

# CLIMATOLOGIA E INTERACCION OCEANO-ATMOSFERA EN LA BAHIA DE VALPARAISO

EDUARDO REYES F.\* y HUGO ROMERO A.\*\*

**ABSTRACT.** The climatology of Valparaíso Bay related to air-sea interaction is described through the analysis of daily meteorological data and sea-surface temperatures registered from 1958 to 1970. The climatic conditions of the harbour are genetically derived from the typical weather in central Chile, adding the contact of the lower atmosphere with cold water of the Humboldt Current. This influence is reflected in the low values of air and sea-surface annual temperatures, being 14,0° and 13,3°C respectively, and also by their small seasonal range. Monthly variations of both temperatures are closely associated, and primarily depend on the global radiation received at Valparaíso.

From a climatological viewpoint two seasons are distinguished: the summer period from November to March, characterized by the predominance of anticyclonic weather, with the highest frequency of S-SW winds; and the winter period from May to September, with higher occurrence of cyclonic perturbations, northern winds and rainfall. The seasonal conditions are often interrupted by brief meteorological regressions in accordance with temporal and spatial changes in the Southeastern Pacific High. Negative anomalies of sea-surface temperatures are discussed in relation to upwelling, turbulence produced by winds and air-sea heat exchange.

El Niño phenomena registered in the Southeastern Pacific Ocean during 1958, 1965 and 1969 were partially evident at Valparaíso; sea temperatures showed positive anomalies and there was an abnormal weakening of the atmospheric pressure. Furthermore, historic data reveal that the largest annual variations of rainfall over Valparaíso roughly coincide with El Niño years since 1891.

## INTRODUCCION

En dos publicaciones anteriores (Reyes 1960, 1967) se informó de las observaciones meteorológicas iniciadas en Montemar (32° 57'S, 71° 33'W) al NE de la bahía de Valparaíso, con el propósito de conocer los elementos climáticos que pueden relacionarse con fenómenos físicos y biológicos de esta área. Varios autores han considerado, con distinto énfasis, los parámetros meteorológicos en la caracterización ecológica de la bahía. Alveal (1970, 1971) en sus estudios ficecológicos de la costa de Valparaíso, asigna a Montemar uno o varios microclimas, sin especificar las características que justifiquen esta aseveración en su base conceptual o metodológica. En cambio, los trabajos de Avaria (1971, 1975) analizan detenidamente la influencia de la temperatura del mar y del régimen de vientos en las variaciones estacionales del

fitoplancton en la bahía de Valparaíso, y el mismo autor (1976) ha estudiado la asociación del fenómeno de la marea roja con aspectos climatológicos e hidrográficos. Referencias a los promedios de la temperatura del mar se citan en otras investigaciones biológicas con material de la bahía (Fagetti 1970, Ramorino 1975), en tanto que en la investigación oceanográfica de esta zona son importantes los trabajos de Brandhorst (1971), Pizarro (1973, 1976), Silva (1973), Sievers y Silva (1973, 1975).

El presente estudio se fundamenta en el análisis de observaciones meteorológicas efectuadas en la bahía de Valparaíso durante 13 años consecutivos, desde 1958 a 1970. Al aplicar el concepto climatológico, procuramos superar la presentación de los promedios correspondientes a los estados de tiempo, dirigiendo la atención hacia la variabilidad y la representatividad de la información. Además, se pretende destacar

\*Departamento de Oceanología, Universidad de Chile, Valparaíso, Casilla 13-D, Viña del Mar.

\*\*Departamento de Geografía, Facultad de Matemáticas y Ciencias Naturales, Universidad de Chile, Valparaíso, Casilla 130-V, Valparaíso.

la interrelación entre algunos parámetros oceanográficos y meteorológicos, teniendo en cuenta los métodos e instrumentos utilizados.

Sverdrup (1943) advierte que la interacción entre océano y atmósfera es un proceso de tal complejidad que resulta casi imposible separar causa y efecto en los fenómenos que observan los investigadores; vale decir, se debería estudiar e interpretar el sistema océano-atmósfera en conjunto, especialmente al analizar los procesos energéticos que ocurren entre aire y mar.

En la práctica es difícil cumplir esta recomendación, sobre todo en el hemisferio sur, debido a la insuficiencia de medios científicos y técnicos. En general, los meteorólogos disponen de largas series cronológicas de observaciones, repetidas en cortos intervalos a través de vastas regiones, que se complementan en la actualidad por medio de satélites en altura. En comparación, los oceanógrafos trabajan con observaciones más bien puntuales, de mucho menor alcance en los muestreos, lo que conduce a una mayor extrapolación e inferencia de resultados en el manejo de los datos. Estimamos que la mayor estabilidad o lentitud en el comportamiento de las masas oceánicas, respecto al de las masas de aire, compensa sólo parcialmente esta diferencia metodológica en el estudio de la interacción océano-atmósfera.

## MATERIAL Y METODOS

En forma tradicional, la climatología analítica describe los elementos de la realidad atmosférica sobre un área determinada durante un largo lapso de tiempo para luego combinarlos en una síntesis externa. Fuenzalida (1965) ha señalado los factores que tienen relevancia en la determinación del clima de Chile, y destaca que sobre el litoral central prevalecen masas de aire muy estable debido a la subsidencia que existe en el margen oriental del anticiclón del Pacífico Sur, a lo que se agrega el enfriamiento atmosférico que produce la corriente de Humboldt.

Aplicando la clasificación de Koeppen a la climatografía de Chile, Fuenzalida (*ibid.*) establece que la región central del país corresponde al clima templado cálido con lluvias invernales, subdividido según el alcance de las precipitaciones. Así, Valparaíso tiene estación seca prolongada, con temperaturas del mes más frío inferiores a 18° y superiores a 3°C. Este clima cubre un área geográfica considerable, entre latitudes 32° 15'S y 35° 30'S, desde la costa hasta 1.500 metros de altitud hacia el interior del territorio, incluyendo puntos tan alejados de la influencia marítima como Santiago, San Fernando y Talca. Esto se debe al hecho que la clasificación basada en Koeppen aprecia el clima por sus efectos sobre la vegetación terrestre, cualesquiera fueren las condiciones genéticas de los tipos climáticos, lo cual no resulta apropiado para estudiar la interacción océano-atmósfera.

