

Comportamiento de las horas-frío, grados-día, heladas y precipitaciones en los agroecosistemas de la Región del Maule durante los eventos El Niño 1997 y La Niña 1998-1999.

Behavior of the cold-hours, degree-days, frosts and precipitations in the Region del Maule's agroecosystems during the events El Niño 1997 y La Niña 1998-1999.

PATRICIO GONZÁLEZ COLVILLE M. Sc.

Facultad de Ciencias Agrarias Centro de Investigación y
Transferencia en Riego y Agroclimatología.
Universidad de Talca, Casilla 721, Región del Maule.
pgonzalez@pehuenche.otalca.cl

RESUMEN

Se analiza el comportamiento de las horas-frío, grados-día, heladas y precipitaciones en los agroecosistemas de la Región del Maule (35° latitud sur), de los años 1997 (El Niño), 1998 y 1999 (La Niña). Se incluye un estudio con las tendencias a largo plazo (1960-1999), para las tres variables térmicas mencionadas. Los resultados indican que tanto el fenómeno de El Niño, como La Niña, provocan anomalías en las horas-frío, heladas y precipitaciones durante el período invernal. Se concluye expresando que la actividad frutícola regional posee una alta vulnerabilidad frente al riesgo de ocurrencia tanto del evento El Niño como La Niña. Se comprueba, además, una tendencia de largo plazo en las variables térmicas, cuya característica fundamental es ser más fría que el promedio, desde 1960 a 1976. A partir de 1977 y hasta 1999 se invierte hacia un registro más cálido que la media climatológica.

ABSTRACT

The behavior of hour-cold, degree-day, frost and precipitation are analyzed for

agroecosystems of the Región del Maule, Chile (around 35° S) for 1997 (El Niño), 1998 and 1999 (La Niña) years. A study of the long-term trend (1960-1999) is included for the three variables mentioned above. Results indicate that El Niño, as well as La Niña cause anomalies on hour-cold, degree-day, annual precipitation and frost during the winter. The El Niño-La Niña effects are attenuated throughout the spring as revealed by the degree-days record. It is concluded that regional fruit activity is highly vulnerable to the El Niño-La Niña occurrence. Besides, a long-term behavior on the thermal variables is found, whose main characteristic is to be colder than the 1960-1976 average. From 1977 to 1999 this behavior changes to a warmer condition compared to the climatologic mean.

INTRODUCCIÓN

La Región del Maule se ubica a los 35° de latitud Sur, en un área de transición entre los climas áridos-semiáridos del norte y los lluviosos fríos del sur. Su clima mediterráneo le impone características de estacionalidad en sus precipitaciones anuales: seis meses de lluvia (abril-septiembre),

Palabras claves: Horas-frío, heladas, sequías, agroecosistemas, vulnerabilidad, El Niño.

Key words: Cold-hours, frosts, droughts, agroecosystem, vulnerability, El Niño.

seguido de seis meses con escasa o nula presencia de ella (octubre-marzo). Lo anterior, al ser controlado por mecanismos derivados de la circulación atmosférica, tales como el Anticiclón del Pacífico, las altas presiones frías antárticas y los sistemas frontales, ha expuesto a la Región del Maule a sufrir recurrentes períodos de sequías, excesos de precipitaciones y heladas en su historia climatológica, cuyos registros más antiguos se remontan al año 1869 (González, 1994).

A partir de la década de 1970, los modelos climáticos empiezan a asociar la probabilidad de ocurrencia de las anomalías pluviométricas positivas con la presencia del evento cálido El Niño-Oscilación del Sur (Wyrki, 1975) y, posteriormente, las sequías más intensas con el fenómeno inverso relacionado con el enfriamiento relativo de la temperatura superficial del mar, en el océano Pacífico ecuatorial, denominado La Niña.

Ambos eventos son perturbadores de la regulación estacional que la circulación atmosférica sur hace de las precipitaciones. El Niño-Oscilación del Sur tiende a intensificar su volumen en sentido temporal y espacial; en cambio, durante el evento frío de La Niña, la probabilidad es a reducir las en cantidad, generando déficit otoño-invernal. En ambos casos el resultado es una alteración en los ciclos agrícolas, los cuales están sujetos a cumplir etapas en las distintas estaciones del año (González, 1992).

La Región del Maule concentra el 6,3% de la población nacional; el 15,1% de las hectáreas de frutales y el 36,4% de las hectáreas de viñas. De 21.150 hectáreas de manzanas plantadas en la región, el 49,3% se concentran en Curicó; el 16% en Talca; un 23,6% en Linares y el 11,1% se ubica en Cauquenes. En viñas y parronales viníferos, de un total de 29.554 hectáreas, Curicó concentra el 35,2%; Talca el 20,4%; Linares el 28,6% y Cauquenes un 15,8% (INE, 1997). Toda la producción anterior está dirigida a los mercados de exportación.

MARCO TEÓRICO

En la relación clima-agricultura sobresalen dos conceptos: el de riesgo natural y vulnerabilidad. Se conceptualiza el riesgo natural como aquellos acontecimientos ambientales que exceden la capacidad normal de ajuste de las sociedades humanas. Lo anterior se traduce en una alteración sustantiva en la vinculación permanente que mantiene el hombre con su entorno biofísico y que, casi necesariamente, se asocia a la idea de daño (Smith & Tobin, 1979; Ward, 1978; Burton & Kates, 1972). Se ha definido también como la probabilidad de ocurrencia de un daño potencial, en un área determinada y en un período específico de tiempo (Romero, 1986).

La vulnerabilidad de una sociedad, frente al medio físico, se debe a la falta de condiciones de seguridad; es decir, la carencia de medios adecuados para las exigencias del sistema natural. Los fenómenos naturales son manifestaciones del proceso de funcionamiento y cambio de la naturaleza, no son acontecimientos aislados e imprevisibles. Forman conjuntos y presentan cierta regularidad; algunos de ellos, como los climáticos, por su carácter, fuerza, violencia, magnitud, intensidad y duración constituyen una amenaza para el hombre y su medio ambiente artificial. El nivel de riesgo de desastre de una región está dado por el tipo de fenómenos naturales peligrosos a que está expuesta y por el grado de vulnerabilidad que presenta (Romero, 1986).

La presente investigación analiza los efectos que los eventos El Niño/La Niña registraron, en el período 1997-1999, sobre aquellas variables meteorológicas que más incidencia tienen en la producción agrícola anual: precipitaciones, grados-día, horas-frío y heladas.

Es importante destacar que el nivel de impacto real que los eventos El Niño/La Niña tienen sobre las variables meteorológicas mencionadas dependen del ambiente climático local que existe en el momento de iniciarse alguno de ellos; incluso si dos eventos tuvieran las mismas características de intensidad, sus

consecuencias podrían variar ampliamente de un lugar a otro. Asimismo podrían variar en la misma ubicación en diferentes momentos, dependiendo de una serie de factores sociales como también ambientales, en las fechas en que se produzcan (Glantz, 1996).

En este contexto la actividad agrícola regional ha demostrado, históricamente, un riesgo y vulnerabilidad interanual frente a la presencia de sequías o lluvias intensas; lo anterior no sólo se debe a la sensibilidad que presentan los frutales y cultivos frente a las anomalías climáticas sino que, además, los daños derivados de la presencia de los eventos El Niño/La Niña suelen verse agravados por condiciones regionales propias, tales como imprevisión frente al potencial riesgo climático, el uso de espacios físicos vulnerables o por la presencia de una topografía la cual, al interceptar alguna de las variables climáticas, puede atenuar o amplificar su impacto.

En Chile, las investigaciones se han centrado, mayoritariamente, en buscar la relación entre El Niño-La Niña y la pluviometría regional o nacional (Garrido, 1985; Rutilant & Fuenzalida, 1988; Aceituno, 1990). Sin embargo, la actividad frutícola depende, además de las precipitaciones, de variables térmicas específicas, las cuales cumplen un rol importante en su desarrollo y crecimiento. Los grados-día, horas-frío y heladas condicionan la calidad de la fruta para competir en los exigentes mercados externos. Si el cumplimiento de las horas-frío invernales es la primera etapa que decide la producción agrícola de la temporada, la segunda está determinada por la ocurrencia de heladas tardías (Santibáñez, 1987).

MATERIALES Y MÉTODOS

La Tabla I muestra las estaciones meteorológicas utilizadas en esta investigación. De la misma manera su ubicación geográfica en los cuatro agroecosistemas en que se ha dividido a la Región del Maule, se presenta en la figura 1: secano costero, secano interior

(agricultura de subsistencia regada sólo por lluvias), valle central (agricultura de riego) y cordillera andina (reservorio de nieves y embalses artificiales).

El análisis de las variables térmicas se centrará en las estaciones de Curicó, Talca, Linares y Cauquenes por ser las más representativas de los distritos agroclimáticos de potencial frutícola en la región.

PRECIPITACIONES

Las precipitaciones se analizaron, en primer término, desde la perspectiva de los totales mensuales por agroecosistemas, comparándolas con las normales (período 1961-1990) y entre los años que se estudian, con la finalidad de establecer cuál de las áreas agrícolas tuvo un comportamiento más vulnerable a los eventos El Niño/La Niña.

Un segundo análisis contabilizó los días de lluvia para cada uno de los años ($>0,1$ mm). Lo anterior persigue establecer, por medio de la comparación gráfica, los comportamientos de esta variable durante un Fenómeno El Niño y La Niña, buscando determinar sus aumentos o descensos. El objetivo es esclarecer, con ello, la influencia de estos eventos para facilitar o entorpecer los mecanismos productores de las precipitaciones. De la misma manera, cuantificar los comportamientos de los agroecosistemas frente a cada uno de los fenómenos extremos.

Se incluye un análisis del índice de Oscilación del Sur (IOS), definido como las diferencias barométricas mensuales entre las estaciones meteorológicas de Tahití (Polinesia Francesa) y Darwin (Australia). Las diferencias se presentan en anomalías estandarizadas, definidas como el valor real menos el promedio (1951-2000) dividido por la desviación estándar de la muestra. Este indicador barométrico se relacionará con las precipitaciones del valle central, para los años 1997-1998.

Tabla I. Ubicación espacial estaciones meteorológicas región del Maule.
Table I. Space location of the meteorological season in the Maule region.

