Aspectos climáticos del Valle de Elqui

2.1. Generalidades
2.2. Estaciones meteorológicas instaladas en la cuenca del Elqui
2.3. Análisis de algunos datos metereológicos
2.4. La influencia del Embalse Puclaro sobre el clima del Valle del Elqui
2.5. Conclusiones
2.6. Agradecimientos
2.7. Referencias
2.8. Anexos

2. ASPECTOS CLIMÁTICOS DEL VALLE DE ELQUI

Climatic aspects of the Elqui Valley

MELITTA FIEBIG-WITTMAACK[1, 2], CÉSAR PÉREZ V.[3, 4] & EMILIO LAZO B.[3]

Abstract. *Some climatic characteristics of the pre-Andean sector of the Elqui River Basin are described in this chapter. Data were obtained from semi-automatic meteorological stations set in the middle section of the valley. Both for summer and for winter, the wind pattern, mean temperature, global solar radiation, and air relative humidity are examined. Rainfall, dew, potential evapotranspiration, and the yearly actual evapotranspiration are also considered in the analysis. Finally, the influence of Puclaro Dam on local climate is looked into.*

Key words: meteorological variables, dew, actual evapotranspiration, arid lands.

Resumen. *Sobre la base de registros de datos de estaciones meteorológicas semiautomáticas, se describen algunas características climatológicas del sector medio del Valle del Elqui. Se analiza el comportamiento promedio de los sistemas de viento, temperatura, radiación solar global, humedad relativa del aire, durante el verano y el invierno. También se describe el comportamiento de las precipitaciones, el rocío, la evaporación potencial y la evapotranspiración real anual. Finalmente se analiza la influencia del Embalse Puclaro sobre el clima del Valle de Elqui.*

Palabras clave: variables meteorológicas, rocío y evapotranspiración real, zonas áridas.

[2]Departamento de Matemática, Universidad de La Serena, Casilla 599, La Serena, Chile.
[1]Centro de Estudios Avanzados en Zonas Aridas (CEAZA). La Serena. Chile. mefiebig@userena.cl.
[3]Programa Ingeniería Civil Ambiental, Universidad de La Serena. La Serena. Chile.
[4] Programa "Master of Applied Science (MASc) in Environmental Systems Engineering, Faculty of Engineering, University of Regina". Regina. Canada.

2.1. Generalidades

La característica climática más importante de la Región de Coquimbo (RC) es y ha sido la escasez periódica de agua como consecuencia de la gran variabilidad interanual de las precipitaciones (Downing et al. 1994). La RC se encuentra bajo la influencia de la interacción de factores atmosféricos, oceánicos y orográficos que determinan la distribución espacial de los principales elementos del clima en gran parte del norte de Chile. Los principales factores son: el anticiclón del Pacífico, la Corriente de Humboldt, la topografía compleja que se caracteriza por los valles transversales (de oeste a este), y el macizo de la Cordillera de los Andes, que en esta zona alcanza alturas de hasta 6.000 msnm. El anticiclón del Pacífico corresponde a un sistema semipermanente de altas presiones situado cerca de los 35º S, 90º O en enero y los 25º S, 90º O en julio (Kalthoff et al. 2002). Esta situación produce un flujo de masas de aire del suroeste hasta aproximadamente 10 km costa afuera (Miller 1976). A lo largo de la costa, el sistema de vientos de brisa marina establece vientos superficiales del oeste durante el día (Weischet 1996). Sobre el Océano Pacífico se observa frecuentemente una delgada capa de estratos nubosos, bajo la capa de inversión; esto es consecuencia de la Corriente de Humboldt, cuyas aguas frías se desplazan a lo largo de la costa chilena en dirección a la línea ecuatorial. Esta capa de estratos nubosos persiste casi todo el año.

La base de la capa nubosa se encuentra normalmente entre los 500 msnm y los 800 msnm, y alcanza un grosor de apenas 250 m (Miller 1976, Weischet 1996). Los quiebres en la línea costera, como, por ejemplo, el Valle de Elqui, permiten e inducen la entrada de la niebla hacia el este, hasta algunas pocas decenas de kilómetros; sin embargo, más hacia el interior se observan cielos frecuentemente despejados. Debido a lo persistente de este sistema de circulación atmosférica anticiclonal, se produce el bloqueo casi permanente de los sistemas frontales causantes de las precipitaciones, lo que genera y da forma al carácter semiárido de la zona.

La combinación de las bajas temperaturas de la superficie del océano y las altas temperaturas sobre el territorio continental (consecuencia del suelo seco, la escasa vegetación y los cielos despejados) conducen, en la cuenca del Río Elqui, al desarrollo de vientos inducidos térmicamente. Por otro lado, en la Región de Coquimbo, la Cordillera de los Andes actúa como una barrera que fuerza a los vientos de gran

escala del oeste a fluir en forma paralela a los Andes. Como consecuencia de este fenómeno se genera un flujo permanente de viento norte sobre la región, que abarca aproximadamente desde los dos a los cuatro kilómetros de altura (Kalthoff et al. 2002).

Gran parte de la Región de Coquimbo se encuentra en una transición entre clima mediterráneo desértico y semi-desértico, con un notorio gradiente climático-altitudinal, especialmente de la temperatura y la precipitación. La zona costera se caracteriza por presentar humedad relativa alta (85%) y frecuente nubosidad (principalmente en las mañanas), con temperaturas muy moderadas, media anual de 14,7 °C (La Serena) y una oscilación térmica diaria que no sobrepasa los 6 °C. La humedad relativa disminuye hacia el interior de la región y aumenta la evaporación. La zona interior precordillerana es la más seca, con humedad relativa de no más de 20% en días calurosos, ausencia de nubosidad y una mayor oscilación térmica. En la parte alta de la cuenca se encuentra el clima de tipo semiárido de montaña con precipitaciones de tipo mayoritariamente nival, temperaturas mínimas anuales cercanas a los -15 ºC y presencia frecuente de vientos fuertes.

El “mal tiempo” es poco frecuente en la zona no cordillerana del Valle del Elqui, siendo común lo irregular de las precipitaciones (lluvias), de lo cual deriva no sólo el rasgo de semiaridez, sino también una gran incertidumbre climática que influye de manera decisiva en la conformación resultante entre el paisaje natural y las actividades humanas (IGM 1988). La precipitación asciende escasamente a 90-100 mm por año en la parte media de la cuenca; sin embargo, se producen importantes variaciones en los años en que se presenta el fenómeno de El Niño y La Niña: con El Niño, por ejemplo, las precipitaciones pueden duplicarse o, más aún, triplicarse.

Existe escasa información paleoclimatológica de esta región (Maldonado, comunicación personal). Sin embargo, estudios geomorfológicos y de paleosuelos (e.g., Veit 1996) han permitido reconstruir una secuencia paleoclimática para la zona del Norte Chico, con datos obtenidos principalmente de la cuenca del Río Elqui. Estos datos muestran una probable mayor influencia del cinturón de vientos del oeste en la zona en los períodos previos a 7.300, entre 500-3.700, 3.000-1.800 y alrededor de 270 años ^{14}C antes del presente (AP). Esto sugiere, también, mayor variabilidad desde los 5.000 años ^{14}C AP, especialmente a partir de los 3.000 años ^{14}C AP.