En consecuencia, hemos incorporado algunos aportes de la climatología sintética o dinámica que concede más importancia a los centros de acción atmosférica y a los desplazamientos de las masas de aire en la determinación de los diferentes órdenes del clima. Esta concepción supera a la climatología analítica por el carácter totalizador del análisis de las condiciones dinámicas de la atmósfera. Dentro de tal enfoque, consideramos los estados típicos de tiempo descritos para Chile central por Caviedes y Aguila (1969) y Schneider (1971), entendiéndolo por ello combinaciones de características de la baja atmósfera que persisten dos o tres días y que ocurren más o menos frecuentemente a través del año.

Al respecto, Peña *et al.* (1975) reconocen para Chile continental la acción preponderante de las masas de aire tropical marítimo y polar marítimo, cálido y frío. No se distinguen masas de aire templado, considerando que las latitudes medias sólo constituyen un espacio que recorren las masas de aire provenientes de otros lugares en donde las condiciones dinámicas permiten su generación y el desarrollo de sus características. En el área de Valparaíso, la influencia del anticiclón del Pacífico Sur Oriental en

relación con la situación geográfica de Chile y la acción estabilizadora de las aguas frías de la corriente de Humboldt provocan cierta monotonía en la presentación de dos grandes tipos de tiempo: uno con dominio anticiclónico, asociado al aire tropical marítimo, que determina el buen tiempo de primavera y verano, y otro de mal tiempo e inestabilidad, asociado al aire polar marítimo, con avances depresionarios y frontales, que se concentra en invierno y otoño (Schneider 1971, Peña *et al.* 1975).

Desde el punto de vista oceanográfico, hemos considerado la influencia de dos masas de agua frente a Valparaíso: el agua de la corriente de Humboldt, de origen subantártico, desde la superficie hasta una

profundidad de 100 m cerca de la costa, y el agua ecuatorial subsuperficial, con características de la corriente de Gunther, cuyo límite de profundidad alcanza 400 m cerca de la costa (Brandhorst 1971, Silva 1973, Silva y Sievers 1974). Los autores citados establecen que el hecho dinámico más importante que afecta estas masas de agua es el fenómeno de afloramiento, provocado principalmente por los vientos S y SW.

Con respecto a la circulación oceánica, observaciones recientes sobre esta parte del Pacífico Sur Oriental (Sievers y Silva 1975) confirman que las corrientes son anchas, poco profundas, de baja velocidad y de flujos paralelos al litoral. En superficie se presenta la rama costera de la corriente

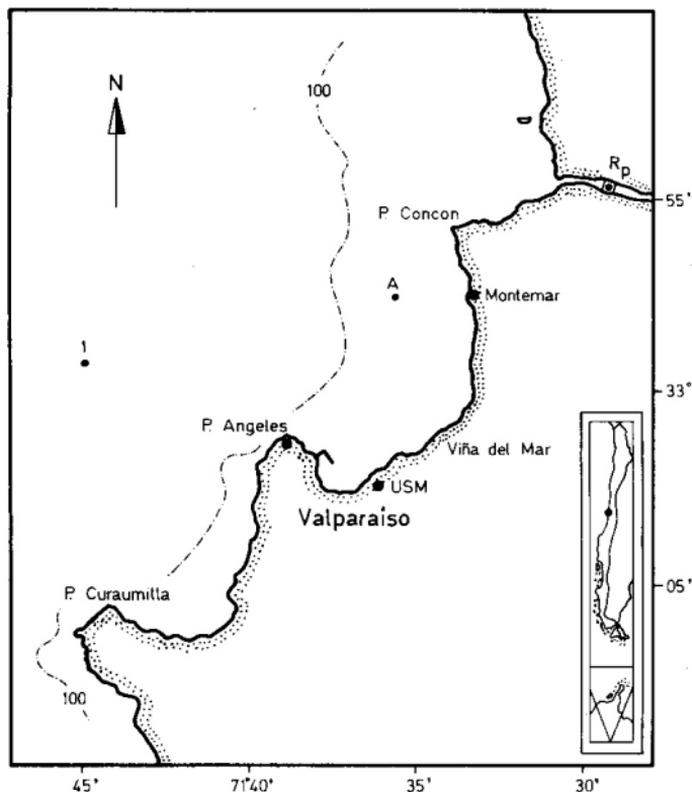


Fig. 1. Litoral y bahía de Valparaíso. Puntos de observaciones, identificados en el texto.

de Humboldt que fluye hacia el norte, y en la capa subsuperficial, la corriente de Gunther o corriente subsuperficial Perú-Chile de flujo al sur. Además, se ha planteado que en la bahía de Valparaíso existe una corriente superficial de tipo rotatorio derivada del régimen de mareas, compuesta de una rama que en forma permanente sigue el contorno de la costa en dirección N-S desde Punta Concón hacia Punta Angeles, en tanto que durante el refluo se produciría una corriente de retorno por el centro de la bahía (Empresa Municipal de Desagües 1974).

Dada la configuración abierta y la profundidad de la bahía de Valparaíso, hemos estimado que las condiciones generales, de orden oceanográfico y climatológico, tienen tanta relevancia como los factores locales en la orientación de este estudio. La bahía presenta un ancho de casi 7 millas entre Punta Concón y Punta Angeles (fig. 1). La profundidad media es de 80 m en la parte central, con marcado declive hacia el W y SW. El relleno de la cuenca hacia el NE, debido al aporte de sedimentos del río Aconcagua, se refleja en la posición de la isobata de los 100 m. El relieve terrestre está caracterizado por una cadena de cerros (terrazas de abrasión marina) en la parte sur, donde se encuentran el puerto y la ciudad de Valparaíso, y por terrenos más bajos hacia el norte. Salvo el reducido espacio del puerto artificial, la bahía queda enteramente expuesta a los vientos y marejadas del N y NW, y gran parte de ella recibe, además, la influencia predominante de los vientos y oleaje del SW.

Los puntos de los cuales se obtuvo información para el presente trabajo, señalizados en la figura 1, son:

Punta Angeles: observatorio de la ex Oficina Meteorológica de Chile, a 41 m de altura sobre el nivel del mar.

USM: Universidad Técnica Federico Santa María, Laboratorio de Energía Solar, 70 m sobre el nivel del mar.

Montemar: Depto. de Oceanología, cobertura meteorológica a 15 m sobre el nivel del mar.

Rp: represa de la Refinería de Petróleo ENAP en el río Aconcagua.

A: estación oceanográfica (Reyes 1960, Pizarro 1976).

1: estación oceanográfica (Sievers y Silva 1973).