AGROECOSISTEMA	LATITUD SUR	LONGITUD WESTE	ALTURA m.s.n.m.	VARIABLE CLIMÁTICA
SECANO COSTERO				
Gualleco	35° 14' 37"	71° 58' 48"	114	Pluviometría
Constitución	35° 19' 17"	72° 24' 19"	10	Pluviometría
Nirivilo	35° 32' 18"	72° 05' 29"	80	Pluviometría
Huerta de Maule	35° 39' 30"	71° 56' 24"	218	Pluviometría
SECANO INTERIOR				
La Palma	34° 56' 36"	71° 37' 26"	115	Pluviometría
Villa Prat	35° 05' 26"	71° 36' 43"	88	Pluviometría
Pencahue	35° 22' 19"	71° 49' 57"	110	Pluviometría
Melozal	35° 46' 16"	71° 46' 53"	200	Pluviometría
Cauquenes	35° 53' 47"	72° 22' 24"	400	PP/GD/HF
VALLE CENTRAL				
Curicó	34° 58' 52"	71° 14' 10"	215	PP/GD/HF/HEL
Lontué	35° 02' 23"	71° 17' 15"	215	Pluviometría
El Guindo-Camarico	35° 22' 19"	71° 49' 58"	170	Pluviometría
Talca	35° 23' 13"	71° 38' 40"	111	PP/GD/HFHEL
San Javier	35° 35' 42"	71° 39' 26"	115	Pluviometría
Linares	35° 50' 15"	71° 35' 43"	146	PP/GD/HF/HEL
Liguay	35° 56' 36"	71° 41' 14"	145	Pluviometría
Embalse Ancoa	35° 55' 05"	71° 17' 06"	430	Pluviometría
Quella	36° 03' 26"	72° 05' 21"	130	Pluviometría
Longaví	36° 06' 32"	72° 22' 39"	228	Pluviometría
Parral	36° 11' 38"	71° 49' 42"	170	Pluviometría
San Manuel	36° 21' 14"	71° 38' 49"	270	Pluviometría
PRECORDILLERA				
Santa Susana	34° 54' 29"	71° 02' 21"	420	Pluviometría
El Manzano	34° 57' 32"	70° 54' 57"	595	Pluviometría
Los Queñes	34° 59' 46"	70° 48' 37"	723	Pluviometría
Potrero Grande	35° 10' 38"	71° 05' 56"	450	Pluviometría
Huapi	35° 29' 28"	71° 19' 07"	300	Pluviometría
Vilches Alto	35° 35' 21"	71° 05' 12"	1.039	Pluviometría
Maule Sur	35° 37' 25"	71° 24' 08"	226	Pluviometría
Colorado	35° 38' 14"	71° 15' 26"	470	Pluviometría
Hornillo	35° 41' 49"	71° 06' 52"	812	Pluviometría
Armerillo	35° 42' 01"	71° 04' 38"	540	Pluviometría
Embalse Digua	36° 15' 11"	71° 32' 48"	300	Pluviometría
Embalse Bullileo	36° 17' 06"	71° 24' 51"	600	Pluviometría

PP/HF/GD/HEL = Precipitaciones, Horas-frío, Grados-día y Heladas.

Cuando el IOS es negativo en Tahití, se está en la fase cálida El Niño; cuando cambia a la fase positiva se está en presencia del evento frío La Niña (García, 2000). Las cuencas orientales y occidentales del océano Pacífico actúan con signos

barométricos opuestos, en un semiciclo que se retroalimenta provocando, también, los movimientos de masas de agua cálida y/o fría, en la estructura térmica del Pacífico ecuatorial, denominada bipolaridad (NOAA, 2003).

La relación entre el océano y la atmósfera se presenta en un modelo de regresión entre la temperatura superficial del mar (TSM), en el área Niño 3.4 y el IOS. En este caso, la variable dependiente es el IOS y la independiente la TSM; por el hecho que la presión atmosférica cumple un rol importante en las rutas de los sistemas frontales hacia Chile central, la presencia de anomalías térmicas positivas/negativas, debieran constituirse en elementos perturbadores de las precipitaciones en el área de estudio.

GRADOS-DÍA (BASE 10 °C)

Los grados-día se calcularon promediando la temperatura diaria (registro de las 08.00 horas + 20.00 horas + T° máxima + T° mínima, dividido por cuatro). Al resultado se le restan 10 °C que es la temperatura base del crecimiento y desarrollo de las fases fenológicas para la mayoría de los cultivos, pues se parte de la premisa que toda temperatura superior a este umbral térmico es asimilada como calor por el cultivo o árbol frutal. El residuo diario se suma mensualmente obteniéndose, para cada año, la sumatoria que incluye los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, período denominado de desarrollo y producción de cultivos o período fértil.

Este concepto térmico parte de la base que el crecimiento de una planta es dependiente de la cantidad total de calor a la cual estuvo expuesta durante sus fases fenológicas; el tiempo entre cada fase es inversamente proporcional a la temperatura (Monteith, 1990). Se asume que la relación entre crecimiento y temperatura es lineal.

HORAS-FRÍO (BASE 7 °C)

Las horas de frío se obtuvieron contabilizando el número de horas en que la temperatura es igual o inferior a 7 °C (OMM, 1990). Para lo anterior, se utiliza el diagrama semanal del termógrafo. Este concepto asume que en los climas templados es nece-

sario que se acumulen mensualmente determinadas cantidades de horas-frío para iniciar o acelerar la floración de los árboles frutales de hoja caduca (Elías y Caltellvi, 1996). Esto permite al árbol permanecer en endodormancia, es decir en un estado de semilataencia invernal (desde mayo a agosto). Esta acción lo protege de las heladas rigurosas al favorecer el desprendimiento de sus órganos sensibles (Lana, *et al.*, 1987). Además la óptima acumulación de frío favorece los cambios fisiológicos responsables de la floración y fructificación en la primavera.

Cuando los inviernos son lo suficientemente fríos, las yemas quedan vernalizadas y en espera de los primeros calores primaverales para reiniciar la brotación y producir frutos de calidad. Al ocurrir lo contrario, inviernos templados, no se completan los requerimientos necesarios de frío que el árbol requiere. En este caso la brotación y la floración se producen bajo condiciones forzadas por las temperaturas cálidas de primavera. Como consecuencia de lo anterior se provoca un estrés fisiológico que repercutirá en daños a los frutales, tales como: retraso en la apertura de yemas y consecuentemente en la maduración de los frutos, caída de yemas, floración irregular y anormalmente larga, aborto de flores y frutos, cuaja reducida, aborto de estilos, alteraciones del polen, flores pequeñas y deformadas (Melgarejo, 1996).

HELADAS

Se define una helada cuando la temperatura mínima diaria indicaba un valor de 0 °C o inferior, medido en cobertizo a 1,50 metros del suelo (O.M.M., 1990).

Cuando se produce una helada el efecto en la planta es en el ámbito celular; se congela el agua intercelular provocando, entre otros daños, su deshidratación (plasmólisis) o la ruptura de la célula. El hielo puede ocasionar heridas en la planta por las cuales suelen ingresar agentes patógenos (Vaysse & Jourdain, 1992). Se pueden también destruir

las yemas y las flores, impidiendo que se transformen en frutos. En el caso de una helada tardía (primavera), se dañan los frutos en formación y los que sobreviven resultan con malformaciones (Rosemberg, 1983). El período con heladas se extiende, en la Región del Maule, desde abril a octubre.

Las cuatro variables establecidas tienen profunda incidencia en la producción final de la fruta, cuya calidad posee un valor económico importante para el exportador. Por lo anterior esta investigación apunta a estudiar las posibles variaciones termopluviométricas que la Región del Maule presentaría frente a un evento El Niño o La Niña. Los resultados se representan en gráficos para las estaciones de Curicó, Talca y Linares. Para el análisis de las tendencias de largo plazo, (período 1960-2000), se escogió la estación meteorológica de Curicó, con el objetivo de comprobar los comportamientos que estaría indicando un área de importante actividad frutícola.

RESULTADOS

COMPORTAMIENTO PLUVIOMÉTRICO

La figura 2 indica el perfil este-oeste de las precipitaciones anuales en la Región del Maule. Para el secano costero, interior y valle central, los valores promedios indican 780,5; 718,8 y 778,9 mm, respectivamente. En cambio las estaciones ubicadas en la cordillera andina poseen registros de 1.697,7 mm, lo cual significa un 118% de incremento. La estación meteorológica de Péncahue posee los menores montos con sólo 621,6 mm; Armerillo, en cambio, se alza como la de mayores lluvias de la región, con 2.329,9 mm.

En la figura 3 se indican los porcentajes de superávit y déficit ocurridos en los años 1997 (El Niño) y 1998-1999 (La Niña), en los cuatro agroecosistemas. El Niño de 1997, catalogado como uno de los más intensos del siglo XX (NOAA, 1998), no se caracterizó por alterar los montos anuales de lluvias de la forma como lo hicieron anteriores eventos (1972, 1982 y 1986). Prueba de ello es que los supe-

rávits fueron de 28,9, 36,2, 25,6 y 47,6% en el secano costero, interior, valle central y cordillera andina, respectivamente. En los años antes mencionados el evento El Niño provocó, en la Región del Maule, superávit en torno al 50%.

Los únicos meses que excedieron sus valores normales fueron abril, junio, septiembre y octubre, en el caso del valle central. Esto indica no sólo una tendencia a concentrar los mayores volúmenes de precipitaciones en un mes, en este caso junio con 339,3 mm para una normal de 182,7 mm, sino que además su extensión hacia la primavera, con los riesgos que esto significa para la agricultura.

El evento La Niña 1998 creó las condiciones que generaron la sequía más intensa del siglo XX. Los déficits, por agroecosistema, fueron del 59,6% en el secano costero; un 66,1% para el secano interior. El valle central indicó un 66,9% y la cordillera el 67,1% de déficit (Fig. 3).

Comparando la sequía de 1998 con la ocurrida en 1968, los datos indican que tanto en las áreas de secano, valle central como cordillera andina, este último año acumuló sólo un 55% de déficit comparado con 64% registrado en 1998. Lo anterior queda reflejado en las acumulaciones mensuales indicadas en las figuras 4, 5 y 6; en ellas se aprecia que en 1968 la región tuvo una recuperación pluviométrica hacia la primavera, cosa que no ocurrió en 1998.

Lo extremo de esta última sequía quedó reflejado con lo sucedido en el secano interior, área regada sólo por el aporte pluviométrico; en el mes de julio se midieron 9,2 mm para una normal de 149,3 mm. Igual situación se observó en el valle central, con un déficit para el mes del 93,3%; en Curicó y Talca los registros de julio indicaron 0,0 y 3,1 mm, respectivamente, lo cual difiere de sus normales que alcanzan a 148 y 136,2 mm.

La cordillera andina también indicó esta anomalía negativa de julio. En promedio las estaciones midieron 33,6 mm lo cual significó un déficit del 90%. En la localidad de

Armerillo, la de mayor lluvia regional, se registró un déficit del 91% durante este mes.

Complementando el análisis anterior, la figura 7 presenta el número de días con lluvias anuales para 1997, 1998 y 1999. La sequía provocó un descenso notorio que, en el caso del secano costero, alcanzó a un 44,7% menos de días con precipitaciones; para el secano interior la disminución fue del 32,8%. En el valle central el monto fue del 44,3% y en la cordillera andina, la cifra registró un 43%. Cabe hacer presente que durante la sequía de 1998 los días con lluvias fueron, en promedio, un 19% menos que los de 1968.