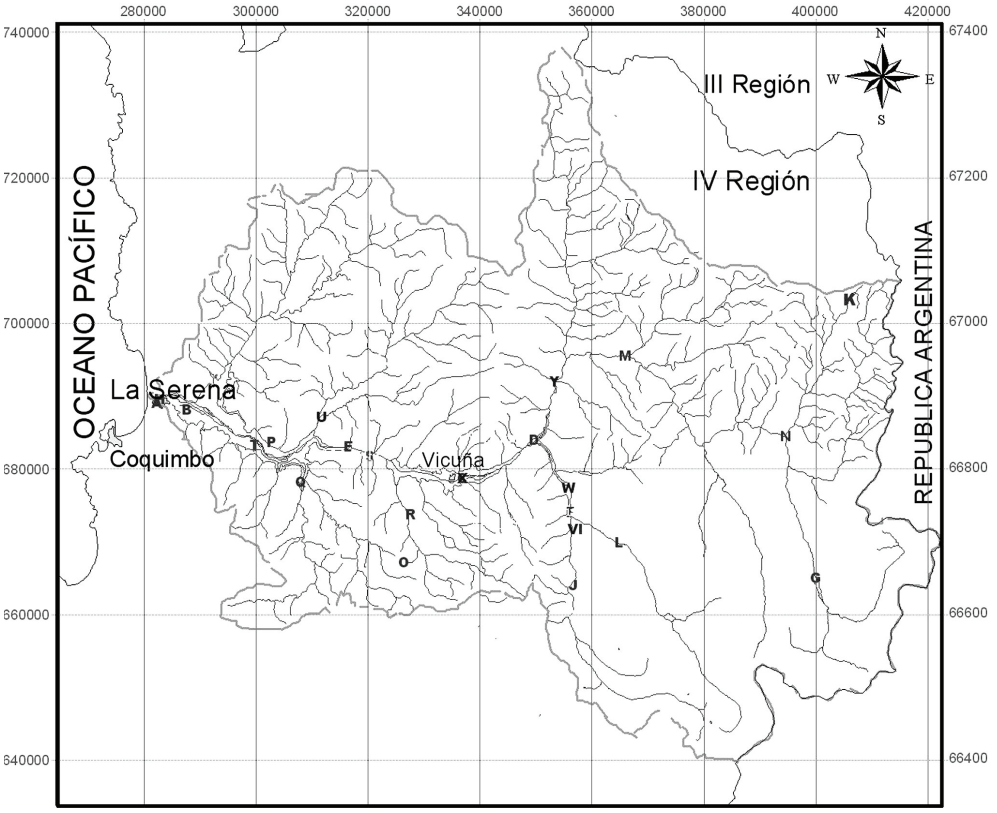


Fig. 2.1. Distribución espacial de las estaciones meteorológicas en la cuenca del Valle del Elqui. Estaciones según letras Anexo Tabla 2.1. A: Escuela Agrícola (La Serena); B: Aeropuerto de La Florida (La Serena); C: Vicuña; D: Rivadavia; E: Almendral; G: La Laguna; H: La Serena (Escuela Agrícola); J: La Ortiga; K: El Indio; L:Cochiguaz; M: Huanta; N: Juntas del Toro; O: Cerro Tololo; P: Pelícana; Q: Arrayán; R: San Carlos; T: Rumpa; U: Tara; W: Puya; X: Copao; Y: Pacul. No están ubicadas en el mapa las siguientes estaciones: Montegrande, Pisco Elqui, Puclaro y Pingo (ver Anexo Tabla 2.1).

2.2. Estaciones meteorológicas en la cuenca del Elqui

En la cuenca del Río Elqui existen alrededor de 25 estaciones meteorológicas, de distintas categorías (agrometeorológicas, completas, rudimentarias, etc.) (Anexo Tabla 2.1). Ellas pertenecen a distintas instituciones: Dirección General de Aguas (DGA), Centro de Investigación Atmosférica de la Universidad de La Serena (CIALS), Dirección Meteorológica de Chile (DMC), Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y la compañía Minera El Indio (CMEI). En la Fig. 2.1 se muestra la ubicación espacial de las estaciones. Se debe mencionar, además, que existe una gran cantidad

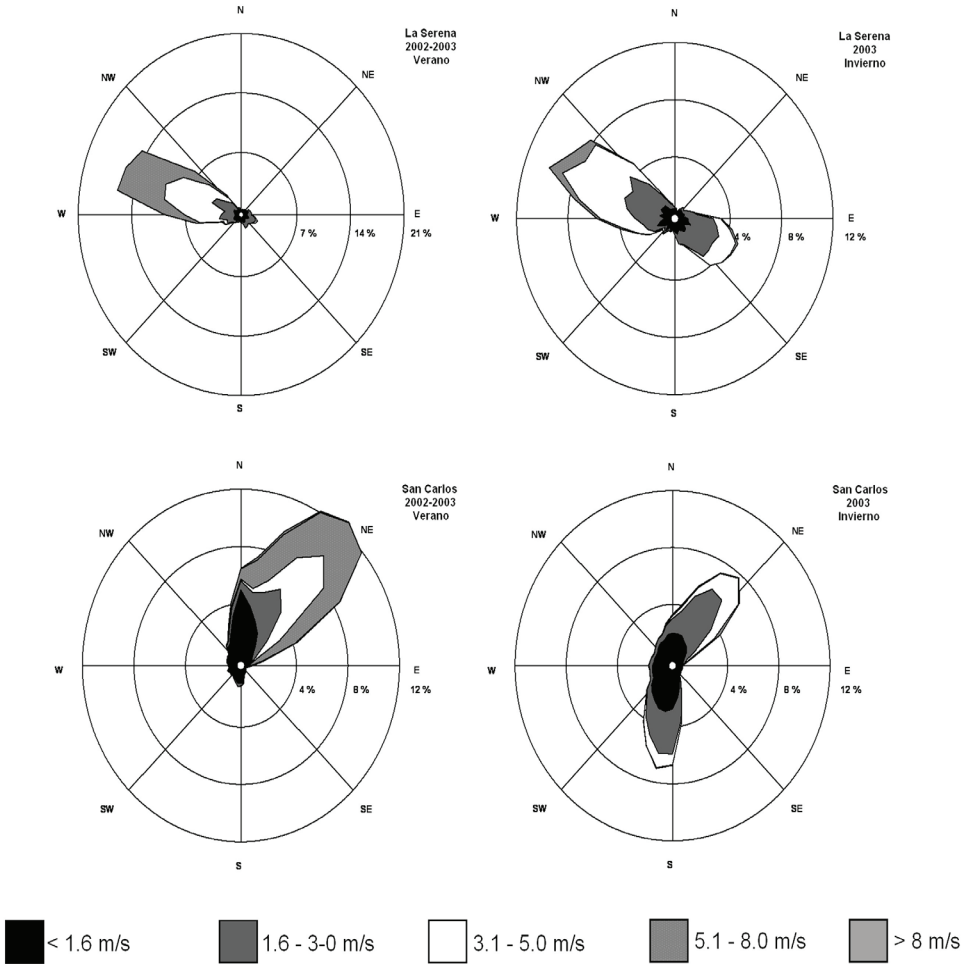


Fig. 2.2 Frecuencia relativa de las direcciones del viento, separadas en clases de velocidad del viento, durante el verano (diciembre 2002-febrero 2003) e invierno (junio-agosto 2003) en La Serena y San Carlos (gentileza de M. Kohler del IMK/FZK).

de estaciones agro-meteorológicas prediales privadas. Existe una gran heterogeneidad en cuanto a las variables medidas, la frecuencia de las mediciones, la periodicidad y el tiempo de funcionamiento (Anexo Tabla 2.1).