Los procedimientos de observación en Montemar y Punta Angeles siguieron normas internacionales (Reyes *op. cit.*), con anotaciones diarias a las 08.00, 14.00 y 19.00 horas (12.00, 16.00 y 23.00 hora media Greenwich). En su mayor parte los datos pertenecen a Montemar, y las observaciones hechas en otros puntos de la bahía son complementarias. Por ejemplo, en el estudio de los vientos se utilizó el registro de Punta Angeles por la mayor exactitud que le confería su medición con anemógrafo, en vez de la estimación subjetiva de la escala Beaufort anotada en Montemar. El registro más exacto de la radiación solar pertenece a la Universidad Técnica Federico Santa María: se trata de la radiación global, directa y difusa, que se recibe sobre superficie horizontal, medida directamente en  $\text{cal/cm}^2/\text{día}$  o Langley/día, por un actinógrafo Fuess bimetalico con exactitud de 1% en su lectura en promedio anual (Laboratorio de Energía Solar, comunicación personal). Este método entrega resultados más fidedignos, como valores energéticos, que los obtenidos a través del cálculo indirecto de la radiación a partir de las horas efectivas de sol que registra un heliógrafo. Aparte de los errores instrumentales, el heliógrafo no incorpora la energía solar que se recibe en días nublados según el tipo de nubes, la latitud del lugar y la época del año (Sverdrup 1943).

La temperatura de la superficie del mar se observó junto al roquerío de Montemar expuesto al oleaje, sacando una muestra de agua con balde de lona, en el mismo horario de las observaciones meteorológicas. En un trabajo anterior (Reyes *op. cit.*) se estableció que la temperatura registrada en este lugar guarda estrecha semejanza con la que se observó 1 milla más afuera, en la estación A. El Centro Nacional de Datos Oceanográficos también dispone de series

de temperaturas del mar en Valparaíso, pero hemos preferido no recurrir a ellas porque corresponden a un punto de la zona portuaria, al amparo del molo, donde el agua debe experimentar variaciones térmicas por efecto de su relativo confinamiento.

Las correlaciones de los elementos climáticos fueron establecidas, en cada caso, para igual serie cronológica de observaciones. Así, la comparación de las temperaturas medias del aire y del mar corresponde al período 1958-70, pero la relación entre energía solar y temperatura del aire y del mar debió restringirse al período 1963-70 debido a la menor disponibilidad de datos sobre radiación solar.

De acuerdo con la clasificación de Pollak para el análisis estadístico de los elementos climáticos (Conrad and Pollak 1962), se determinaron varias características.

### 1. CARACTERÍSTICAS PRIMITIVAS

Rango o campo de variación para todos los parámetros considerados, salvo la humedad relativa del aire que presentó una homogeneidad extraordinaria.

Análisis de frecuencias. Para las temperaturas del aire y de la superficie del mar, registradas tres veces al día, se determinaron intervalos de clase de  $1^{\circ}\text{C}$  y se estableció el número de casos dentro de cada intervalo. Considerando el carácter comparativo del análisis, se prefirió presentar las frecuencias como porcentajes del número  $N$  de observaciones en tablas separadas para las 08.00, 14 y 19.00 horas del período 1958-70 (tablas 1 a 6). Esto permite apreciar el carácter dinámico de las temperaturas, que no es evidente cuando se presentan sólo los promedios. Por ejemplo, en la tabla 1 se aprecia que durante el mes de marzo, a las 08.00 horas la temperatura del mar comprendida entre  $13^{\circ}$  y  $13,9^{\circ}\text{C}$  tiene 22,6% de frecuencia; temperaturas inferiores a  $13^{\circ}$  sólo tienen 8,5% de frecuencia, y las superiores a  $13,9^{\circ}$  reúnen el 67% restante de las probabilidades. En cambio, el promedio de la temperatura registrada a las 08.00 horas durante marzo solamente entrega el valor de  $14^{\circ}\text{C}$ .

En la representación gráfica se emplearon frecuencias relativas acumuladas, que permiten visualizar las probabilidades de presentación de un valor térmico determinado. Las curvas se presentan para el mes más cálido y el mes más frío en las temperaturas del aire y del mar, considerando los valores mensuales del período 1958-70. Debe recalarse que en meteorología las probabilidades dependen de estimaciones basadas en la experiencia registrada, cuya validez guarda relación directa con la longitud temporal de la serie en consideración.

En el análisis de los vientos se determinaron las frecuencias absolutas y relativas para cada una de las ocho direcciones principales, incorporando los promedios de velocidad del viento en nudos y las condiciones de calma, que corresponden a las observaciones de las 08.00, 14.00 y 19.00 horas en los doce meses del año durante el período 1962-70.

### 2. CARACTERÍSTICAS ELEMENTALES

Fractiles: Se determinaron los valores, de 25, 50 y 75% en las frecuencias relativas acumuladas de las temperaturas del mar y del aire para los meses más cálidos y más fríos del año.

Media aritmética: Se calcularon los promedios mensuales y anuales de las temperaturas, horas de sol, radiación solar, humedad relativa del aire, presión atmosférica y precipitaciones. En la comparación de las temperaturas del aire y del mar, los valores corresponden a la media aritmética de las observaciones de las 08.00, 14.00 y 19.00 horas (tablas 7 y 8). En cambio, en la relación de la temperatura del aire con la radiación solar y para comparar las temperaturas del aire de Montemar y Punta Angeles, el promedio fue calculado considerando las temperaturas de las 08.00 y 19.00 horas y las máximas y mínimas (tabla 9), según la norma de la ex Oficina Meteorológica de Chile (Reyes 1960).

Desviación estándar: Se ha empleado como complemento de la media aritmética para medir la variabilidad en los valores de algunos elementos climáticos.

### 3. COMPARACIÓN ESPACIAL

Homogeneidad relativa: El establecimiento de las relaciones espaciales es parte básica de la climatología geográfica. Un primer paso lo constituye la determinación de la homogeneidad relativa existente entre los valores de observatorios localizados en condiciones geográficas relativamente similares y que disponen de registros sincrónicos. En la bahía de Valparaíso esta comparación se establece entre Montemar (M) y Punta Angeles (PA). La desviación media para la diferencia M-PA debe ser insignificante en relación a la desviación media de cada uno por separado para concluir que entre ambos lugares existe una homogeneidad tal, que las variaciones que experimentan los valores meteorológicos son exclusivamente de tipo climático. Para la determinación de la homogeneidad relativa, es decir, que la serie de Montemar experimente las mismas variaciones sincrónicas de Punta Angeles y que las diferencias en los promedios homólogos constituyan una serie de números al azar que satisfacen la ley del error, se han seguido los criterios de Helmert y Abbe, propuestos por Conrad y Pollak (1962).