Por su parte el evento El Niño de 1997 indicó un número mayor que lo normal en sus días de lluvias anuales, lo cual fue generalizado para los restantes agroecosistemas (Fig. 7). En el secano costero el incremento fue del 21,3%; para el secano interior 36,2%; en el valle central 27,9% y en la cordillera de un 25,7%. Sin embargo, dichas cifras son inferiores a las de 1982, año en el cual se contabilizaron, en promedio, 16 días más de lluvia para el secano y valle central y 5 días más en la cordillera. De la misma manera el total de lluvias, promedio anual, en este último año fue de 1.615,3 mm contra 1.367,3 medidos en 1997, en la Región del Maule.

La figura 8 ilustra la relación entre el Índice de Oscilación del Sur y las precipitaciones mensuales para el valle central. Se observan dos fases: la primera se inicia en marzo de 1997 con un IOS en descenso, indicado por una anomalía estandarizada de $-1,1$; este declive culmina en los meses de marzo y abril de 1998 con valores de $-3,5$ y $-1,9$ respectivamente. Durante esta fase las precipitaciones registran superávit del 85,2% en abril, 85,7% en junio, 30,6% durante septiembre, 231,2% en octubre y 134,8% en noviembre. La segunda fase comienza en mayo de 1998 con una anomalía positiva de 0,1 en el IOS, se eleva a 1,3 en julio y acrecentándose a 1,4 en diciembre.

Las pluviometría registra, entonces, un déficit del 43,8% en mayo; 68,8% para junio;

93,3% durante julio; 63,8% en agosto; un 33,6% en septiembre; 100% para octubre y un 93,5% en noviembre.

COMPORTAMIENTO DE LAS HORAS-FRÍO

La figura 9 indica que el valle central cambió su integral de acumulación invernal de horas de frío entre los eventos El Niño 1997 y La Niña 1998. En el primer caso sólo se acumularon 798,3 HF; para la temporada siguiente aumentaron a 1.172,4 HF, con un incremento del 32%. Sin embargo, durante la sequía de 1968 las horas de frío sumaron 1.346,6, lo cual significa un 41% más que lo obtenido en 1997.

Por estaciones meteorológicas, el evento cálido El Niño de 1997 significó en Curicó un déficit del 42,2% respecto a la normal (1.261,7 HF). En el caso de Talca, el descenso fue del 22% bajo el promedio (1.029,7 HF); sin embargo, durante el evento La Niña de 1998 el superávit alcanzó al 24%.

En la cordillera andina, Armerillo indicó un importante déficit del 51% en horas de frío durante El Niño 1997 (normal 990,0 HF). En Linares la reducción en horas-frío fue del 34,6%, respecto a la normal (1.310,3 HF) y, finalmente, en Cauquenes, la cifra deficitaria fue del 37,4% (normal 879,0 HF).

TENDENCIAS DE LARGO PLAZO

Si bien es cierto que los eventos El Niño y La Niña tienden a modificar la integral anual de horas-frío, también es importante conocer qué tendencias estaría presentando en los últimos 40 años. En la figura 10, la estación de Curicó indica, en promedios móviles, las variaciones anuales que esta variable ha venido presentando desde 1960. Sobresalen claramente dos comportamientos distintos: antes y después de 1976. Es así como entre 1960 y 1976 la integral de horas-frío, en promedio, estaban un 12% por sobre la normal de 1.261,7 a partir de 1977 dicha acumulación descendió al 8,5% bajo el promedio.

Por su parte en la figura 11, en que se cuantifican los años con superávit y déficit en horas-frío, los años que indicaron superávit o déficit iguales o superiores al 20% fueron: 1962 (+20,6%); 1964 (+35,5%); 1967 (+21,1%); 1970 (+29,7%); 1972 (-21,8%); 1973 (+21,9%); 1975 (+21,2%); 1976 (+25,1%); 1982 (-41,8%); 1983 (+27,6%); 1985 (-28,6%); 1986 (-34,9%); 1988 (+22,2%); 1987 (-42,2%) y 1999 (-31,9%).

En términos globales, en Curicó, entre 1960 y 1976, se contabilizaron 13 años sobre el promedio y sólo 4 bajo él; desde 1977 al 2000 se revierte el esquema, en donde 17 años están bajo la normal y sólo 7 sobre ella. Lo cual indica una tendencia sostenida a la disminución de las horas-frío, desde mediados de los años 70.

La situación anterior se repite también en Talca. Durante el primer período la acumulación promedio fue del 12,7% sobre la normal de 1.029,7; a partir de 1977 dicho porcentaje desciende a un 9% bajo el promedio. Entre 1960 y 1977, hay 12 años que superan la normal y 5 bajo ella. Desde 1977 y hasta el 2000, sólo 9 superan el promedio y 15 son deficitarios.

En el caso de Linares y Cauquenes se repite el mismo esquema; 1976 aparece como el período de cambio desde una fase fría a otra más cálida.

COMPORTAMIENTO DE LOS GRADOS-DÍA.

La figura 12 indica que la mayor acumulación, en el valle central, fue durante la temporada agrícola 1998-1999 con 1.709,0 grados-día; le siguió el período 1999-2000 con 1.521,3 GDA y, finalmente, la temporada 1997-1998 con 1.411,5 grados-día.

TENDENCIA DE LARGO PLAZO

En la figura 13, los promedios móviles indican que en Curicó desde 1976 se produce un cambio en los patrones de acumulación de los grados-día. En este caso es inverso al

que caracterizaba a las horas-frío (Fig. 14). Entre 1960 y 1976 están, en promedio, un 7,7% bajo la normal de 1.351,5; en cambio, entre 1977 y 2000 se observa un superávit del 5,4%.

Lo anterior es lógico de esperar, por el hecho que ambas variables son excluyentes en su comportamiento anual y, como lo demuestra la figura 14, en la temporada 1976-1977 se produce el cambio de fase para ambas.

Las estaciones de Talca, Linares y Cauquenes presentan el mismo patrón de comportamiento. En promedio, durante la fase 1960-1976 el porcentaje es del 5% bajo la normal; desde 1977 al 2000 la cifra es de un 5,4% por sobre ella.

En la figura 15, se han resumido las variaciones porcentuales en la acumulación anual de grados-día para Curicó, área de importante desarrollo frutícola de exportación. Seleccionando sólo los años con variaciones porcentuales iguales o superiores al 10%; aquéllos que indicaron déficit fueron: 1963 (-13,2%); 1965 (-18,3%); 1966 (-15,6%); 1967 (-11,3%); 1970 (-10,2%); 1972 (-10%) y 1973 (-15,4%).

Por su parte, los años con superávit se registraron en: 1979 (10%); 1995 (10,2%); 1998 (22,4%); 1999 (10,5%) y 2000 (13,1%).

COMPORTAMIENTO DE LAS HELADAS

La figura 16 indica que en los tres años analizados las heladas presentaron algunas variaciones importantes. El período que acumuló mayor número de días bajo cero fue 1998, con un total de 23. Le sigue 1999 con 21 heladas durante el año y, finalmente, 1997 con 20. En un año normal, en el valle central debieran registrarse 25 heladas por temporada. De la misma manera, durante julio de 1999 se presentaron 13 heladas en el valle central, lo cual escapa al patrón de comportamiento normal de este fenómeno.

TENDENCIA DE LARGO PLAZO

La media móvil indicada en la figura 17 sigue el patrón detectado para el caso de los grados-día y horas-frío. Los años 1976-1977 se constituyen en el período de cambio entre las dos fases. Entre 1960 y 1976 Curicó, en promedio, presentaba 42 días con heladas; desde 1977 al 2000 descendió a 21 heladas por año. La tendencia indicada en la figura 17 es hacia una pérdida en heladas por año en Curicó, lo cual es un patrón que también manifiestan las restantes estaciones meteorológicas analizadas del valle central.

Consistente con lo anterior, los años que registraron 40 o más días con heladas fueron: 1962, 1964, 1967, 1968, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974 y 1976. En cambio, los mayores déficit se produjeron durante los años: 1978 (43%); 1980 (39,6%); 1981 (39,6%); 1982 (69,8%); 1985 (36,2%); 1986 (66,4%); 1989 (49,7%); 1990 (43%); 1992 (32,9%); 1997 (43%); 1998 (39,6%) y 2000 (46,3%).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El evento El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) se constituye en un elemento perturbador del clima mediterráneo de la Región del Maule; sus rasgos más sobresalientes son la estacionalidad de las lluvias, las cuales se distribuyen desde abril a septiembre, acompañadas de ciclos térmicos fríos y un período cálido y seco desde septiembre a marzo. Al momento que las condiciones en el océano Pacífico son alteradas por perturbaciones atmosféricas, esta estacionalidad registra variaciones. Siendo un fenómeno tropical, el ENOS se caracteriza por la interacción entre el océano tropical Pacífico y la atmósfera, lo cual perturba el patrón barométrico que constituye a las altas presiones subtropicales. Este fenómeno se constituye en la mayor fuente de variabilidad no sólo del clima tropical, sino que también de impactos meteorológicos importantes en las latitudes medias de América del Norte y Sur, las cuales se desplazan a gran distancia del foco ecuatorial por medio de las teleconexiones.

Los estudios teóricos y de modelización indican que las teleconexiones ocurren porque los cambios en el trópico afectan el patrón de ondas Rossby atmosféricas. Las ondas Rossby a gran escala determinan la posición de la corriente de chorro que, a su vez, guía los sistemas frontales de escala sinóptica en las latitudes medias. La actividad convectiva en el trópico es un importante mecanismo de forzamiento de ondas Rossby; por lo tanto, anomalías en la distribución de actividad convectiva pueden producir cambios en el patrón de las ondas (Horel & Wallace, 1981; Wallace & Gutzler, 1981).

La Región del Maule, ubicada a los 35° de Latitud Sur, en Chile central, está afectada por los cambios que tanto el evento cálido ENOS como La Niña, genera en los sistemas frontales y en la dinámica del anticiclón del Pacífico. Sin embargo, el efecto no sólo se restringe a la pluviometría, sino que además es térmico e, incluso, afecta al aporte de radiación global a los ecosistemas agrícolas, lo cual reduce las tasas de fotosíntesis (Antonioletti, *et al.*, 2001).

Desde la perspectiva pluviométrica los resultados indican que esta región no responde de manera temprana a las condiciones de variabilidad, tanto en el desarrollo de sucesos individuales como en la frecuencia e intensidad, respecto a El Niño y La Niña. Es así como el evento cálido de 1997 produjo anomalías positivas de lluvias solamente en junio, para luego desplazarse hacia la primavera (Fig. 18), con las consecuencias de daño a la producción frutícola, que durante esa estación está en plena floración.

En el caso de la sequía de 1998, se produjo una caída pluviométrica generalizada la cual, según las estadísticas, superaron el récord de déficit de 1924 y 1968, que se consideraban los más secos del siglo XX.