2.3. Análisis de algunos datos meteorológicos

Como las estaciones meteorológicas del CIALS son estaciones semiautomáticas completas y han funcionado en forma continua en la parte media de la cuenca del Río Elqui durante los años 2000, 2001, 2002 y parte del año 2003, nos basaremos

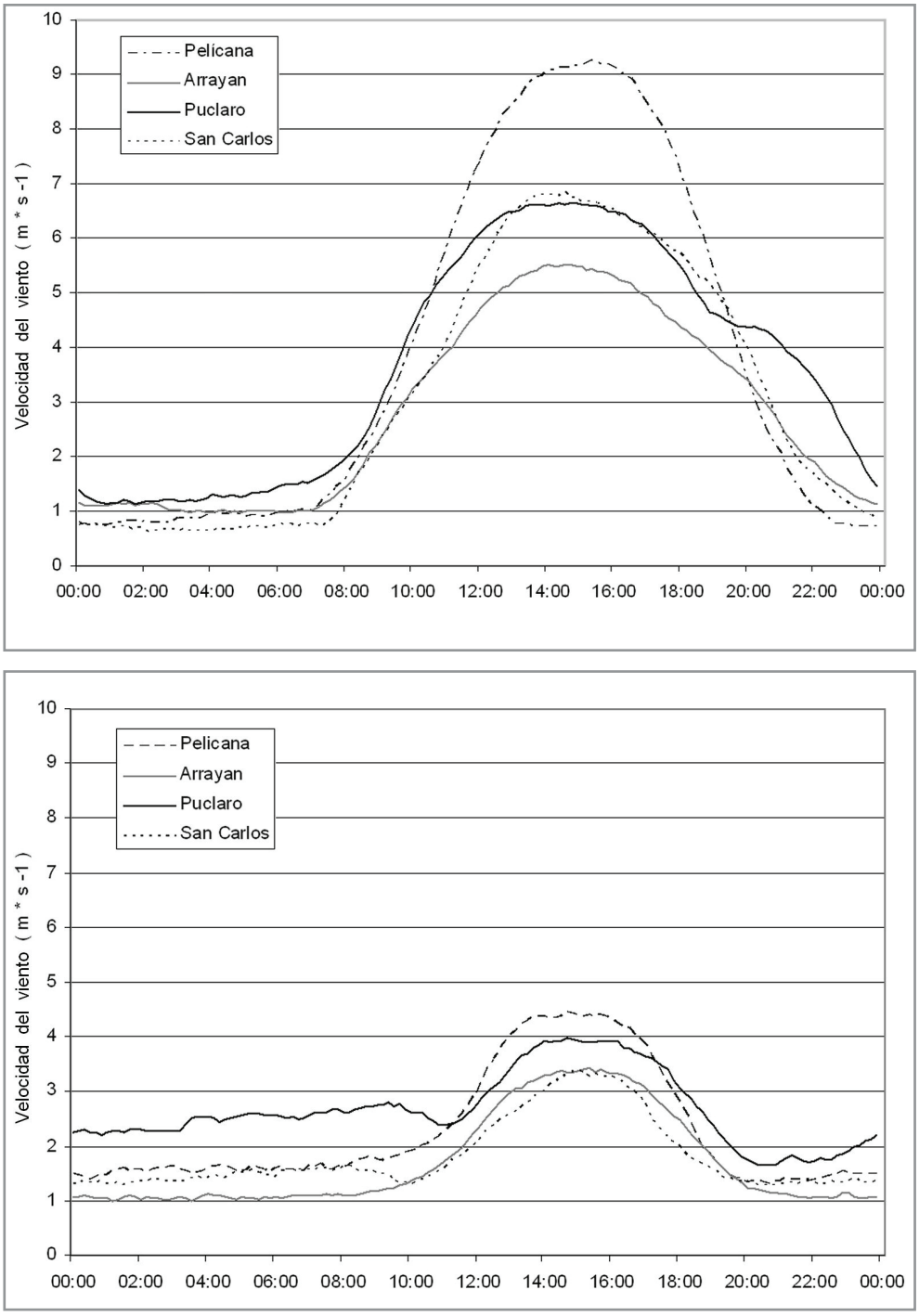


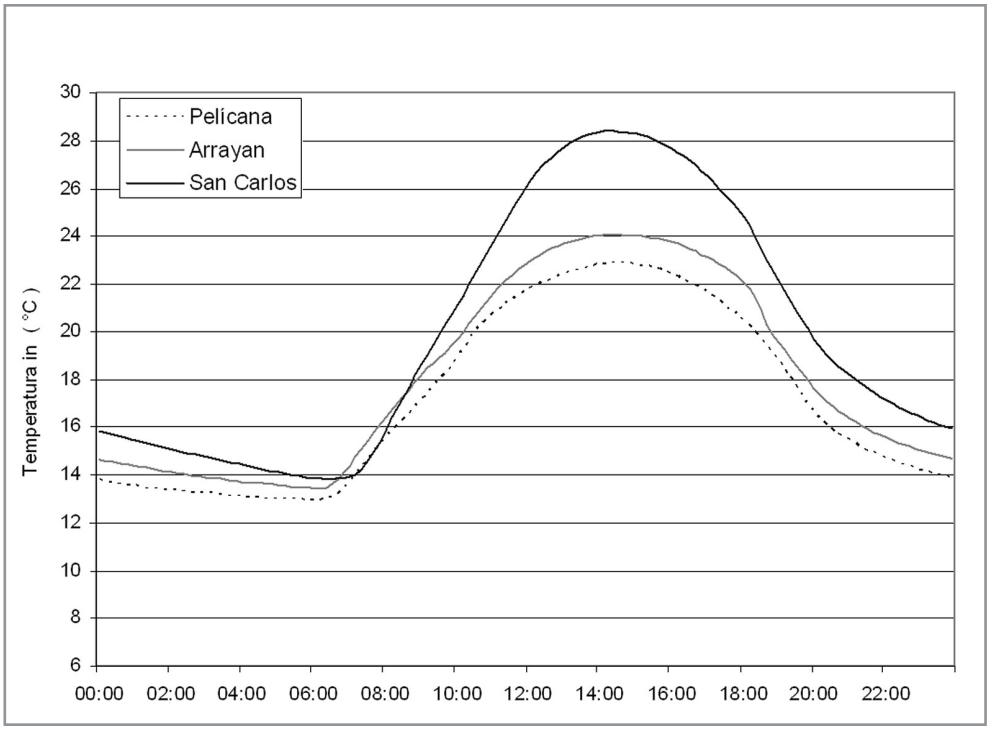
Fig. 2.3 Ciclo diario promedio de la velocidad del viento para el verano (arriba) e invierno (abajo), para los años 2000-2002, en Pelícana, Arrayán, Puclaro y San Carlos (gentileza de M. Kohler del IMK/FZK).

mayoritariamente en la información proporcionada por estas estaciones para describir algunas características climatológicas del Valle del Elqui. Cabe mencionar que el aseguramiento de la calidad de los datos de dichas estaciones se debe al fuerte apoyo y colaboración prestada por el Instituto de Meteorología y Climatología del Centro de Investigación de Karlsruhe (IMK/FZK, Alemania) en la mantención de los equipos.

2.3.1. Viento, radiación solar global y temperatura

Viento. En esta área se pueden distinguir diferentes regímenes de viento: Sobre los 4 km sobre el nivel del mar prevalecen los vientos de gran escala del oeste, mientras que entre los 2 km y los 4 km se presentan vientos del norte en una franja a lo largo de la línea de la costa, desde aproximadamente 100 km costa afuera hasta aproximadamente las primeras cumbres andinas (Kalthoff et al., 2002). Bajo el regimen de viento norte y variando con las estaciones del año, se desarrollan tanto vientos de valle-montaña inducidos térmicamente, como también un sistema de brisa marina. Para la descripción de las velocidades y de las frecuencias de la dirección de los vientos superficiales (e.g., cercanos al suelo) se usan principalmente los datos proporcionados por las estaciones semiautomáticas ubicadas en los sectores de El Arrayán, Pelícana, Puclaro y San Carlos y también de la estación ubicada en el Aeropuerto de La Serena, estación cercana a la costa.