Correlaciones: En tanto la homogeneidad relativa indica la existencia de una relación entre los valores de lugares diferentes, el coeficiente de correlación también se emplea para establecer las relaciones que existen entre los valores de distintos elementos registrados en un mismo lugar. El verdadero coeficiente de correlación  $R$  que resulta de un número infinito de datos para las dos series comparadas, debe ubicarse, con la misma probabilidad, dentro o fuera de los límites  $R + F$  y  $R - F$ , donde  $F$  es el error probable (Conrad and Pollak 1962), considerando significativos aquellos coeficientes de correlación que excedan al menos tres veces el error probable. Este factor de correlación es puramente formal, sin indicar una asociación causal.

Por otra parte, se establece el grado de asociación entre la temperatura del mar, la temperatura del aire y la radiación solar

por medio de la correlación parcial, que separa las influencias de cada una de las variables  $y$  y  $z$  sobre la variable  $x$ . Esto es, calculando los coeficientes de correlación  $R_{xy}$ ,  $R_{xz}$  y  $R_{yz}$  y las respectivas diferencias  $1 - R^2_{xy}$ ,  $1 - R^2_{xz}$  y  $1 - R^2_{yz}$ , se determinaron los coeficientes de asociación entre dos variables manteniendo la tercera constante, según expresiones de Conrad y Pollak (*op. cit.*).

## RESULTADOS

### 1. LOS ESTADOS DE TIEMPO

Las figuras 2 y 3 ilustran cuatro situaciones dinámicas atmosféricas consideradas por Schneider (1971) como típicas de Chile central, y son ejemplos reales que coinciden plenamente con las observaciones registradas los mismos días en Montemar.

1.1. El buen tiempo de verano, analizado a partir del 4 de enero de 1970, corresponde al predominio anticiclónico sobre la mayor parte del territorio nacional con centro en los 38°S, mientras que la depresión térmica aparece desplazada al interior del continente. Este día amanece nublado en Montemar, en continuidad de la situación atmosférica anterior, pero el viento SW que predomina al mediodía contribuye a disipar la nubosidad, en tanto que la temperatura media del aire llega a 18.7°C, con una máxima de 21.8°C, y el registro barométrico sube de 1.013 a 1.014 mb. Estas condiciones favorables se acentúan al día siguiente.

1.2. El mal tiempo de verano se analiza mediante la situación del 3 de enero del mismo año 1970, en que la presencia de la depresión térmica continental sobre el centro de Chile se asocia a cielos cubiertos, lloviznas y leve descenso de la temperatura. Montemar indica cielo cubierto, humedad relativa de 90% y presión atmosférica entre 1.010 y 1.011 mb con brisas del N en la mañana y calma en torno al mediodía. El promedio de la temperatura del aire, el 3 de enero, alcanza 16.8°C que si bien está próximo al valor me-

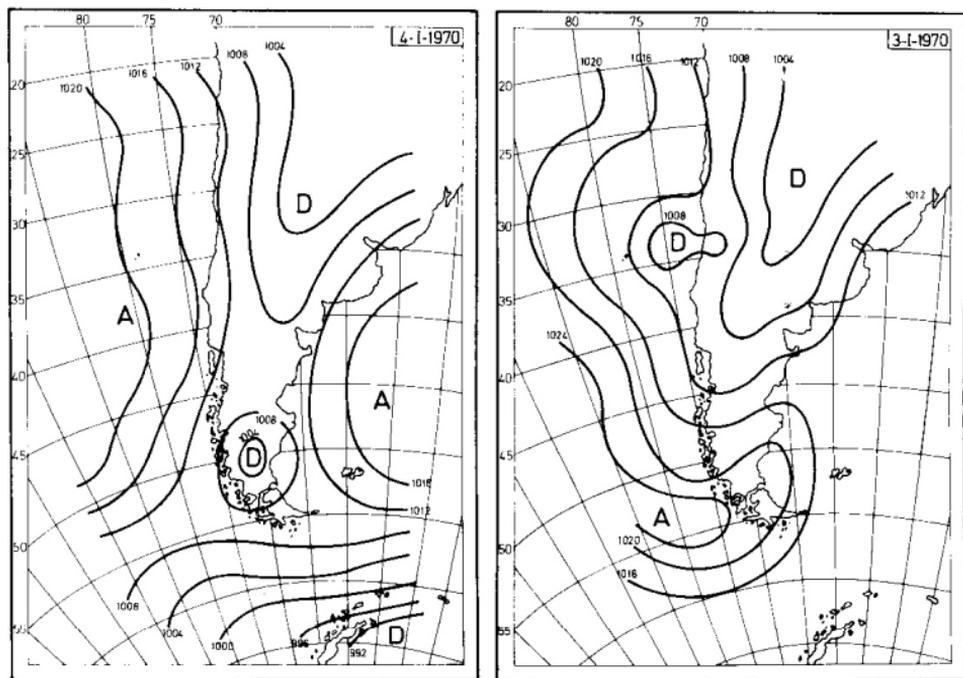


Fig. 2. Situaciones sinópticas de buen y mal tiempo de verano, 4 y 3 de enero de 1970 (Schneider 1971). A = anticiclones. D = depresiones barométricas.

dio mensual de  $17^{\circ}\text{C}$ , es significativamente inferior al de un día típico de verano, señalado en el ejemplo del 4 de enero de 1970. La transición entre estos dos estados de tiempo se inicia con la intensificación del viento SW en las últimas horas de la tarde del día 3 de enero, demostrándose así la rápida sucesión en que pueden ocurrir los distintos estados atmosféricos.

Otro tipo de mal tiempo de primavera-verano, mucho menos frecuente, consiste en perturbaciones ciclónicas provenientes del Pacífico subtropical y que alcanzan directamente la costa de Chile central, provocando uno o dos días con nublados, vientos del norte, temperaturas relativamente bajas y precipitaciones (Caviedes 1971). Así sucede el 7 de diciembre de 1957, en que Montemar registra un descenso de la presión

atmosférica a 1.011 mb; temperatura máxima del aire de  $16^{\circ}$  y mínima de  $10^{\circ}\text{C}$ ; viento N fuerza 4; cielo cubierto, llovizna en la mañana y fuerte lluvia en la noche. Estas condiciones persisten, atenuadas, al día siguiente. Pero el 9 de diciembre se restablece la actividad anticiclónica estacional, registrándose una presión atmosférica de 1.017 mb; fuerte viento SW; cielo despejado, y temperatura del aire de  $19^{\circ}$  y  $11,8^{\circ}\text{C}$  en sus valores extremos.