Por su parte, durante un año El Niño, normalmente son uno o dos meses los más lluviosos, lo cual ocurre en la fase de descenso del Índice de Oscilación del Sur, el cual logra sus

valores más negativos durante el verano del Hemisferio Sur. Su fase de ascenso coincide con déficit paulatinos de las lluvias invernales. En ambos casos los días de precipitación son afectados; aumentan en la fase primera y disminuyen en la segunda, lo cual prueba la influencia que ejerce este evento en las ondas Rossby y, por su intermedio, en la corriente en chorro, debilitando y desviando los sistemas frontales, hacia el extremo sur de Chile (Vargas, *et al.*, 2000).

El factor térmico presentó alteraciones en las estaciones del valle central y cordillera. Para el caso de las horas-frío, estos agroecosistemas tuvieron déficit promedios del 37% durante el evento El Niño 1997. Durante la sequía de 1998 estos valores se redujeron notablemente, siendo mayores en Curicó, Talca y Armerillo. En el caso de Talca, es la única que presentó superávit en horas-frío; este hecho indica que si bien las sequías están asociadas con ausencia de nubosidad frontal en el invierno, los mecanismos generadores de heladas radiactivas, potenciados por el ambiente frío de La Niña, no lograron superar el promedio normal de cada estación en particular, con excepción de Talca. Una posible explicación es el hecho que el fenómeno El Niño se inició en mayo de 1997 y culminó en mayo de 1998, con lo cual dejó a gran parte del otoño bajo su influencia. Recién en julio las temperaturas del mar en Niño 3.4 estaban en $-1,13$ °C bajo el promedio. Las especiales condiciones topográficas de Talca, a 90 metros sobre el nivel del mar y el efecto de biombo climático que ejerce la cordillera de la costa hacia el oeste, podrían haber contribuido a que las condiciones de continentalidad exacerbaban el enfriamiento radiactivo local, durante 1998.

La figura 19 indica la influencia que ejercieron ambos eventos en las temperaturas máximas primaverales de Curicó, en el valle central. La sequía de 1998 elevó sus valores sobre la normal, producto de los cielos despejados. En cambio las lluvias de 1997, con su mayor cantidad de días nublados, influyó en la interceptación de la radiación global, haciendo descender sus valores.

En lo que respecta a las tendencias de largo plazo, un hecho relevante que ha venido ocurriendo en la Región del Maule, en los últimos 40 años, es el hecho que 1976 se presenta como un año de quiebre entre dos tendencias térmicas representadas por la acumulación positiva en las horas-frío, seguida de un descenso a partir de 1977. Al interior de esta perspectiva de largo plazo, los eventos El Niño y La Niña representan períodos puntuales de superávit o déficit que tienden a romper estas tendencias de largo plazo. Ejemplo de lo anterior ocurrió en las sequías de 1964 y 1970 en que Curicó registró superávit del 35,5 y 29,7%, respectivamente, y los años 1982 y 1987 en que se midieron déficit del 41,8 y 42,2%, respectivamente. Una de las posibles causas de estos comportamientos de largo plazo, debieran buscarse en los mecanismos de cambio de la Oscilación Decadal del Océano Pacífico (ODP), en la cual se han podido detectar fases frías y fases cálidas de las cuales, en el siglo XX, se han completado dos ciclos: de 1890 a 1924 y de 1947 a 1976 en que prevalecieron fases negativas (frías), mientras que de 1925 a 1946 y de 1977 hasta fines de los noventa dominaron las fases positivas (cálidas) (Stolz, 2003).

La Oscilación Decadal del Pacífico sería el marco de fondo, desde el punto de vista oceanográfico y atmosférico, para otras oscilaciones de menor período, tal como El Niño. Las fases cálidas de la ODP están correlacionadas con el ENOS y, por el contrario, las fases frías, con La Niña.

Por su parte, el ENOS se compone de dos fases: las fases cálida y fría, conocidas como El Niño y La Niña, respectivamente. Ambos fenómenos tienen una duración mucho más corta que las fases de la ODP. La duración típica de las fases del ENOS oscila entre 1 y 2 años, mientras que las de la ODP son del orden de 20 a 30 años (Stolz, 2003).

El patrón temporal de las heladas estaría respondiendo a estas fases, lo cual explicaría que la década de los años sesenta haya indicado mayor número de heladas anuales respecto a lo ocurrido en los años ochenta y

noventa. Sin duda que el paso de una fase a otra presentaría beneficios relativos para los agroecosistemas regionales; en este caso puntual habría disminuido el riesgo de heladas, al presentarse la fase cálida de la ODP.

En el caso de los grados-día no se observa un patrón consistente que indique la influencia térmica de los eventos El Niño o La Niña. Si bien es cierto que en 1997, con excepción de Talca, las restantes estaciones registraron escasos superávit en grados-día, en la sequía de 1998-1999 los superávit son mayores, en términos generales, para las estaciones meteorológicas ubicadas en el valle central y secano interior. Esta discordancia se explicaría por el hecho que, tanto el evento cálido El Niño como el frío La Niña, tendrían mayor influencia durante el invierno, decayendo hacia la primavera, desde el punto de vista térmico.

En síntesis, los agroecosistemas de la Región del Maule estarían bajo la influencia climática de dos fenómenos. Uno de corto plazo, asociado a los eventos El Niño/La Niña que afectaría a las principales variables agrometeorológicas que contribuyen a la producción frutícola regional y otro, de largo plazo, como lo es la Oscilación Decadal del Pacífico, el cual se estaría sobreponiendo a las ocurrencias interanuales de los anteriores eventos.

Según los actuales modelos climáticos (Blatzer, *et al.*, 2003), las alteraciones climáticas más importantes en el continente americano, sucederían cuando la ODP y el ENOS están en fase. Es decir, cuando la fase cálida de la ODP coincide con el fenómeno El Niño y, la fase fría, coincide con el evento La Niña. En el año 2000 estaría sucediendo la segunda opción.

REFERENCIAS

- Antonioletti R., P. González & S. Ortega. 2001. Caractérisation des événements El Niño par des variables climatiques et leur impacts sur l'activité agricole au Chili Central. Ponencia presentada al XIVème

Colloque International de Climatologie. L'association Internationale de Climatologie et l'Unité de Climatologie du Département de Géographie Physique de l'Université de Seville. 12 al 15 de Septiembre 2001.

- Aceituno, P. 1990. Rainfall anomalies in the Subtropical West coast of South America. Part 1: Relationship with SST and convective activity over the Pacific. *Mont. Wea. Rev.* 30 (2) 25 -36.
- Blatzer, B. 2003. Climatological reports of TOPEX/Poseidon: ODP in Pacific Ocean. <http://topex-www.jpl.nasa.gov>
- Burton, I. R. Kates. 1972. The perception of natural hazard in resource management. Ward P. y R. Mayfield (eds). *Man, space and environment*. Oxford University Press. 80 pp.
- Capel, J. 1999. El Niño y el Sistema Climático Terrestre. Ariel Geografía. Barcelona, 154 pp.
- Elias, Francisco, & F. Castellvi. 1996. Agrometeorología. Edic. Mundi-Prensa y Minist. de Agricultura Pesca y Alimentación. España, 517 pp.
- Fernández, B. 1999. La Sequía desde un punto de vista hidrológico. En: Aldo Norero & Carlos Bonilla (eds.). *Las sequías en Chile: causas, consecuencias y mitigación*. Colección Agricultura, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, pp: 35-52.
- García Herrera R., & E. Hernández. 2000. El Niño: Climatología, Efectos y Predicción. Fundación MAPFRE. Universidad Complutense, Madrid. España.
- Garrido, A. 1985. Variaciones climáticas asociadas al Fenómeno El Niño en Chile. Período 1960-1985. Tesis de grado de licenciatura en Geografía. Dpto. de Geogra-

fía. Facultad de Arquitectura. Universidad de Chile, Santiago, 80 pp.

- Glantz, P. 1996. Corrientes de cambio: El impacto de El Niño sobre el clima y la sociedad. Cambridge University Press, Cambridge, 194 pp.
- González, P. 1992. Anomalías pluviométricas asociadas al Fenómeno El Niño-Oscilación del Sur en el área Copiapó-Ancud. Período 1956-1995. Tesis para optar al grado de Magister en Geografía. Dpto. de Geografía, Facultad de Arquitectura, Universidad de Chile, Santiago, 212 pp.
- González, P. 1994. Presencia de Talca en el desarrollo meteorológico nacional. Rev. Grupo Transf. Tecnológ. VII Región, 7 (43): 25-27.
- González, P. 1992. Patrones Barométricos asociados a la ocurrencia del evento El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) en el área Copiapó-Ancud (1956-1985). Ponencia al II Congreso Ciencias de la Tierra. Instituto Geográfico Militar, 35-46 pp.
- González, P. 1995. Influencia del Fenómeno El Niño-Oscilación del Sur en la acumulación de Grados-día y Horas frío de la Región del Maule. Rev. Frut. Curicó, 16 (1): 27-35.
- Instituto Nacional de Estadísticas. 1997. VI Censo Nacional Agropecuario. Resultados preliminares. Santiago, 443 pp.
- Melgarejo, P. 1996. El frío invernal, factor limitante para el cultivo frutal. Vicente ediciones, Madrid, 166 pp.
- Organización Meteorológica Mundial. 1990. Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos. (Traducción de la 5ª edición inglesa de 1983). Public. Nº 8. Secretaría de la O.M.M.- Ginebra, Suiza.
- Lang, G. & J. Early *et al.*, 1987. Endo-, Para-, and Ecodormancy: Physiological Terminology and Classification for Dormancy Research. Hort.Sc. Vol. 22 (3): 371-377.
- Rosemberg, N. 1983. Microclimate. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons, New York, 493 pp.
- Romero, H. 1986. Subdesarrollo, vulnerabilidad y desastres. Ponencia al II Congreso del Medio Ambiente. Región del Maule. CIPMA, 199-202 pp.
- Rutllant, J. & H. Fuenzalida. 1988. Synoptic aspects of the Central Chile rainfall variability associated with the Southern Oscillation. International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy, 4-32 pp.
- Vargas G., L. Ortlieb & J. Rutllant. 2000. "Aluviones históricos en Antofagasta y su relación con eventos El Niño/Oscilación del Sur". Revista Geológica de Chile. Vol. 27, Nº 2, p. 157-176. Santiago.
- Santibañez, F. 1987. Influencia del clima sobre la producción de los árboles de hoja caduca. Revista Antumapu, Facultad de Cs. Agropecuarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago. 1 (1) 47-52.
- Smith, K. & G. Tobin. 1979. Human adjustment to the flood hazard, topics in applied geography. London Group Limited, 127 pp.
- Stolz, W. 2003. La Oscilación Decadal del Océano Pacífico. http://www.atmos.washington.edu/~mantual/REPORTS/PDO/PDO_EGEC.htm
- Vaysse C. & J. Jourdain. 1992. Protection des vergers contre les gelées printanières. Cirea-Cefel, France, 113 pp.
- Wyrтки, K. 1975. "El Niño: The dynamic response of the equatorial Pacific ocean to atmospheric forcing". J. Phys. Ocean., 9, 1.223-1.231.