La frecuencia de la dirección del viento en la costa y en la parte media de la cuenca del Elqui se muestra en la Fig. 2.2. En La Serena, en verano prevalece el viento del oeste y casi no ocurren vientos de montaña; durante el invierno, la frecuencia de los vientos del oeste aun duplica la frecuencia de los vientos del este. En el interior del Valle del Elqui, en la estación San Carlos, durante el verano prevalecen los vientos de valle del noreste; durante el invierno, en este sector se presentan, aproximadamente con la misma frecuencia, los vientos de valle de dirección noreste y los vientos de montaña de dirección sur (Fiebig-Wittmaack et al. 2006). Como la variabilidad climática interestacional en el sector medio de la cuenca del Elqui es pequeña, los ciclos diarios de la velocidad del viento muestran una alta persistencia en el Valle de Elqui. En la Fig. 2.3 observamos que la velocidad del viento es baja durante las noches de verano, pero alcanza velocidades de hasta 9 m/s^{-1} durante el día en Pelícana. En el invierno, las velocidades de los vientos diurnos son mucho menores; pero los vientos nocturnos aumentan levemente en Pelícana y Puclaro.



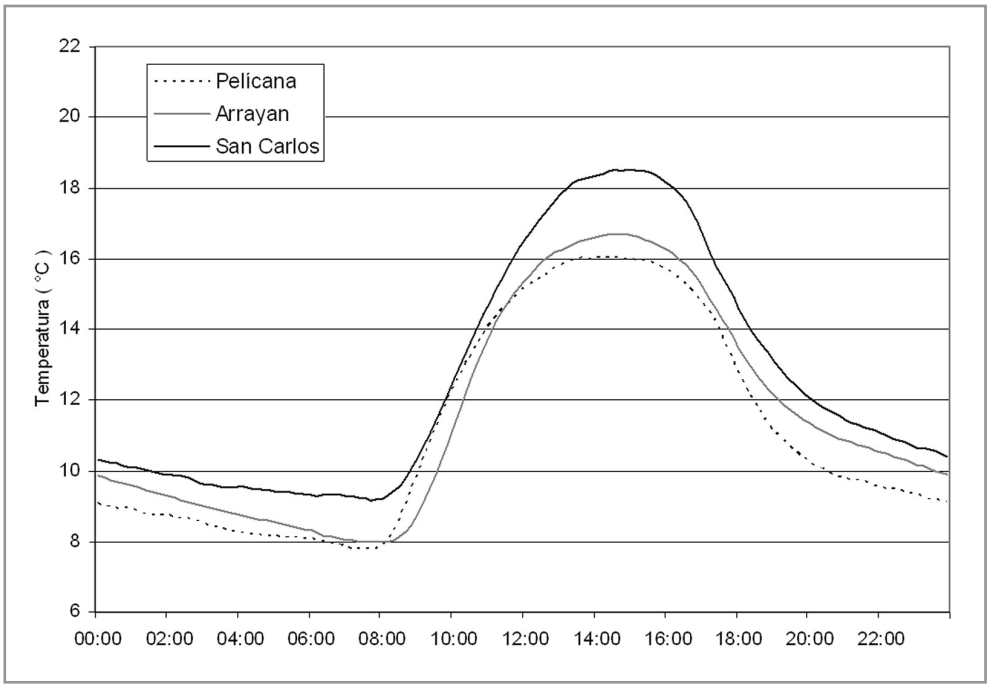
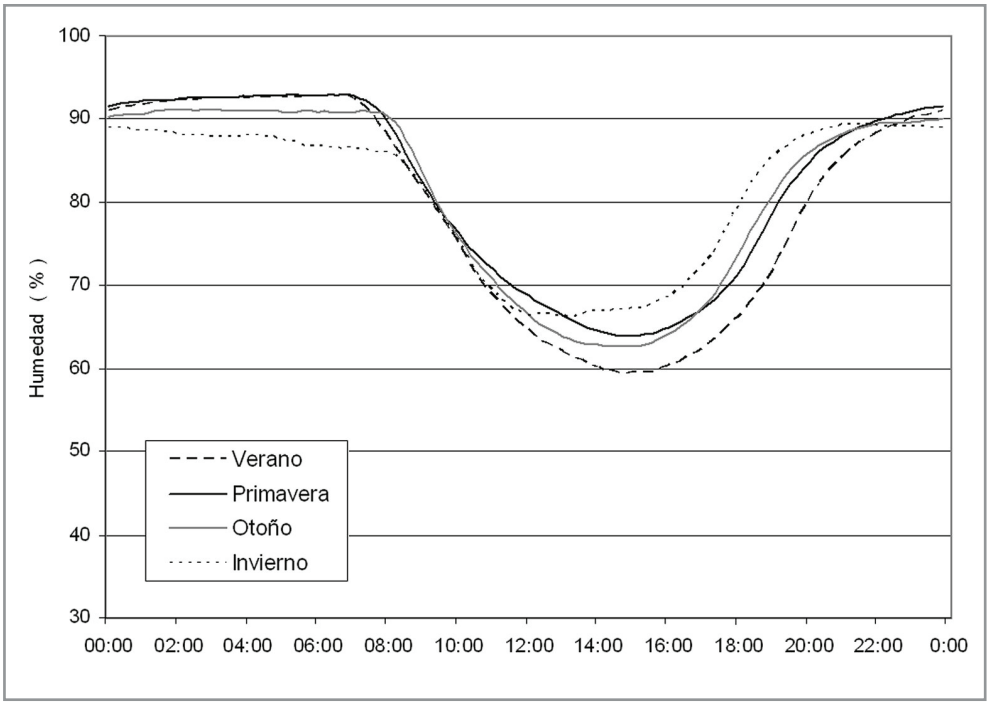


Fig. 2.4. Ciclo diario promedio de la temperatura durante el verano (arriba) y el invierno (abajo) de los años 2000-2002 en Pelícana, Arrayán y San Carlos (gentileza de M. Kohler del IMK/FZK).