1.3. El mal tiempo típico de invierno corresponde a la secuencia observada entre el 14 y 16 de julio de 1967. En la situación que ilustra el primer cuadro de la figura 3, el centro del anticiclón se encuentra rechazado hacia los  $23^{\circ}\text{S}$ , en tanto que una depresión barométrica cuyo centro marca 999 mb

avanza hacia el centro y sur de Chile. Este tipo de situación depresionaria de invierno está asociado con sistemas frontales, fríos y cálidos, como se observa en la carta sinóptica del 16 de julio, con grandes precipitaciones. Según Peña *et al.* (1975) se trata de familias de perturbaciones que se producen por la activación del Frente Polar ligada al reforzamiento y desplazamiento hacia el N de la corriente de chorro del hemisferio sur. El efecto de esta situación en Montemar se traduce en que entre el 14 y 15 de julio se registra un descenso de la presión atmosférica de 1.018 a 1.014 mb y comienza a soplar viento del N y NW, alcanzando fuerza 5 Beaufort desde la mañana del día 16; asimismo, las precipitaciones se inician en la madrugada del 16, registrándose un total de 26 mm ese día, 29 mm el día 17 y 66 mm

el 18, fecha en que declina el viento N para pasar a calma y brisa del SE, como término de la actividad ciclónica. La temperatura media del aire fue de 11,9°C el día 16 y de 8,7°C el día 18, siguiendo el paso de los sistemas frontales cálidos y frío, respectivamente.

1.4. Las condiciones de buen tiempo de invierno están caracterizadas por el bloqueo anticiclónico observado entre el 4 y el 8 de agosto de 1970. En la carta sinóptica del 4 de agosto (fig. 3) se aprecia que las depresiones con sus respectivas perturbaciones frontales que se aproximan al continente son desviadas hacia el SE por el bloqueo o cuña anticiclónica que prevalece sobre el norte y centro sur del país hasta latitud 38°S. Este predominio anticiclónico se ex-

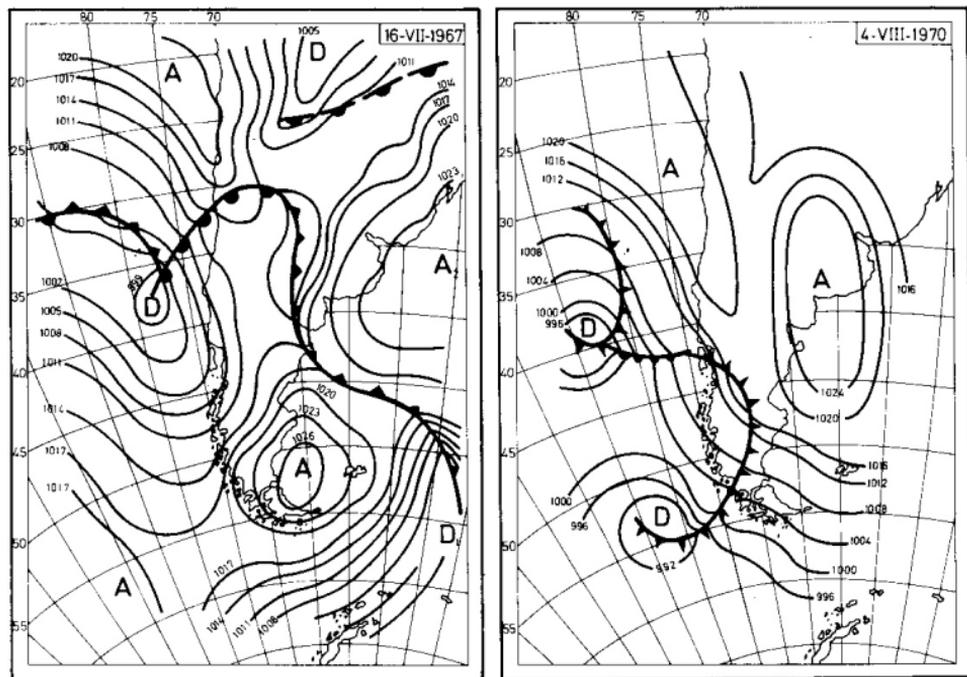


Fig. 3. Situaciones sinópticas de mal y buen tiempo de invierno, 16 de julio de 1967 y 4 de agosto de 1970 (Schneider 1971). A = anticiclones. D = depresiones barométricas. Frentes fríos indicados por triángulos; frentes cálidos, por semicírculos.

tiende el 6 y el 8 de agosto, sobre gran parte del continente sudamericano desde el Pacífico hasta el Atlántico, con eje en latitud 35°S, quedando las depresiones rechazadas más al sur de los 45°S. En Montemar esta situación coincide con el aumento sostenido de la presión atmosférica, desde un promedio de 1.019,6 mb registrado el 3 de agosto, hasta alcanzar 1.022 mb el día 4 y 1.025 mb el 6 de agosto, descendiendo el día 8 a 1.014 mb. Durante este período se observa calma y viento del SW de poca intensidad, nubosidad parcial y temperatura media del aire entre 11° y 12°C.

En resumen, las condiciones de buen tiempo observadas en invierno, al igual que los días de mal tiempo de verano, indican que el paso de una estación a otra no es lineal, sino que permite regresiones meteorológicas importantes (Schneider 1971, Peña *et al.* 1975), lo que aparece corroborado por el registro de Montemar.

## 2. LA RADIACIÓN SOLAR Y EL RÉGIMEN TÉRMICO

En el transcurso del año, se ha observado que Montemar presenta valores máximos de nubosidad a las 08.00 horas y mínimos a las 19.00. Se aprecia un aumento continuo de la nubosidad desde un mínimo en enero hasta un máximo en julio, seguido de una disminución regular que en algunos años se invierte solamente en octubre. Por lo general, se trata de nubes bajas y medias, tipo *strato cumulus*, que corresponden a las condiciones atmosféricas del régimen anticiclónico asociado a la acción estabilizadora de las aguas frías de la corriente de Humboldt frente a la costa de Chile central.