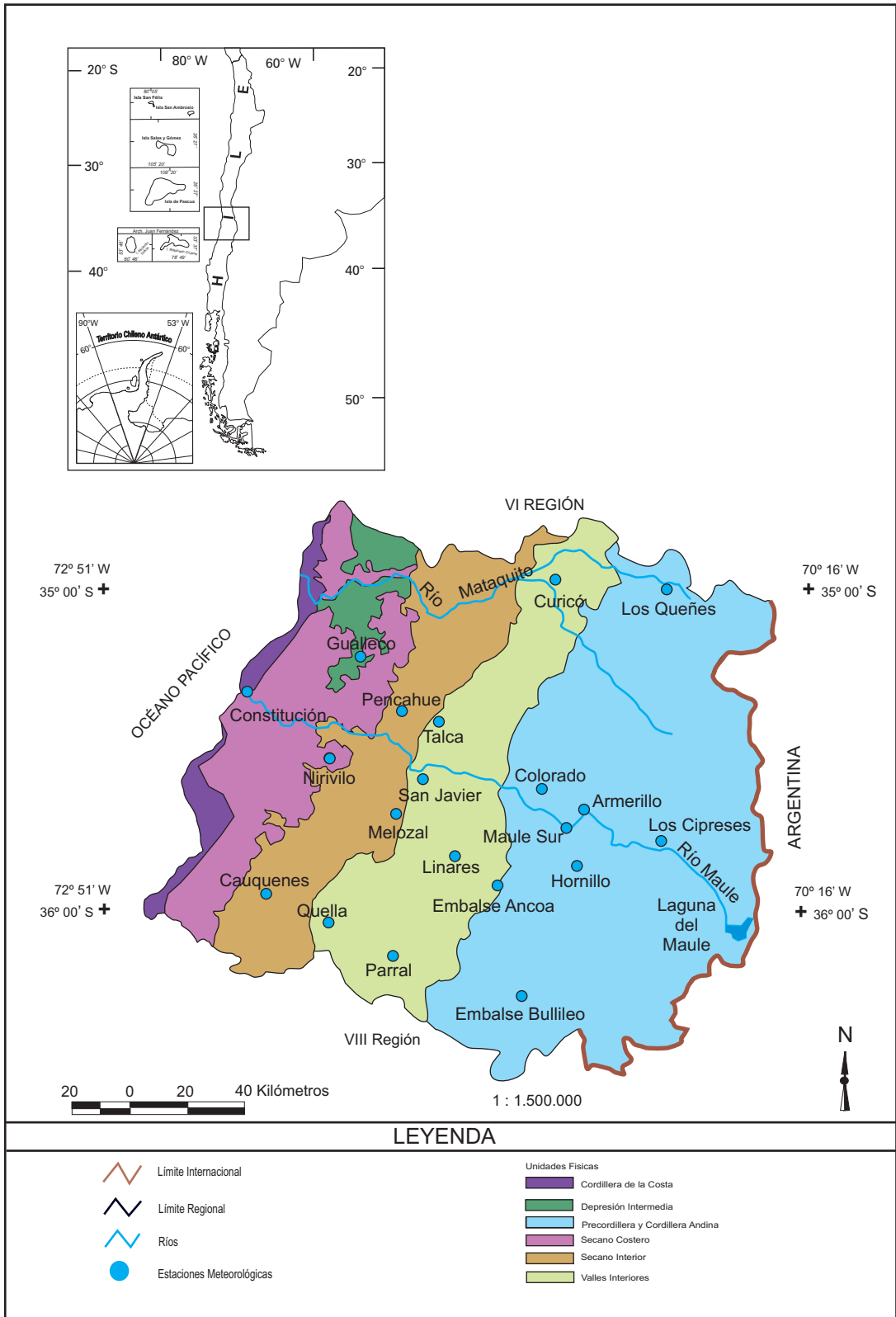


Fig. 1: Ubicación de estaciones meteorológicas en áreas agroecológicas, región del Maule.

Fig. 1: Location of the meteorological stations in agroecological areas, Maule region.

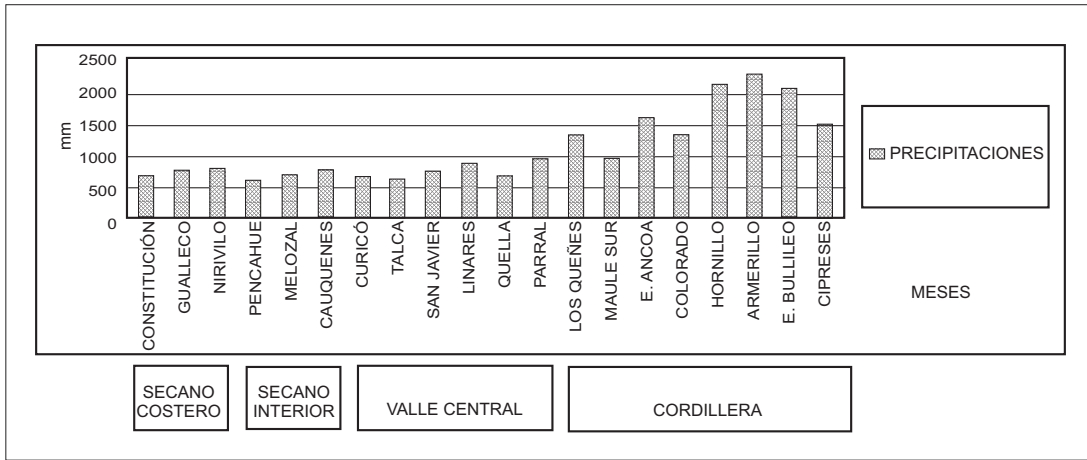


Fig. 2: Normales pluviométricas anuales estaciones meteorológicas región del Maule (Lat. 35° S.).

Fig. 2: Normal annual precipitation of the meteorological stations of the Maule region.

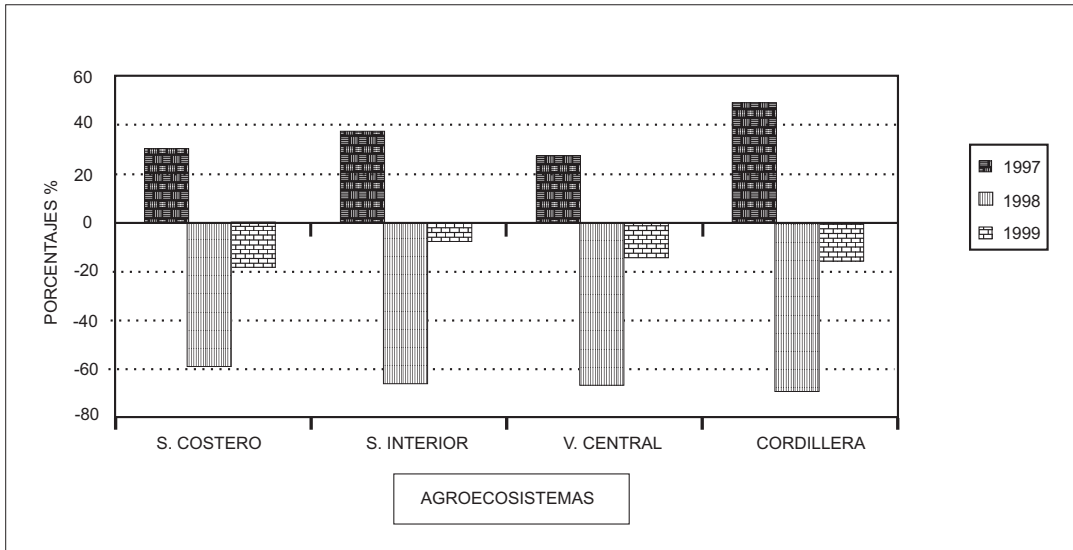


Fig. 3: Superávit y déficit de precipitaciones agroecosistemas región del Maule (Lat. 35° S.). Eventos El Niño y La Niña.

Fig. 3: Precipitation surplus and deficit in agroecosystem in Maule region. El Niño and La Niña events.

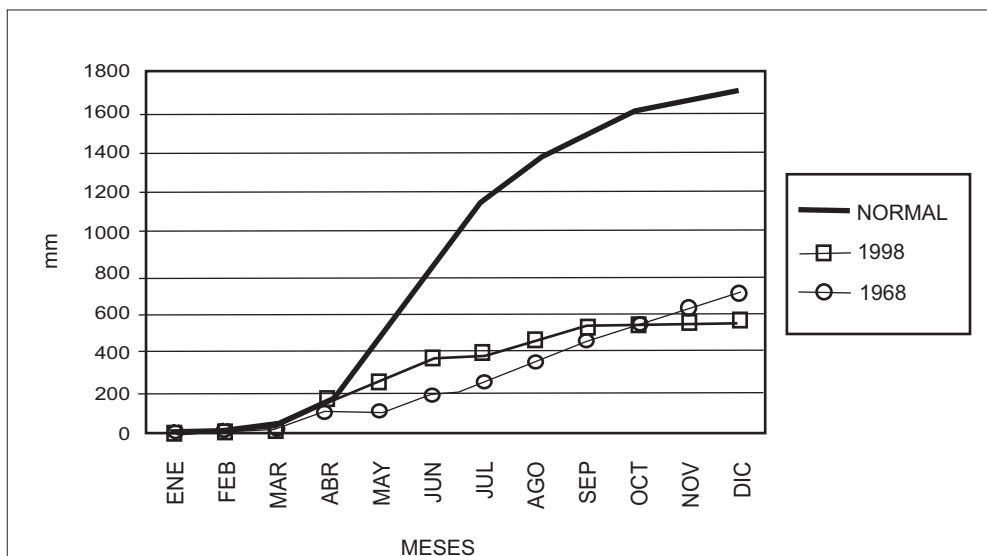


Fig. 4: Acumulación pluviométrica mensual para eventos La Niña 1968 y 1998 en la Cordillera Andina de la región del Maule (Lat. 35° S.).

Fig. 4: Monthly precipitation accumulation for La Niña 1968 and 1998 events in the Cordillera Andina of the Maule region (Lat. 35° S.).