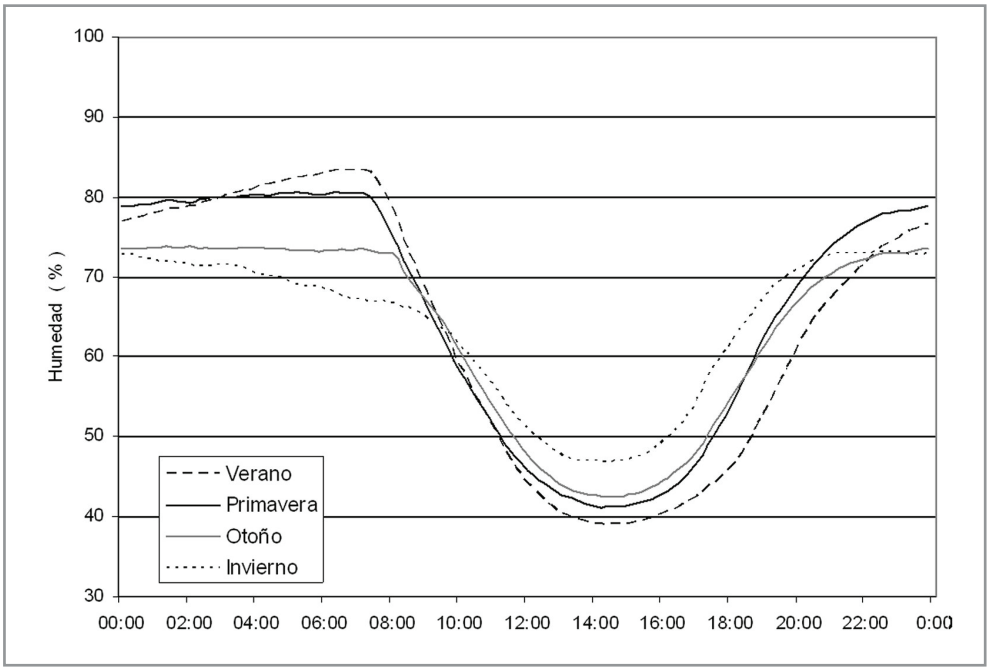


Fig. 2.5. Ciclo diario promedio de la humedad relativa durante el verano (línea segmentada), la primavera (línea negra), el otoño (línea ploma) y el invierno (línea punteada), en Pelícana (figura superior) y San Carlos (figura inferior). Gráficos según datos del período 2000-2003 (gentileza de M. Kohler del IMK/FZK).

Radiación solar. El comportamiento del viento también está relacionado con la radiación solar. Durante el verano, el promedio de horas de sol alcanza desde las 06:00 hasta las 19:00 HL (HL = UTC-4 h), con valores promedio de radiación global máximos hasta de 1.100 W/m^{-2}. En cambio, durante el invierno, las horas de sol se extienden desde las 08:00 hasta las 18:00 HL, y la radiación global máxima es de solo 600 W/m^{-2} (Kalthoff et al. 2005).

Temperatura. La temperatura presenta una anomalía interesante, pues aumenta con la altitud conforme nos adentramos en el valle. En efecto, considerando los registros de las estaciones Pelícana (289 msnm), Arrayán (340 msnm) y San Carlos (630 msnm), observamos que durante el verano la variación promedio de la temperatura abarca de 13 °C a 23 ºC en Pelícana, de 13,8 °C a 24 ºC en Arrayán y de 14 °C a 29 ºC en San Carlos; en cambio, en invierno, la variación promedio de la temperatura abarca de 7,8 °C a 16 ºC en Pelícana, de 8 °C a 16,8 ºC en Arrayán y de 9,5 °C a 18,5 ºC en San Carlos (Fig. 2.4). En este sentido, cabe mencionar que el Centro de Investigación Atmosférica de la Universidad de La Serena (CIALS) en colaboración con el Instituto de Meteorología y Climatología del Centro de Investigación de Karlsruhe (IMK/FZK), Alemania, realizaron varias campañas de radiosondeos en forma paralela en la costa y en el interior (Vicuña) de la cuenca del Río Elqui. De los perfiles verticales de temperatura obtenidos en dichas campañas, se deduce que la anomalía de la temperatura se mantiene hasta alrededor de los 1.600 msnm. A partir de esta altitud ya se normaliza el comportamiento, pues la temperatura comienza a disminuir, con un gradiente térmico (GT) igual a:

$$GT = -6{,}5\ ºC/1.000\ m$$

2.3.2. Humedad relativa del aire, precipitación y rocío

Humedad relativa del aire. Ésta disminuye desde la costa hacia el interior del Valle del Elqui. Si bien en la zona de la costa alcanza un promedio de 85%, en la Fig. 2.5 vemos que ya en Pelícana la humedad relativa alcanza, entre las 14:00 y 15:00 HL, un mínimo de 60% en verano y un 68% en invierno, y aumenta hasta un 90% durante la noche, en ambos casos. Estos altos porcentajes se relacionan con la frecuente incursión de la neblina de la nubosidad estratiforme de la costa que ingresa por el valle hasta el sector de Pelícana.

Más al interior del valle, la estación de San Carlos registra promedios de humedad relativa mínima de 40% en verano y apenas un poco más en invierno. La humedad relativa máxima se registra durante las horas de la madrugada, con algo más de 80% en verano y apenas un 72% durante la noche en invierno (Fig. 2.5).

Precipitación. Si bien la precipitación que caracteriza la cuenca del Río Elqui se analizará en detalle en el capítulo 3, acá se describen brevemente algunas de sus características. En la Fig. 2.6 se observa la fuerte variabilidad pluviométrica interanual de diferentes sectores de la cuenca del Elqui. Se destaca la gran influencia que puede tener el fenómeno de El Niño en el área (e.g., años 1982, 1986, 1992, 1997 y 2002). Por otro lado, en la Fig. 2.7 se observa que los eventos pluviométricos que tienen lugar en la cuenca se concentran en los meses de invierno (i. e., junio, julio y agosto). Cabe recalcar que en los sectores no cordilleranos normalmente casi no se registran precipitaciones durante ocho meses continuados; este hecho contribuye a la aridez de la zona.

Un hecho interesante, desde la perspectiva del cambio climático, lo constituye el registro histórico de los datos de precipitación anual mostrados por la estación de La Serena (Aeropuerto La Florida). Esta estación muestra, según la tendencia de la media móvil de 30 años, un significativo retroceso en el registro pluviométrico del último siglo (Fig. 2.8). Sin embargo, haciendo un análisis más fino con otro tipo de filtros estadísticos, se concluye que dicho retroceso se registra fundamentalmente durante la primera mitad del siglo pasado; pero en el período 1950-2000 no se observa una tendencia de decrecimiento en las precipitaciones para la estación de La Serena (Carrasco et al. 2006). Un análisis de la variabilidad interdecadal de las precipitaciones se encuentra en el trabajo de Quintana (2004).

Rocío. En estudios recientes se ha podido constatar que el rocío asciende a 5-10 mm anuales en la parte media de la cuenca del Río Elqui (Kalthoff et al. 2006). Además, al contrario de lo que sucede con las precipitaciones, el rocío se caracteriza por su baja variabilidad interanual y por su presencia durante gran parte del año. Comparado con la precipitación anual media registrada en el Valle del Elqui, el rocío contribuye con aproximadamente 5-10% del agua disponible en años normales, pero corresponde al mismo orden de magnitud que la precipitación en años secos. La humedad atmosférica necesaria para que se produzca la deposición de rocío nocturno

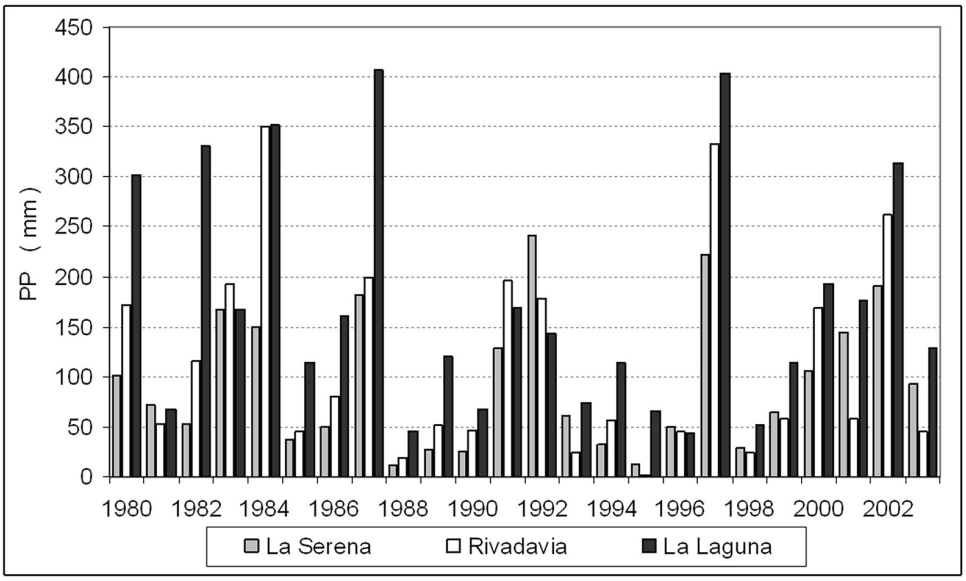


Fig. 2.6. Registro de las precipitaciones anuales en las estaciones de La Serena, Rivadavia y La Laguna desde 1980 hasta 2003.