La nubosidad repercute, inversamente, en los valores de insolación que recibe la bahía de Valparaíso. En los promedios anuales, se ha registrado un máximo de 8 a 9 horas diarias de sol en diciembre y enero, y un mínimo ligeramente superior a 3 horas diarias en junio y julio (Reyes 1967, Pizarro 1973). Pero estas diferencias se atenúan al considerar la distribución de las horas de

sol en días patrones de las cuatro estaciones del año, con tendencia a igualar la insolación en primavera-verano y en otoño-invierno (Alveal 1971). En todo caso, la insolación no mide toda la energía solar que se recibe en el año y se ha comprobado que distintas localidades, en igual latitud de Chile central, registran igual monto de radiación solar en términos energéticos a pesar de las diferencias de insolación que determina la nubosidad (Dobosi and Ulriksen 1970). La validez de este hecho en Valparaíso queda ilustrada en la figura 4, notándose que no hay estricta correspondencia en la evolución de la energía solar global y de las horas efectivas de sol, según datos del observatorio de la Universidad Santa María, en igual lapso de tiempo.

La insolación menor que consigna Montemar puede explicarse por la cercanía al mar de este observatorio, con su instrumental más expuesto a neblinas de poca altura y a una mayor humidificación del ambiente, especialmente en la madrugada, disminuyendo entonces la sensibilidad del heliógrafo. Esta diferencia en los registros de la insolación puede explicarse también por la calidad de los instrumentos y la rigurosidad de las mediciones, reconociendo

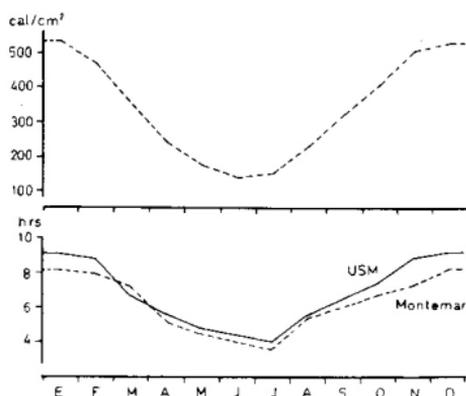


Fig. 4. Relación entre radiación solar global en cal/cm<sup>2</sup>/día (arriba) y horas de sol por día (abajo) registradas en Universidad Santa María, USM, y en Montemar. 1963-70.

la mejor capacitación del laboratorio de la Universidad Santa María.

Cabe agregar, respecto a la figura 4, que por tratarse de una serie cronológica más corta, la insolación no acusa el efecto negativo del aumento de la nubosidad en el promedio de octubre, y que efectivamente se produjo en 1958, 1960, 1962, 1964 y 1968. Por lo demás, hemos señalado que ligeras variaciones de la insolación no repercuten en la energía solar global que recibe Valparaíso.

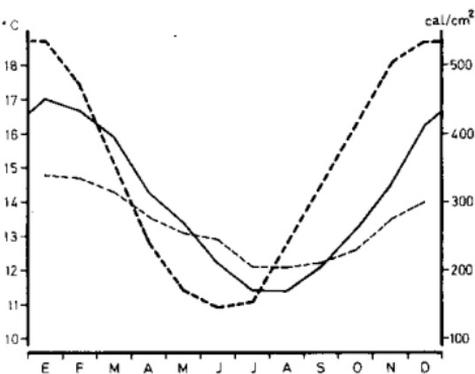


Fig. 5. Inercia térmica de las temperaturas medias del aire (línea continua) y de la superficie del mar (trazos finos) con respecto a la radiación solar (trazos gruesos). Promedios mensuales, 1963-70.

La figura 5 ilustra la influencia preponderante de la radiación solar, en térmicos energéticos, sobre el régimen térmico del aire y de la superficie del mar en la bahía de Valparaíso. Se aprecia que el régimen anual está condicionado por la mayor homogeneidad térmica del mar y la influencia moderadora que éste ejerce sobre las temperaturas del aire. En el transcurso del año esto se manifiesta en la diferencia de amplitud de las dos curvas térmicas y en el retraso para responder a las variaciones extremas de la radiación solar. Así, los valores máximos de radiación solar se registran en diciembre y enero, en tanto que los promedios más altos de temperaturas del aire y del mar corresponden a enero y febrero; a su

vez, el mínimo de radiación se recibe en junio, mientras que los promedios más bajos de temperaturas se registran en julio y agosto.

El efecto moderador del océano adquiere especial relevancia en otoño e invierno, al disminuir significativamente la radiación solar. En tales circunstancias, el mar contribuye en forma positiva al balance térmico entregando a la atmósfera calor sensible y calor latente de evaporación, como es de suponer que sucede desde junio hasta agosto, cuando las temperaturas superficiales del mar son superiores a las del aire y la radiación solar es muy baja. Es decir, durante el invierno, el flujo de energía determinado por la interacción océano-atmósfera entregaría calor al aire, y la situación inversa debiera ocurrir en verano (fig. 5). En tal sentido, cabe tener en cuenta que la evaporación implica la transferencia más importante a la atmósfera del excedente de energía térmica recibida por el océano (Sverdrup 1943); depende de la diferencia térmica entre la superficie del mar y la capa de aire superpuesta y se realiza en cualquier época del año en la medida que el aire no está saturado de vapor de agua, contribuyendo a este proceso la acción del viento.

Por otra parte, del examen de los antecedentes climatológicos se desprende que, en general, las masas de aire que afectan el litoral de Valparaíso son húmedas por su origen y relativamente estables debido a la subsidencia, de modo que al entrar en contacto con la superficie fría del mar favorecen las condensaciones, suavizando así las características de los meses con mayor radiación solar. Caviedes y Aguila (1969) señalan interrupciones en el buen tiempo de primavera y verano por el avance de masas de aire húmedo desde el mar hacia la zona costera de Valparaíso donde, debido al calentamiento del suelo durante las horas de fuerte insolación, se produce cierto ascenso térmico del aire que por condensación da origen a una capa de nieblas o nubosidades bajas, generalmente matinales. Esto coincide con nuestras observaciones sobre el régimen anual de nubosidad, y podemos

agregar que la mayor frecuencia de nieblas registradas en Montemar corresponde a marzo, abril y mayo, con un promedio de 6 días por mes, y en segundo lugar a septiembre y octubre, con un promedio de 4 días con nieblas por mes.