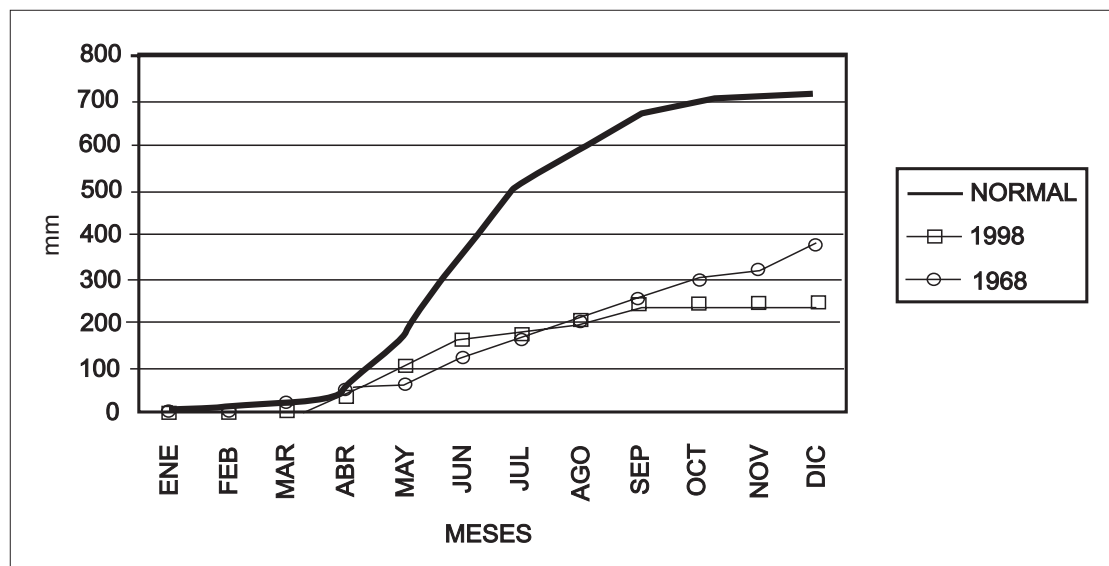


Fig. 5: Acumulación pluviométrica mensual para eventos La Niña 1968 y 1998 en el seco interior de la Región del Maule (Lat. 35° S.).

Fig. 5: Monthly precipitation accumulation for La Niña 1968 and 1998 events in the inner unwatered land of the Maule region (Lat. 35° S.).

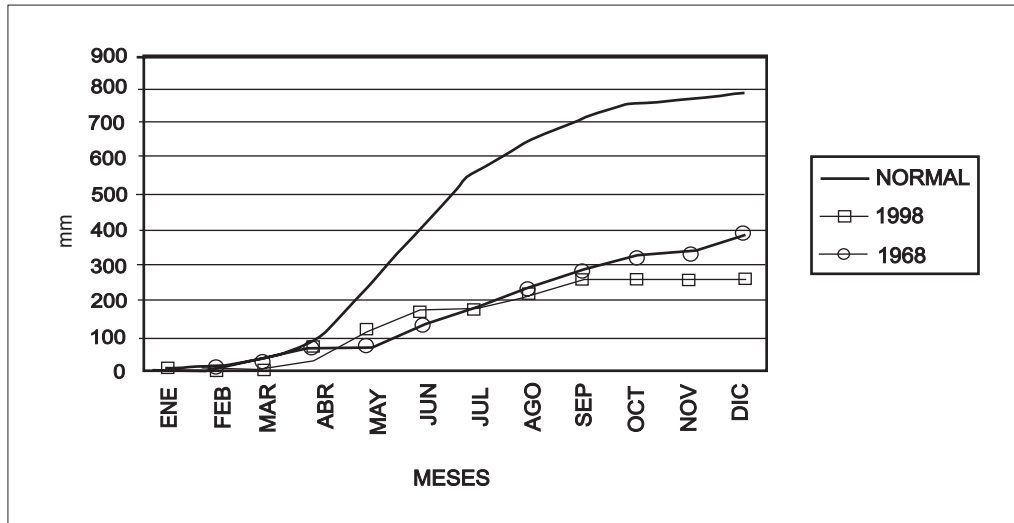


Fig. 6: Acumulación pluviométrica mensual para eventos La Niña 1968 y 1998 en el Valle Central de la Región del Maule (Lat. 35° S.).

Fig. 6: Monthly precipitation accumulation for La Niña 1968 and 1998 events in the Central Valley of the Maule region (Lat. 35° S.).

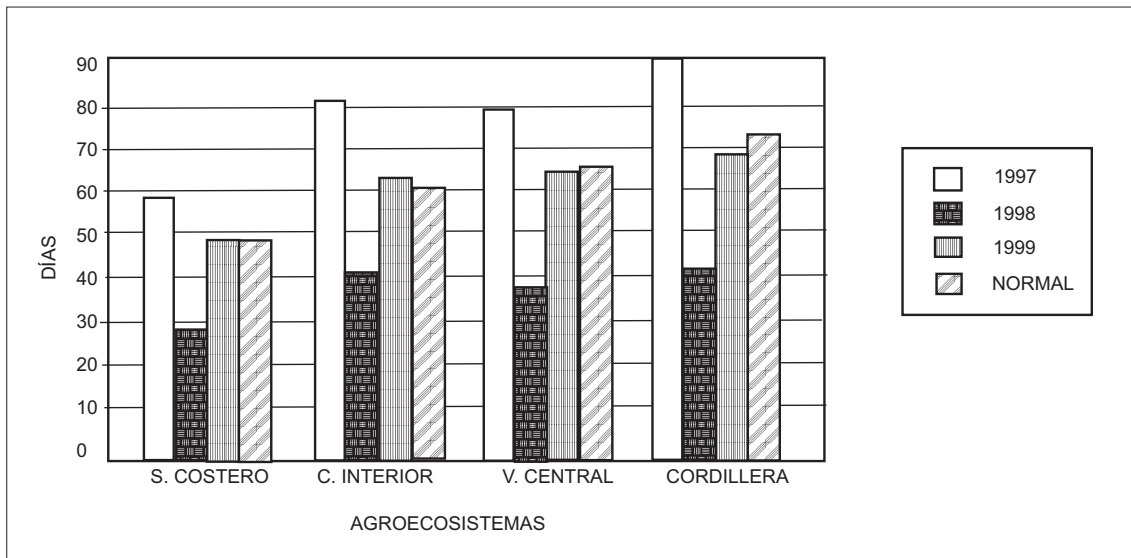


Fig. 6: Total días con precipitaciones durante los eventos El Niño 1997 y La Niña 1998 y 1999 en la región del Maule (Lat. 35° S.).

Fig. 6: Total days with precipitations during the events El Niño 1997 and La Niña 1998 and 1999 in the Maule region (Lat. 35° S.).

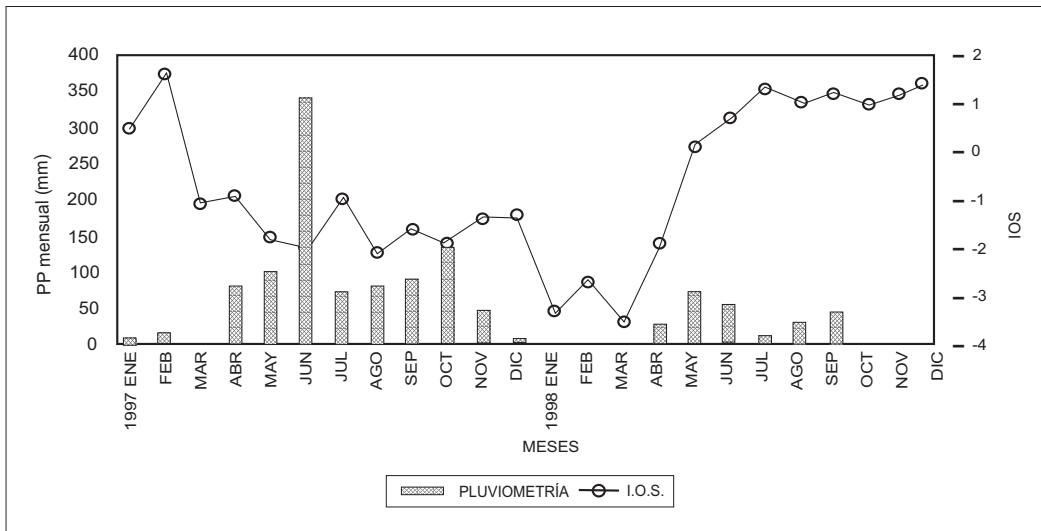


Fig. 8: Índice Oscilación del Sur y Pluviometría mensual durante 1997-1998 en el Valle Central de la región del Maule (Lat. 35° S.).

Fig. 8: Southern Oscillation index and monthly precipitation during 1997-1998 in the Central Valley of the Maule region (Lat. 35° S.).

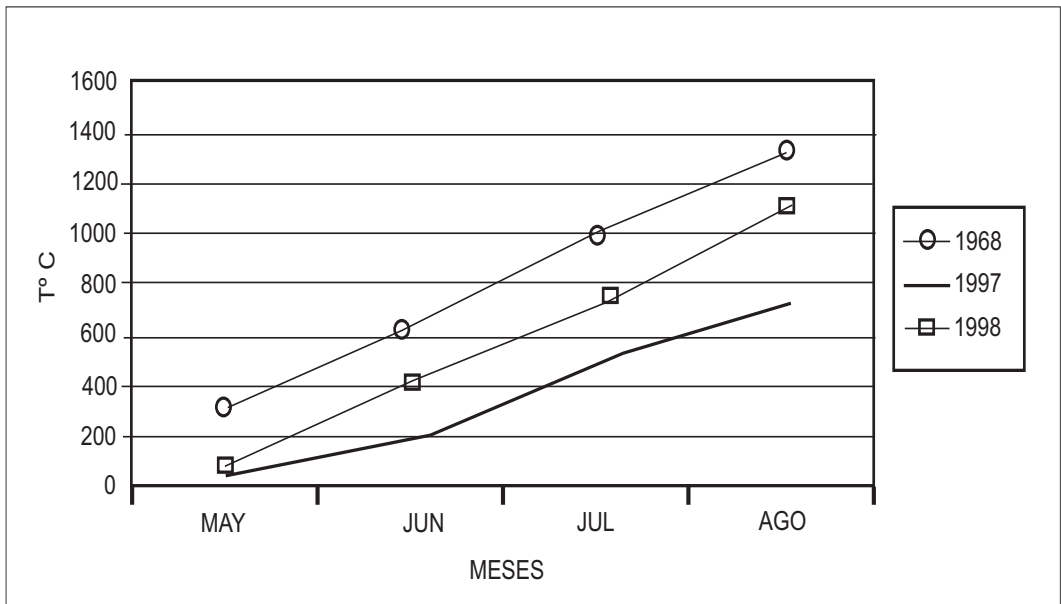


Fig. 9: Acumulación de horas-frío (base 7 °C), durante El Niño 1997 y La Niña 1968-1998. Valle Central. Región del Maule (Lat. 35° S.).

Fig. 9: Accumulation of cold-hours (base 7 °C), during El Niño 1997 and La Niña in Central Valley of Maule region (Lat. 35° S.).