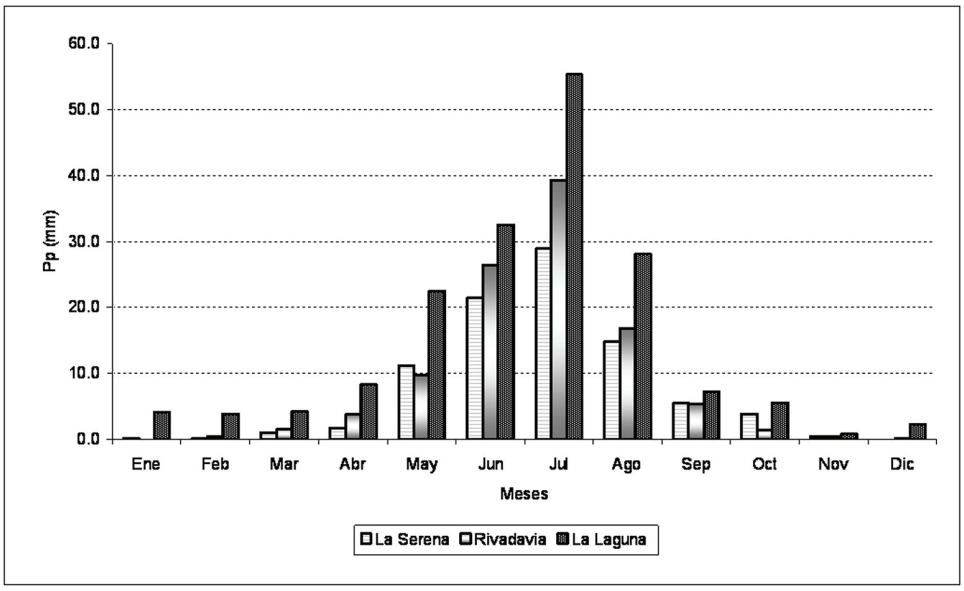


Fig. 2.7. Promedio de las precipitaciones mensuales en las estaciones de La Serena, Vicuña, Pisco Elqui, La Ortiga y La Laguna, desde 1980 a 2003.

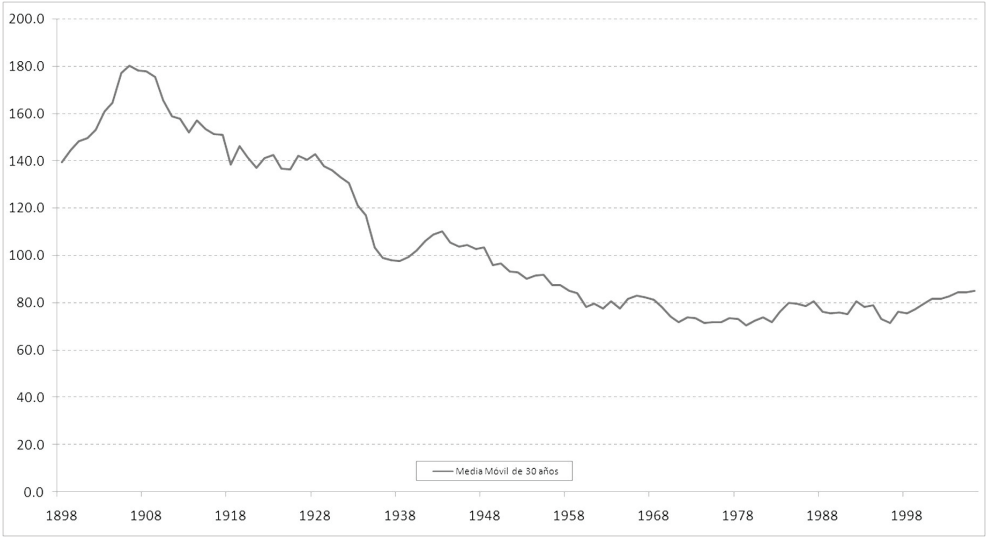


Fig. 2.8. Media móvil de 30 años de las precipitaciones registradas en La Serena (Aeropuerto La Florida). Período 1869 a 2003 (Fuente: Dirección Meteorológica de Chile).

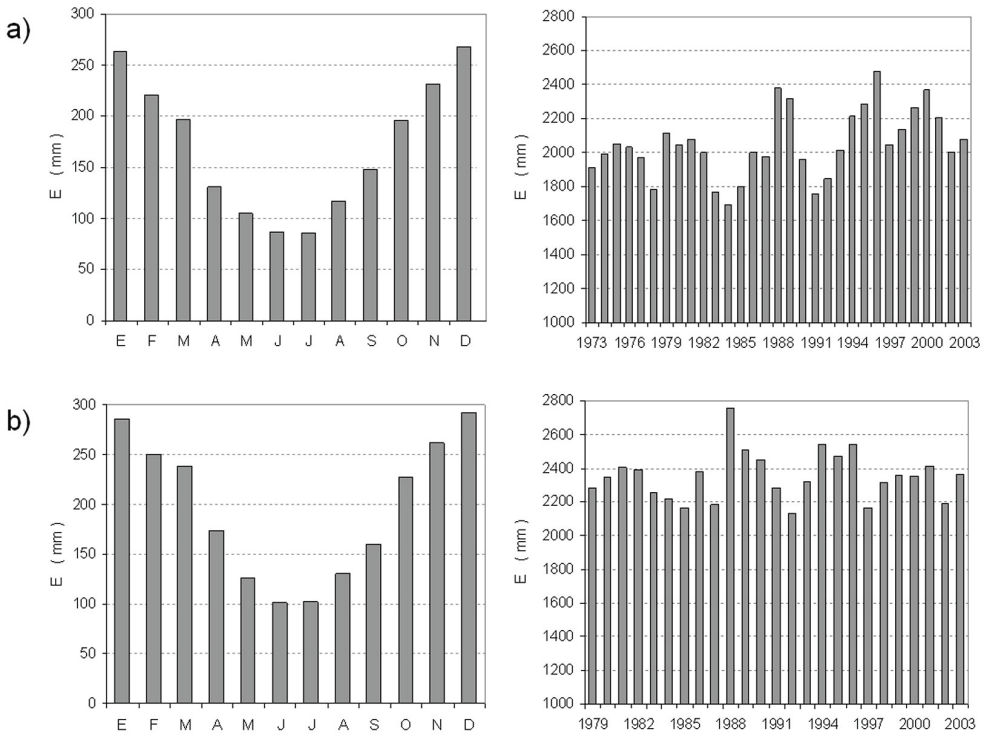


Fig. 2.9. a) Evaporación potencial mensual promedio (figura izquierda) y anual promedio (figura derecha) en Rivadavia durante el período 1973-2003; b) Evaporación potencial mensual promedio (izquierda) y anual promedio (derecha) en La Ortiga durante el período 1973-2003 (Fuente: Dirección General de Aguas, Chile).

proviene del transporte de aire marino húmedo desde la costa hacia el interior del Valle del Elqui (Kalthoff et al. 2006). Gracias a su persistencia interanual, el rocío es una fuente de agua mucho más confiable que la precipitación para la vegetación autóctona del secano.