Las diferencias térmicas entre el aire y la superficie del mar, según los promedios mensuales, tienden a disminuir al extender

el análisis al período 1958-70 (tablas 7 y 8) debido a la suavización que introduce el aumento de la escala temporal. En cambio, la figura 6 muestra el diferente rango de oscilación que siguen estas temperaturas al registrarse simultáneamente tres veces al día, en igual período 1958-70. En las temperaturas del mar, la amplitud anual alcanza  $2.4^{\circ}\text{C}$  a las 8 horas,  $3.1^{\circ}\text{C}$  a las 14

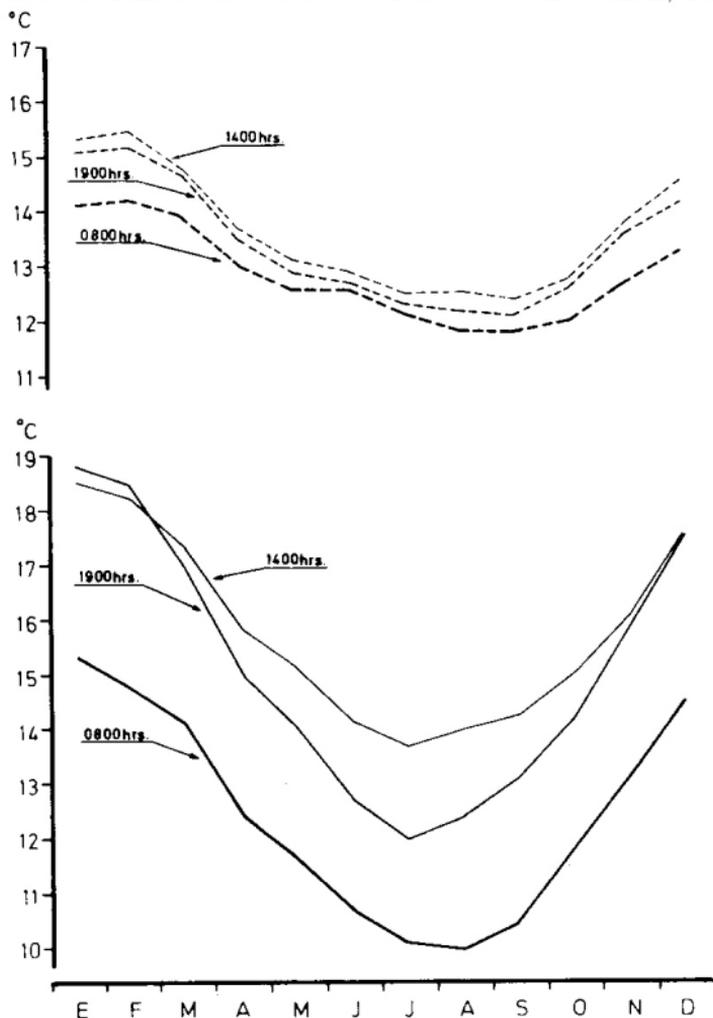


Fig. 6. Temperaturas de la superficie del mar (arriba) y del aire (abajo) a las 08.00, 14.00 y 19.00 horas en Montemar. Promedios mensuales, 1958-70.

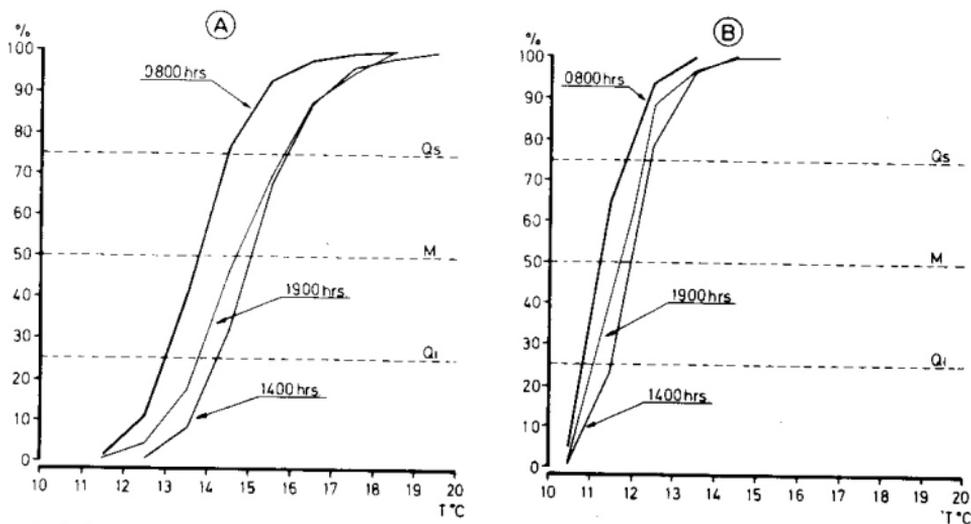


Fig. 7. Frecuencias relativas acumuladas de las temperaturas superficiales del mar en Montemar. A: febrero, mes más cálido. B: septiembre, mes más frío. Qs = cuartil superior. M = mediana. Qi = cuartil inferior.

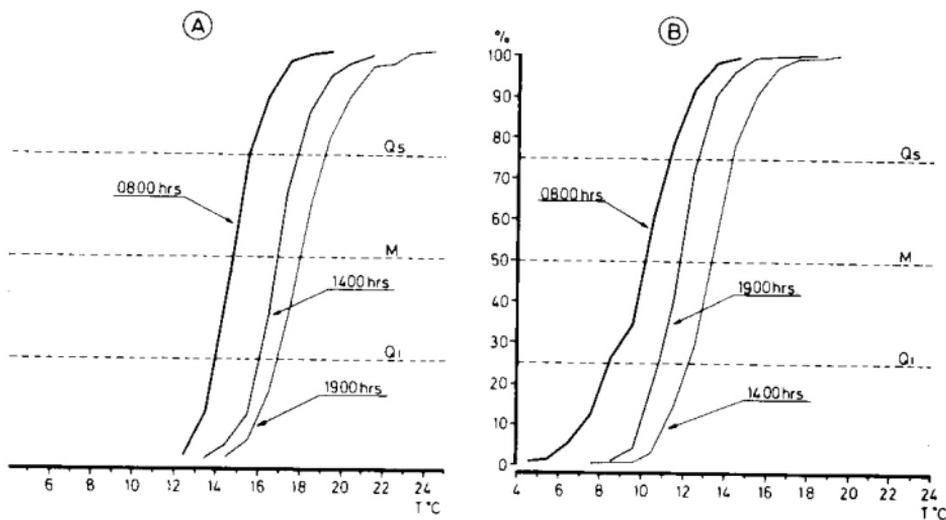


Fig. 8. Frecuencias relativas acumuladas de las temperaturas del aire en Montemar. A: enero, mes más cálido. B: julio, mes más frío. Qs = cuartil superior. M = mediana. Qi = cuartil inferior.