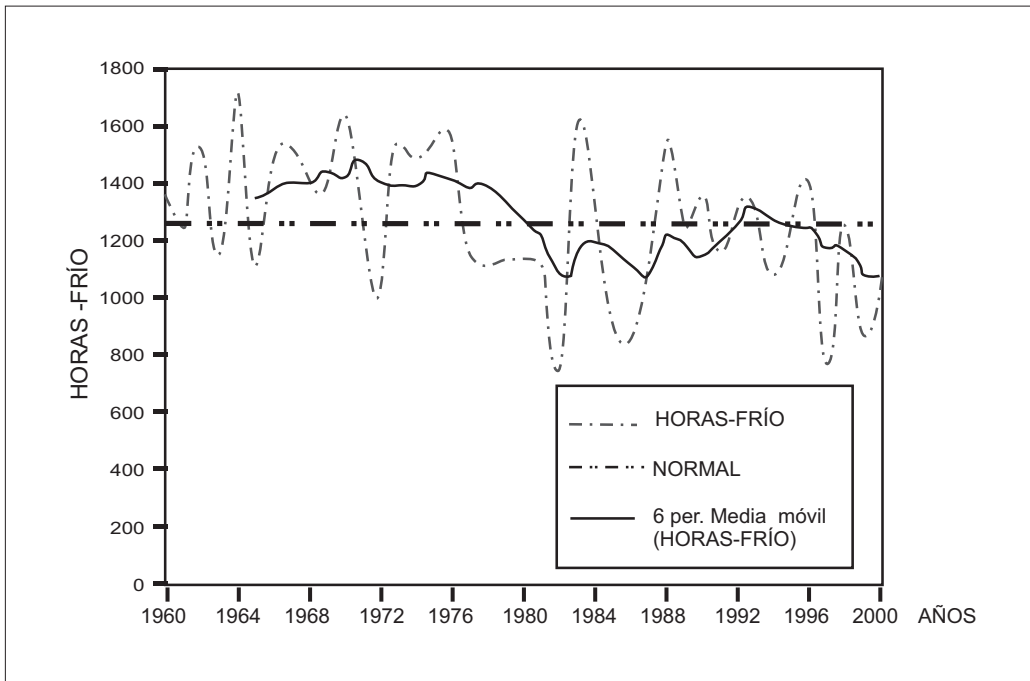


Fig. 10: Promedios móviles en las horas-frío (base 7 °C) en Curicó. Valle Central (Lat. 34° S.).

Fig. 10: Running mean of cold-hours (base 7 °C) at Curicó, Central Valley (Lat. 34° S.).

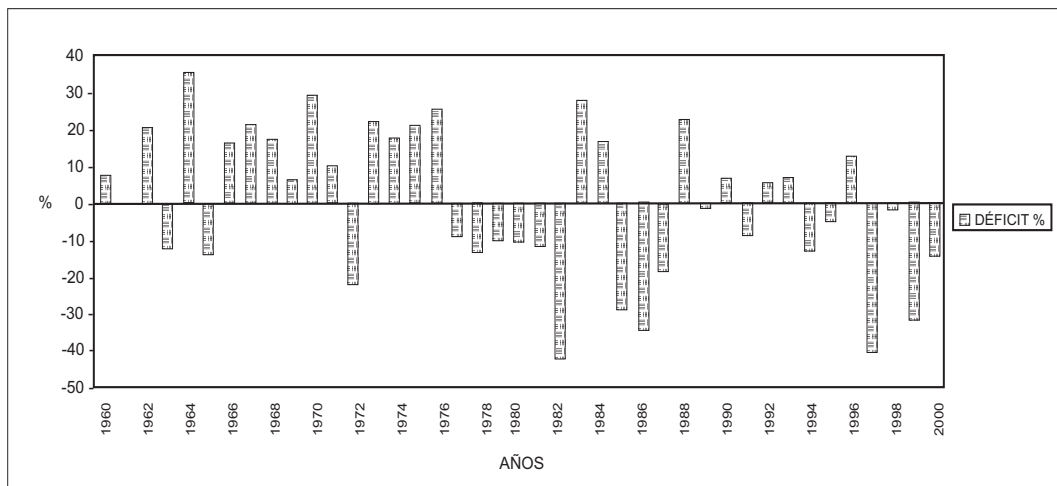


Fig. 11: Déficit y superávit de horas-frío en Curicó. (Lat. 35° S.). Valle Central. Región del Maule.

Fig. 11: Deficit and surplus of cold-hours at Curicó. (Lat. 35° S.), Central Valley, Maule region.

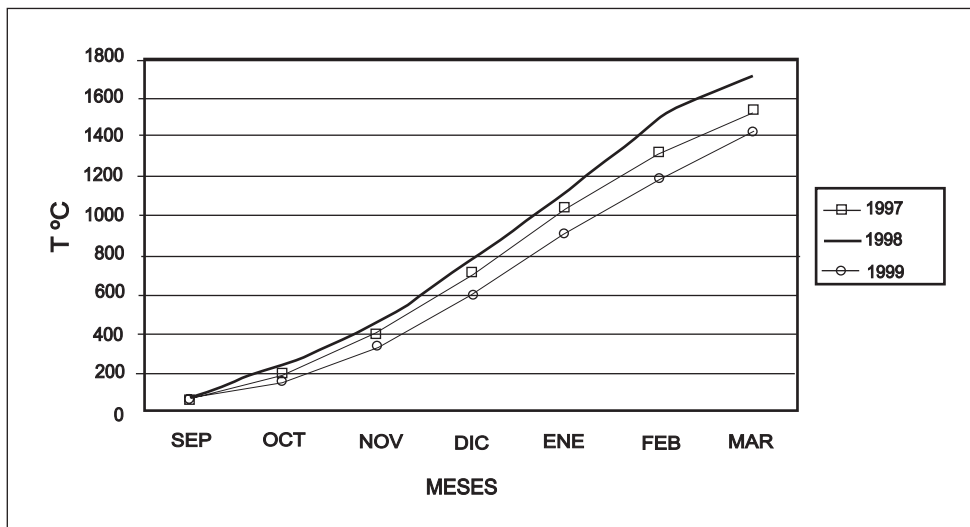


Fig. 12: Acumulación de grados-día (base 10 °C) durante el evento El Niño 1997 y La Niña 1998-1999. Valle Central. Región del Maule (Lat. 35° S.).

Fig. 12: Degree-day accumulation (base 10 °C) during El Niño 1997 and La Niña 1998-1999 event, Central Valley, Maule region (Lat. 35° S.).

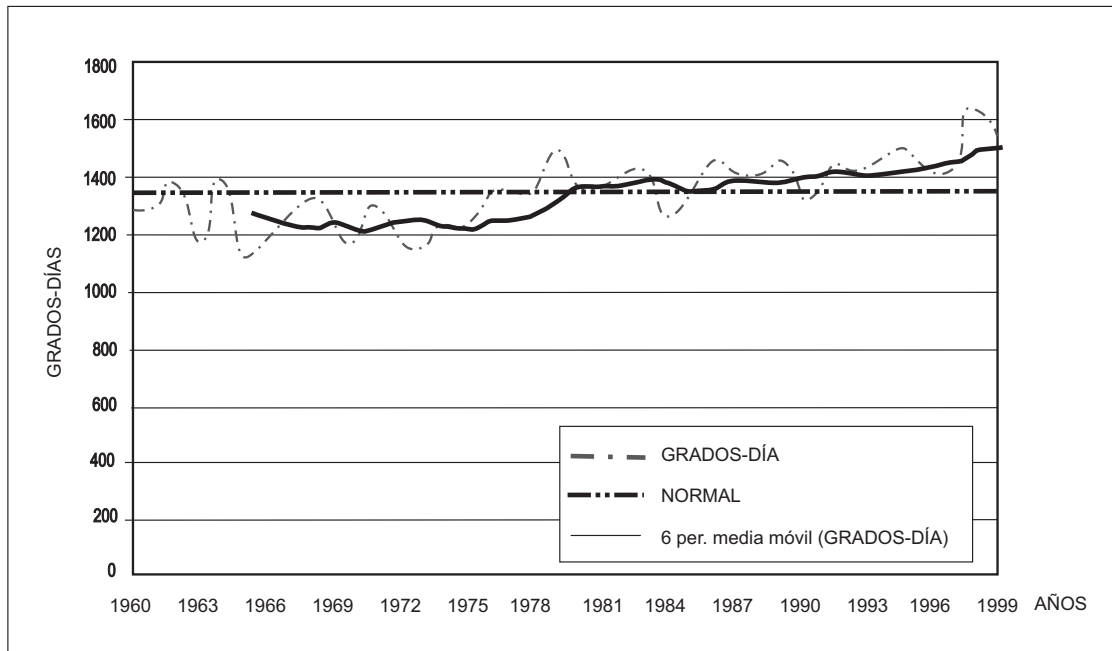


Fig. 13: Promedios móviles de los grados-día (base 10 °C) en Curicó. Valle Central (Lat. 34° S.). Período 1960-2000.

Fig. 13: Running mean of degree-day (base 10 °C) at Curicó, Central Valley (Lat. 34° S), 1960-2000 period.

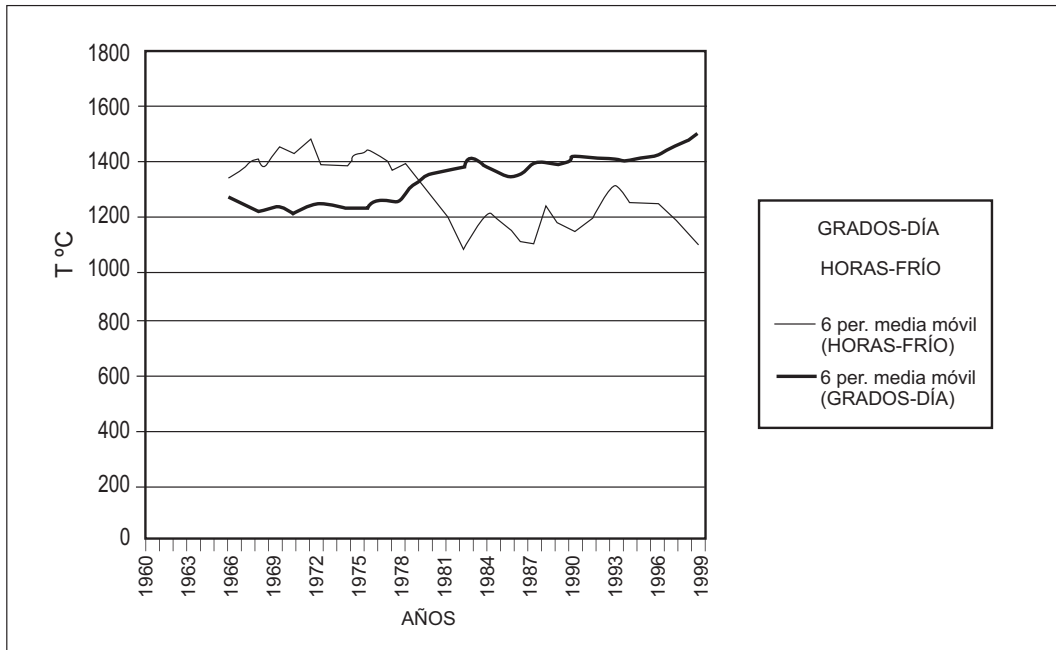


Fig. 14: Promedios móviles de grados-día y horas-frío en Curicó. (Lat. 34° S.).
 Fig. 14: Running mean of degree-day and hours-cold at Curicó (Lat. 34° S).