2.3.3. Evaporación

De todas las estaciones existentes en la zona de estudio, solamente las de Rivadavia, La Ortiga y Vicuña-INIA cuentan con un registro histórico confiable de evaporación potencial (Chileriego 2006). En la Fig. 2.9a observamos que en Rivadavia, la evaporación potencial mensual mínima se registra durante los meses de junio y julio (86 mm) y la máxima, durante diciembre y enero (267,6 mm y 263,3 mm). Según la Fig. 2.9b, la evaporación potencial anual oscila desde aproximadamente 1.700 mm hasta 2.500 mm anuales en Rivadavia. La estación de La Ortiga presenta un comportamiento similar a Rivadavia, donde los meses de menor evaporación son junio y julio; los de mayor evaporación son, a su vez, diciembre y enero, siendo la evaporación registrada en La Ortiga ligeramente superior a la de Rivadavia. La evaporación anual en La Ortiga oscila entre los 1.925 mm y los 2.753 mm anuales (Fig. 2.9b).

Es interesante hacer notar que según estudios recientes, la evapotranspiración real difiere significativamente de la evaporación potencial. Efectivamente se ha constatado que en la parte media de la cuenca del Río Elqui, la evapotranspiración real asciende sólo a aproximadamente 60 mm anuales en sectores de secano y a 750 mm anuales (Kalthoff et al. 2006) en sectores con cultivos bajo riego (e.g., parronales).

2.4. Influencia del Puclaro sobre el clima del Valle de Elqui

A fines del año 1999 se terminó de construir el Embalse Puclaro, en el sector medio del Valle del Elqui. A fines del año 2002, el embalse alcanzó por primera vez su cota máxima. La instalación de un embalse en un medio ambiente árido conlleva un gran cambio de las propiedades de la superficie del suelo, lo cual influye en el balance de los componentes del balance de radiación y de energía, y, por ende, pueden influir en el clima local. El Embalse Puclaro tiene un ancho que varía entre 1 y 2 km y un largo aproximado de 7 km. Por lo tanto, se podría esperar que este importante cambio en

el uso del suelo del sector tenga alguna influencia sobre el clima local y regional. Para determinar el impacto climático generado por este lago artificial se desarrolló un estudio basado en la modelación matemática (Bischoff-Gauss et al. 2006). Las conclusiones de dicho trabajo son las siguientes:

- Tanto durante el verano como durante el invierno se produce una modificación en los sistemas de viento; pero ésta abarca tan sólo un área del entorno del embalse de 4 km en la dirección del viento.

- Durante las noches de verano, la influencia del embalse sobre los campos de viento es más pronunciada que durante las noches de invierno.

- La temperatura y la humedad sobre el lago formado por el embalse también difieren considerablemente de las de su entorno. Durante el verano, la extensión vertical del efecto del lago alcanza aproximadamente los 300 m sobre el nivel del suelo; durante el invierno esta influencia es menos pronunciada.

- La influencia del embalse sobre la temperatura del aire se extiende por 4 km en el entorno en la dirección del viento. Debido a los débiles vientos nocturnos, la influencia del embalse sobre los campos de temperatura se restringe sólo al área del lago durante la noche.

- Durante la noche, la evaporación del agua del lago del embalse es aún significativa. Como los vientos nocturnos son débiles, se acumula vapor de agua sobre el lago y la humedad relativa alcanza aproximadmente el 100%. Por lo tanto, se forma neblina sobre el lago. Durante las noches de invierno en que los vientos de montaña aumentan, se produce transporte de aire húmedo del lago viento abajo, en la dirección oeste, por aproximadamente 4 km.

De los resultados del estudio se desprende que el impacto climático del Embalse Puclaro es muy local y que se extiende por apenas 4 km en su entorno inmediato, particularmente en las direcciones oeste y este.

2.5. Conclusiones

En la parte media de la cuenca del Río Elqui se distinguen distintos regímenes de viento. En la zona cercana al suelo se distinguen los vientos diurnos del oeste inducidos por la brisa marina y los vientos de montaña del este durante la noche, si el valle tiene orientación oeste-este.

La temperatura presenta una anomalía, pues aumenta desde la costa hacia el interior del Valle de Elqui, hasta una altitud de 1.600 msnm. La variabilidad diaria de la temperatura es menor en la costa que en el sector medio del valle.

Durante el verano se registran en promedio 12 horas de sol, las que disminuyen a 10 horas durante el invierno. En el sector medio del Valle de Elqui, los valores promedio de radiación global máxima ascienden a 1.100 W/m^2 en verano y a 600 W/m^2 en invierno.

La humedad relativa disminuye desde la costa hacia el interior del valle. Sin embargo, durante las noches, aún en su sector medio, se registran porcentajes relativamente altos de humedad relativa.

Mientras que las escasas precipitaciones presentan una gran variabilidad interanual y se restringen sólo a los meses de invierno en el sector medio del Valle de Elqui, el rocío presenta una escasa variabilidad interanual y se registra durante todos los meses. Por lo tanto, el rocío constituye una importante fuente de agua para la vegetación nativa. La evaporación potencial y la evapotranspiración real difieren fuertemente en el Valle del Elqui. En sectores de secano, la evapotranspiración real anual representa el 65% de la precipitación anual promedio; en cambio, en áreas irrigadas y cultivadas con parronales, en el sector medio del valle, la evapotranspiración real representa el 750% de la precipitación anual promedio.

El Embalse Puclaro afecta el clima del Valle de Elqui sólo localmente. Dicho efecto se extiende por aproximadamente 4 km en la dirección del viento.

2.6. Agradecimientos

El financiamiento para la elaboración de este capítulo fue proporcionado por el Convenio Universidad de La Serena-Universidad de Regina (Canadá).

2.7. Referencias

BISCHOFF-GAUß I, N KALTHOFF & **M FIEBIG-WITTMAACK** (2006) The influence of a storage lake in the arid Elqui Valley in Chile on the local climate. Theoretical and Applied Climatology, DOI 10.1007/s00704-005-0190-8, 85, N.° 3-4: 227-241.

CARRASCO J, G CASASSA & **J QUINTANA** (2005) Changes of the 0 ºC isotherm and the equilibrium line altitude in central Chile during the last quarter of the 20th century. *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques* 50(6): 933-948.

DOWNING TE, F SANTIBÁÑEZ, H ROMERO, T PEÑA, RN GWYNNE, M IHL & **A RIVERA** (1994) Climate change and sustainable development in the Norte Chico. Chile: climate, water resources and agriculture. Environmental Change Unit, Univ. Oxford and School of Geography, Univ. Birmingham.

FIEBIG-WITTMAACK M., E. SCHULTZ, AM CÓRDOVA & C PIZARRO (2006) A microscopic and chemical study of airborne coarse particles with particular reference to sea salt in Chile at 30° S. *Atmospheric Environment* 40: 3467-3478.

ROMERO H, A ROVIRA & G VÉLIZ (1988) Geografía IV Región de Coquimbo. Colección Geográfica de Chile. Instituto Geográfico Militar.

