp.
- FUENTES ER (1988) Sinopsis de paisajes de Chile Central. En: ER Fuentes & S Prenafeta (eds) Ecología del paisaje en Chile central. Estudios sobre sus espacios montañosos: 17-27. Ediciones Universidad Católica, Santiago, 125 pp.
- GUTIÉRREZ JR (2001) Importancia de los arbustos leñosos en los ecosistemas de la IV Región. En: FA Squeo, G Arancio & JR Gutiérrez (eds). Libro Rojo de la Flora de la Región de Coquimbo y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo: 253-260. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, 386 pp.
- GUTIÉRREZ JR & PL MESERVE (2003) El Niño effects on soil seed bank dynamics in north-central Chile. *Oecologia* 134: 511-517.
- GUTIÉRREZ JR, PL MESERVE, FM JAKSIC, LC CONTRERAS, S HERRERA & H VÁSQUEZ (1993a) Structure and dynamics of vegetation in a Chilean semiarid thorn-scrub community. *Acta Oecologica* 14: 271-285.
- GUTIÉRREZ JR, PL MESERVE, LC CONTRERAS, H VÁSQUEZ & FM JAKSIC (1993b) Spatial distribution of soil nutrients and ephemeral plants underneath and outside the canopy of *Porlieria chilensis* (Zygophyllaceae) shrubs in arid coastal Chile. *Oecologia* 95: 347-352.
- HAJEK ER & F SAIZ (1976) Aplicación del método de la sacarosa a la caracterización microclimática del Parque Nacional Fray Jorge, Chile. *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso* 9:163-172.
- HOLMGREN M & M SCHEFFER (2001) El Niño as a window of opportunity for the restoration of degraded arid ecosystems. *Ecosystems* 4: 151-159.
- HOLMGREN M, M SCHEFFER, E EZCURRA, JR GUTIÉRREZ & F MOHREN (2001) El Niño effects on the dynamics of terrestrial ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 16: 89-94.
- KALTHOFF N, I BISCHOFF-GAU, M FIEBIG-WITTMAACK, F FIEDLER, J THÜRAUF, JE NOVOA, C PIZARRO, R CASTILLO, L GALLARDO, R RONDANELLI & M KOHLER (2002) Mesoscale wind regime in Chile at 30°S. *American Meteorological Society* 41: 953-970.
- KOEPPE W (1948) *Climatología*. Fondo de Cultura Económica, México, 478 pp.
- KUMMEROW J (1966) Aporte al conocimiento de las condiciones climáticas del Bosque de Fray Jorge. *Boletín Técnico Universidad de Chile, Facultad de Agronomía* 24: 21-24
- LUNA-JORQUERA G & BM CULIK (1999) Diving behaviour of Humboldt Penguins *Spheniscus humboldtii* in northern Chile. *Marine Ornithology* 27: 67-76.
- MARQUET PA, F BOZINOVIC, GA BRADSHAW, C CORNELLIUS, H GONZÁLEZ, JR GUTIÉRREZ, E HAJEK, JA LAGOS, FJ LÓPEZ-CORTES, L NUÑEZ, EF ROSELLO, C SANTORO, H SAMANIEGO, VG STANDEN, JC TORRES-MURA & FM JAKSIC (1998) Ecosistemas del desierto de Atacama y área Andina adyacente. *Revista Chilena de Historia Natural* 71:593-617.
- MESERVE PL, DA KELT, WB MILSTEAD & JR GUTIÉRREZ (2003) Thirteen years of shifting top-down and bottom-up control. *BioScience* 53: 663-645

- MESERVE PL, JA YUNGER, JR GUTIÉRREZ, LC CONTRERAS, WB MILSTEAD, BK LANG, KL CRAMER, S HERRERA, VO LAGOS, SI SILVA, EL TABILO, MA TORREALBA & FM JAKSIC (1995) Heterogeneous responses of small mammals to an El Niño (ENSO) event in north-central semiarid Chile and the importance of ecological scale. *Journal of Mammalogy* 76:580-595.