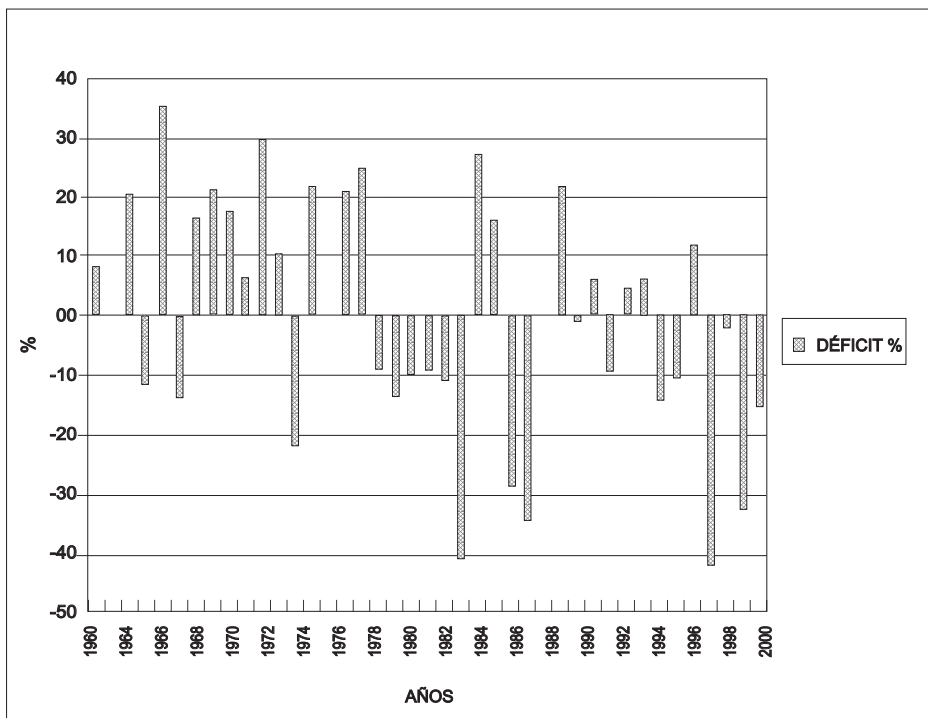


Fig. 15: Déficit y superávit de horas-frío en Curicó. (Lat. 35° S). Valle Central. Región del Maule.
 Fig. 15: Deficit and surplus of cold-hours at Curicó (Lat. 35° S), Central Valley, Maule region.

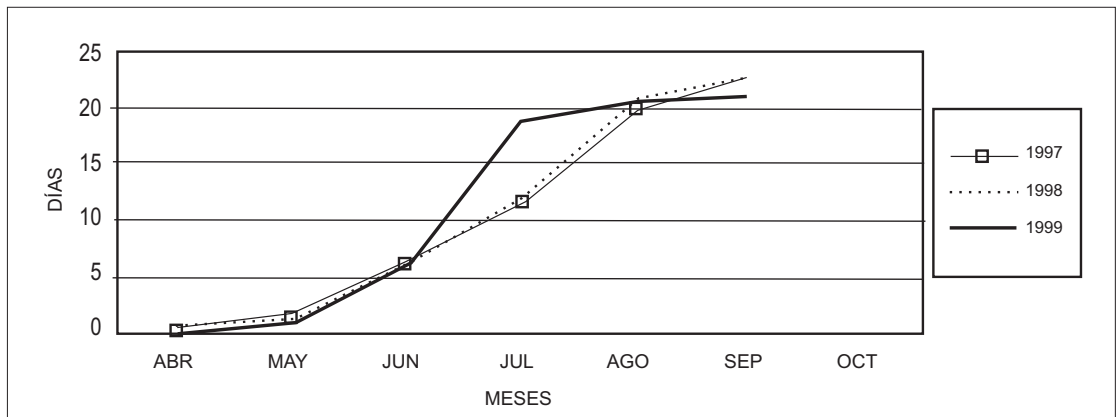


Fig. 16: Acumulación mensual de días con heladas durante los eventos El Niño 1997 y La Niña 1998-1999. Valle central región del Maule (Lat. 35° S.).

Fig. 16: Monthly accumulation of frozen days during El Niño 1997 and La Niña 1998-1999 events, Central Valley, Maule region.

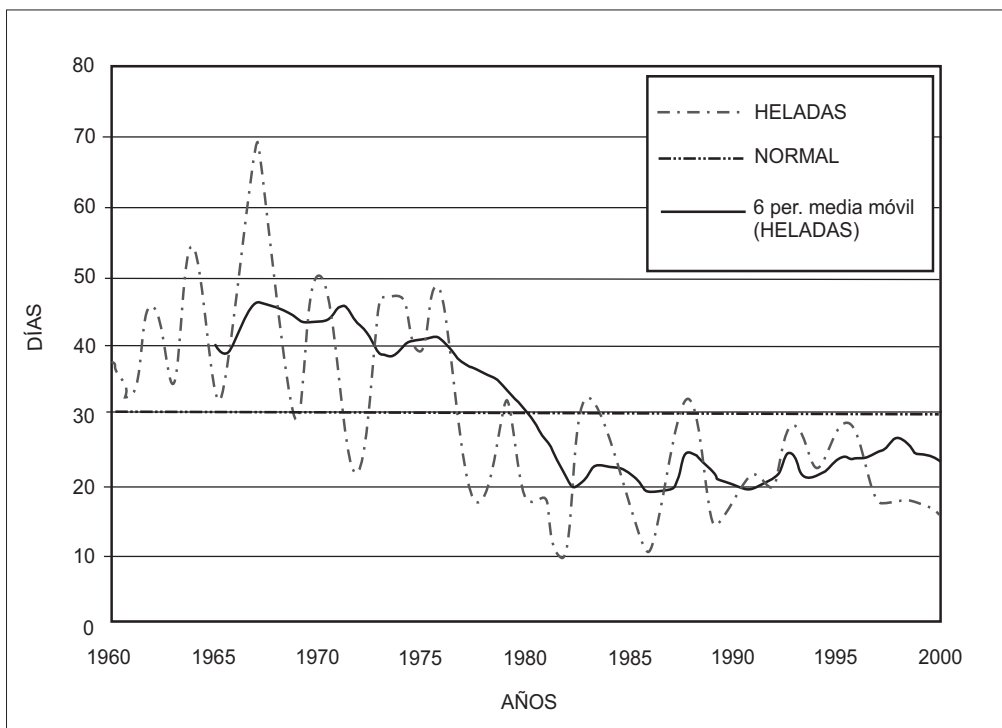


Fig. 17: Promedios móviles días con heladas por año en Curicó, Valle Central (Lat. 35° S).

Fig. 17: Running yearly means of frozen days at Curicó, central valley (Lat. 35° S).

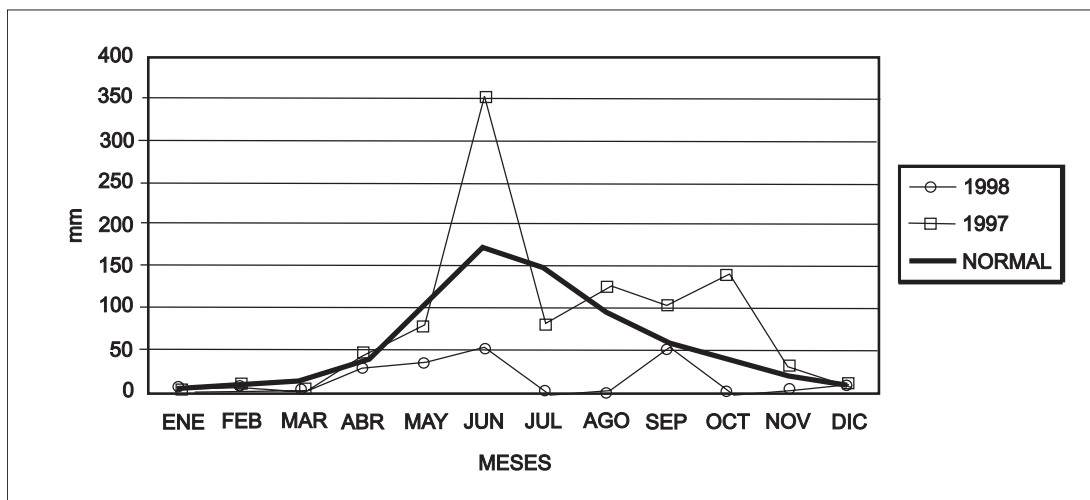


Fig. 18: Pluviometría mensual durante eventos El Niño 1997 y La Niña 1998 en Curicó. Valle Central región del Maule (Lat. 34° S.).

Fig. 18: Monthly precipitation during El Niño 1997 and La Niña 1998 events at Curicó, Central Valley, Maule region (Lat. 34° S).

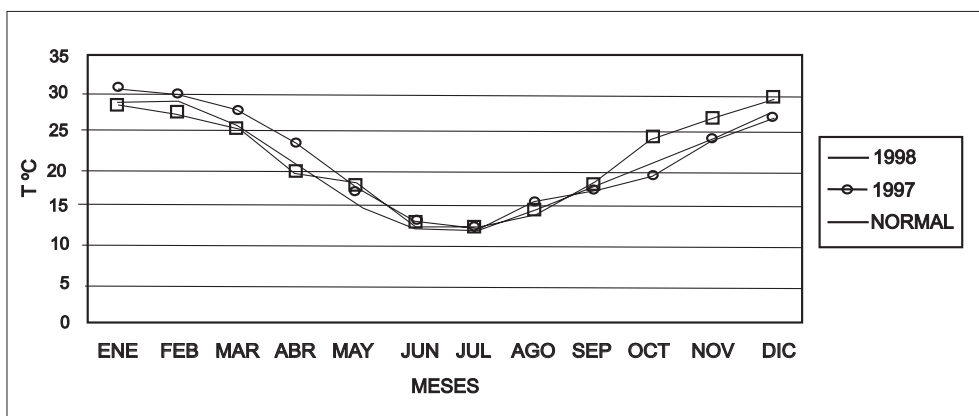


Fig. 19: Temperaturas máximas mensuales durante el evento El Niño 1997 y La Niña 1998 en Curicó. Valle Central región del Maule (Lat. 34° S.).

Fig. 19: Monthly maxima temperatures during El Niño 1997 and La Niña 1998 events at Curicó, Central Valley, Maule region (Lat. 34° S.).