KALTHOFF N, I BISCHOFF-GAUß, M FIEBIG-WITTMAACK, F FIEDLER, J THÜRAUF, E NOVOA, C PIZARRO, R CASTILLO, L GALLARDO, R RONDANELLI & **M KOHLER** (2002) Mesoscale wind regimes in Chile at 30º S. Journal of Applied Meteorology 41: 953-970

KALTHOFF N, M FIEBIG-WITTMAACK, C. MEIßNER, M KOHLER, M URIARTE, I. BISCHOFF-GAUß & E. GONZALEZ (2006) The energy balance, evapo-transpiration and nocturnal dew deposition of an arid valley in the Andes. Journal of Arid Environments 65: 420-443.

MILLER A (1976) The climate of Chile. Climates of Central and South America, W. Schwerdtfeger (Ed), World Survey of Climatology, Vol. 12. Elsevier Scientific, 113-145.

PÉREZ C (2005) Cambio climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de casos en el Valle de Elqui. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil Ambiental de la Universidad de La Serena. Facultad de Ingeniería. Universidad de La Serena. La Serena. Chile.

QUINTANA JM (2004) Estudio de los factores que explican la variabilidad de la precipitación en Chile en escala de tiempo interdecadal. Tesis para optar al Grado de Magister en Ciencias con mención Geofísica. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

VEIT H (1996) Southern westerlies during the Holocene deduced from geomorphological and pedological studies in the Norte Chico, Northern Chile (27-33º S). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 123: 107-119

WEISCHET W (1996) Regionale klimatologie, Teil 1, Die Neue Welt, Amerika Neuseeland Australien (Regional Climatology, Part 1. The New World, America-New Zealand-Australia). B.G. Teubner.

INTERNET

CHILERIEGO (2006) Evaporación potencial en el Valle del Río Elqui. (Consulta: 3 de marzo del 2006). Disponible en: www.chileriego.cl/hidraulica.unalmed.edu.co/PARH/Materias/hidrologia/mariav/Docs/09_evaporacion.pdf.

2.8. Anexos

Anexo Tabla 2.1. Parámetros medidos y características de las estaciones meteoro-lógicas instaladas en la cuenca del Río Elqui.

Nombre estación	Institución responsable	Fecha ee instalación	Estado actual	Coordenadas		Altitud msnm	Parámetros Medidos
				UTM Norte	UTM Este		
[A]La Serena (Escuela Agrícola)	CAMPEX	1869	Término funcionamiento Aprox.: 1948	6.689.520	282.204	14	Precipitación
[B]Aeropuerto de La Florida en La Serena	DMC	1945	Funcionando	6.688.330	287.560	145	Temperatura Humedad relativa. Velocidad y dirección del viento. Radiación ET PAR T. Suelo Precipitación
[C]Vicuña	INIA	1945 1960	Funcionando	6.676.272	336.792	650	Precipitación. Velocidad y dirección del viento. Temperatura, evaporación p.
[D] Rivadavia	DGA	Ene-1937 Ago-1958 Oct-1976 Jul-1976	Funcionando	6.682.999	349.571	850	Precipitación Velocidad del viento Temperatura Evaporación
[E] Almendral	DGA	Sept-1958	Funcionando	6.681.809	316.517	430	Precipitación
[F]Monte Grande	DGA	Ene-1958	Funcionando	6.670.207	356.050	1.115	Precipitación
[G]La Laguna	DGA	Ene-1964 Ene-1964 Ene-1974	Funcionando	6.658.664	399.930	3.100	Precipitación Nieve Temperatura
[H]La Serena (Escuela Agrícola)	DGA	1971	Funcionando	6.690.120	282.737	15	Precipitación
[I]Pisco Elqui	DMC	1977	Funcionando	6.667.310	357.889	1.300	Precipitación
[J]La Ortiga	DGA	Feb-1979 Ene-1979 Ene-1981	Funcionando	6.657.355	356.759	1.560	Temperatura Precipitación Velocidad del viento
[K]El Indio	CMEI	1981	Funcionando	6.707.618	405.935	3.869	Nieve. Temperatura. Velocidad viento.
[L]Cochiguaz	DGA	Abr-1989	Funcionando	6.664.968	364.824	1.560	Precipitación
[M]Huanta	DGA	Abr-1989	Funcionando	6.697.800	365.974	1.240	Precipitación

Anexo Tabla 2.1. Continuación

[N]Juntas del Toro	DGA	1989 1989 1989 1989	Funcionando	6.683.648	394.637	2.155	Temperatura Precipitación. Evaporación. Velocidad del viento.
[O]Cerro Tololo	DMC	Nov. 1995	Funcionando	6.661.393	326.332	2.028	Temperatura Humedad Velocidad del viento Dirección del viento Radiación (Upward and downward shortwave) RadiaciónTotal (upward and downward) Presión Aire
[P]Pelicana	CIALS	1999	Término funcionamiento 2003	6.682.542	302.672	280	Temperatura Humedad Velocidad y dirección del viento. Radiación onda corta (upward, downward) RadiaciónTotal (upward and downward) Temperatura superficial Flujo de calor en el suelo Presión.
[Q]Arrayán	CIALS	1999	Término funcionamiento 2003	6.675.740	307.896	340	Velocidad del viento Dirección del viento Temperatura Humedad
[R] San Carlos	CIALS	1999	Término funcionamiento 2003	6.669.862	327.584	630	Temperatura Humedad Velocidad y dirección del viento. Radiación onda corta (upward, downward) RadiaciónTotal (upward and downward) Temperatura superficial Flujo de calor en el suelo Presión.

Anexo Tabla 2.1. Continuación

[S]**Puclaro**	CIALS	1999	Término funcionamiento 2003	6.680.195	320.199	445	Velocidad del viento. Dirección del viento
[T]**Rumpa**	CEAZA	Ene-2004	Funcionando	6.682.116	299.523	198	Temperatura Humedad relativa. Velocidad y dirección del viento. Radiación ET PAR T. Suelo Precipitación
[U]**Tara**	CEAZA	Ene-2004	Término funcionamiento Dic-2004	6.686.994	311.701	300	Temperatura Humedad relativa. Velocidad y dirección del viento. Radiación ET PAR T. Suelo Precipitación
[V]**Pingo**	CEAZA	Ene-2004	Funcionando	6.667246	356.623	1.212	Temperatura Humedad relativa. Velocidad y dirección del viento. Radiación ET PAR T. Suelo Precipitación
[W]**Puya**	CEAZA	Ene-2004	Funcionando	6.674.515	355.973	500	Temperatura Humedad relativa. Velocidad y dirección del viento. Radiación ET PAR T. Suelo Precipitación Humedad de Hoja

Anexo Tabla 2.1. Continuación

[x]Copao□□	CEAZA	Ene-2004	Funcionando	6.676.272	336.792	638	Temperatura Humedad relativa. Velocidad y dirección del viento. Radiación ET PAR T. Suelo Precipitación
[Y]Pacul□□	CEAZA	Ene-2004	Funcionando	6.693.258	353.467	1.600	Temperatura Humedad relativa. Velocidad y dirección del viento. Radiación ET PAR T. Suelo Precipitación

□ Estaciones automatizadas en las cuales se captura la información cada 10 a 15 minutos y es almacenada en *dataloggers*.

□□Estas estaciones proporcionan la información en línea a través de la página http://www.ceaza.cl/Ceaza-Met, donde la información se actualiza cada 30 minutos; de esta manera, la información está disponible para los agricultores, servicios públicos e investigadores interesados. Estas estaciones no poseen *datalogger*.

Nota: Al principio del nombre de la estación se señala con letra voladita la ubicación que ésta ocupa en la Fig. 3.2.