- MILLER A (1976) The climate of Chile. En: W Schwerdtfeger (ed.) *Climate of Central and South America*. Elsevier Scientific, World Survey of Climatology: 113-145.
- NOVOA JE & DA LÓPEZ (2001) IV Región: El Escenario Geográfico Físico. En: FA Squeo, G Arancio & JR Gutiérrez (eds) *Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo*: 13-28. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, 372 pp.
- NOY-MEIR I (1973) Desert ecosystems: environment and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 25-51.
- PASKOFF R (1993) *Geomorfología de Chile Semiárido*. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, 321 pp.
- PEÑA O & H SCHNEIDER (1982) *Diccionario de Climatología*. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Valparaíso, 288 pp.
- ROMERO H (1985) *Geografía de los Climas*, Colección Geografía de Chile. Editorial Instituto Geográfico Militar, Santiago, 243 pp.
- ROMERO H, A ROVIRA & G VÉLIZ (1988) *Geografía IV Región de Coquimbo*, Colección Geografía de Chile. Editorial Instituto Geográfico Militar, Santiago, 425 pp.
- RUNDEL PW & M MAHU (1976) Community structure and diversity of a coastal fog zone in northern Chile. *Flora* 165: 493-505.
- RUNDEL PW, MO DILLON, B PALMA, HA MOONEY, SL GULMON & JR EHLERINGER (1991) The phytogeography and ecology of the coastal Atacama and Peruvian Deserts. *Aliso* 13:1-49.
- SÁNCHEZ A & R MORALES (1998) *Las Regiones de Chile, Espacio Físico y Humano-económico*, Segunda Edición. Editorial Universitaria. Santiago, 263 pp.
- SANTIBAÑEZ F & J URIBE (1999) Origen, Variabilidad y Aspectos Agroclimáticos de las Sequías en Chile. En: A Norero & C Bonilla (eds) *Las Sequías en Chile: Causas, Consecuencias y Mitigación*: 23-32. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, 119 pp.
- SQUEO FA, N OLIVARES, S OLIVARES, A POLLASTRI, E AGUIRRE, R ARAVENA, C JORQUERA & JR EHLERINGER (1999) Grupos funcionales en arbustos desérticos definidos en base a las fuentes de agua utilizadas. *Gayana Botánica* 56: 1-15.
- SQUEO FA, D LÓPEZ & JE NOVOA (2001) Listado y antecedentes de los sitios prioritarios para la conservación de la flora nativa con problemas de conservación de la Región de Coquimbo. En: FA Squeo, G Arancio & JR Gutiérrez (eds). *Libro Rojo de la Flora de la Región de Coquimbo y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo*: 195-202. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, 386 pp.
- STRAHLER A (1979) *Geografía Física*. Cuarta Edición. Ediciones Omega, Barcelona, 767 pp.
- THOMPSON MV, B PALMA, KNOWLES JT & HOLBROOK (2003) Multi-annual climate in Parque Nacional Pan de Azúcar, Atacama Desert, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 76: 235-254.
- TORRES R, FA SQUEO, C JORQUERA, E AGUIRRE & JR EHLERINGER (2002) Evaluación de la capacidad estacional de utilizar eventos de precipitación

- en tres especies de arbustos nativos con distintos sistemas radiculares. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 737-749
- VÁSQUEZ J, P CAMUS & FP OJEDA (1998) Diversidad, estructura y funcionamiento de ecosistemas rocosos del norte de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 71: 479-499.
- VIDIELLA PE & JJ ARMESTO (1989) Emergence of ephemeral plant species from soil samples of the Chilean coastal desert in response to experimental irrigation. *Revista Chilena de Historia Natural* 66: 99-107.
- WEISCHET W (1970) Chile: Seine Länderkundliche Individualität und Struktur (Chile: Its Geographical Individuality and Structure). *Wissenschaftliche Buchgesellschaft*, 618 pp.