horas y  $3.9^{\circ}\text{C}$  a las 19. En las temperaturas del aire, a las mismas horas, la amplitud anual es de  $5.3^{\circ}\text{C}$ ,  $4.8^{\circ}\text{C}$  y  $6.1^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. En esta figura, la regularidad térmica del mar se aprecia en que las tres curvas horarias mantienen su posición relativa a través del año, salvo un leve aumento de la amplitud desde octubre hasta marzo. En el caso del aire, sólo la curva de las 08.00 horas conserva la posición inferior en la evolución anual, mientras que la curva de las 19.00 horas se superpone a la de las 14.00 durante enero y febrero. Además, la mayor separación entre las curvas térmicas del aire se produce en los meses invernales, desde junio a septiembre, a diferencia del régimen del mar que presenta más estabilidad en invierno.

Estas diferencias en el comportamiento térmico se aprecian mejor en las curvas de frecuencias de temperaturas para los meses más cálidos y más fríos del año (figs. 7 y 8). En el gráfico correspondiente al mar, por la pendiente de las curvas, se observa mayor variabilidad de las temperaturas en febrero que en septiembre: en el mes más cálido la totalidad de los valores se distribuye entre  $11,5^{\circ}$  y  $19,5^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, mientras que en el mes más frío lo hacen en el rango menor comprendido entre  $10,5^{\circ}$  y  $15,5^{\circ}\text{C}$ . A la inversa, en el aire es mayor el rango de variación en el mes más frío que en el más cálido, alcanzando respectivamente  $15^{\circ}$  en julio y  $12^{\circ}\text{C}$  en enero.

Las figuras 7 y 8 representan los meses de características extremas, y confirman que en el mar y en el aire las temperaturas más bajas se observan a las 08.00 horas. Pero la situación térmica a las 14.00 y 19.00 horas presenta cambios estacionales. En el mes más cálido y en el más frío del mar, las mayores probabilidades con temperaturas más altas se encuentran a las 14.00 horas; sin embargo, el estrechamiento superior de las curvas (fig. 7) indica que la temperatura máxima se observa algunas veces a las 19 horas: entre  $16^{\circ}$ - $17,5^{\circ}\text{C}$  en febrero y entre  $13^{\circ}$ - $14,5^{\circ}\text{C}$  en septiembre. Este hecho no queda registrado en los promedios mensuales de la figura 6.

En el caso del aire sólo el mes más frío no presenta cambios en la posición relativa de las curvas para las 14 y 19 horas. Pero la situación se invierte en el mes más cálido: las mayores probabilidades de encontrar temperaturas más altas corresponden a las 19 horas en vez de las 14 horas (fig. 8). Este hecho, también consignado en los promedios de enero y febrero que reproduce la figura 6, puede interpretarse como un aporte de calor que hace el mar a la atmósfera, considerando que la radiación solar directa ha disminuido sensiblemente a esa hora del día. El retraso térmico del aire también se advierte en noviembre y diciembre por la semejanza de las temperaturas observadas a las 14.00 y 19.00 horas, corroborando la influencia marítima.

Las condiciones medias del régimen térmico observado en la bahía se indican detalladamente en las tablas 7, 8 y 9. Considerando un valor promedio de  $13,3^{\circ}\text{C}$  en la temperatura superficial del mar y de  $14,4^{\circ}\text{C}$  en la temperatura del aire, la variabilidad interanual es reducida, con una misma desviación estándar de 0,25 para ambos valores. Esto puede interpretarse como una manifestación de homogeneidad del clima marítimo. No obstante, al examinar los promedios mensuales de la serie se aprecian diferencias: en la mayoría de los meses la desviación estándar es mayor en las temperaturas del aire, aunque esta relación se invierte en favor de las temperaturas del mar en enero, abril, septiembre y octubre.

La evolución de las temperaturas medias mensuales del aire y de la superficie del mar muestra una estrecha correlación ( $R = 0,97$ ), indicando cierta similitud en la reacción térmica de ambos parámetros a través del año. No sucede lo mismo cuando se correlacionan las temperaturas medias anuales del aire y del mar en la serie 1958-70, en cuyo caso el índice baja a 0,42. El régimen anual también presenta alta correlación entre los promedios mensuales de radiación solar y de temperaturas del aire ( $R = 0,74$ ) y un índice menor entre la radiación solar y las temperaturas superficiales del mar ( $R = 0,64$ ).

En el análisis de relaciones espaciales, se encuentra una estrecha asociación en la evo-

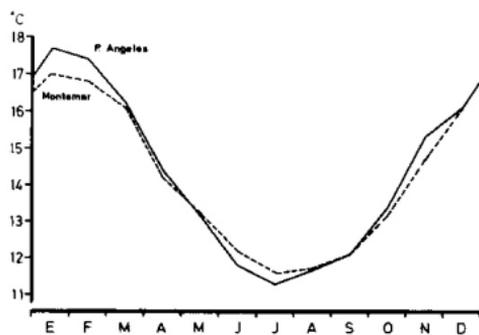


Fig. 9. Temperaturas medias del aire en Punta Angeles y Montemar. Promedios mensuales, 1958-70.

lución de las temperaturas del aire en dos puntos opuestos de la bahía, Punta Angeles y Montemar, determinada por un coeficiente de correlación 0,99 para los promedios men-

suales en la serie 1958-70 (fig. 9). Es interesante consignar, asimismo, la similitud que presentan ambos puntos costeros en la preeminencia térmica del otoño sobre la primavera, característica que se ha encontrado en áreas geográficas sometidas a la influencia de las masas de aire marítimo, a diferencia de lo que sucede en áreas encajonadas al interior de Chile central (Peña y Romero 1972). En la figura 10, representativa de Montemar y Punta Angeles, en cada caso se ha trazado primero la curva de temperaturas del aire desde enero hasta julio, y luego, de derecha a izquierda, la curva correspondiente al segundo período del año, retornando al mes de partida. En ambas curvas dobles queda en evidencia la ventaja térmica de los meses otoñales (marzo, abril y mayo) sobre los meses primaverales (septiembre, octubre y noviembre), explicable por la mayor lentitud en el enfriamiento y recalentamiento del océano y por su consi-

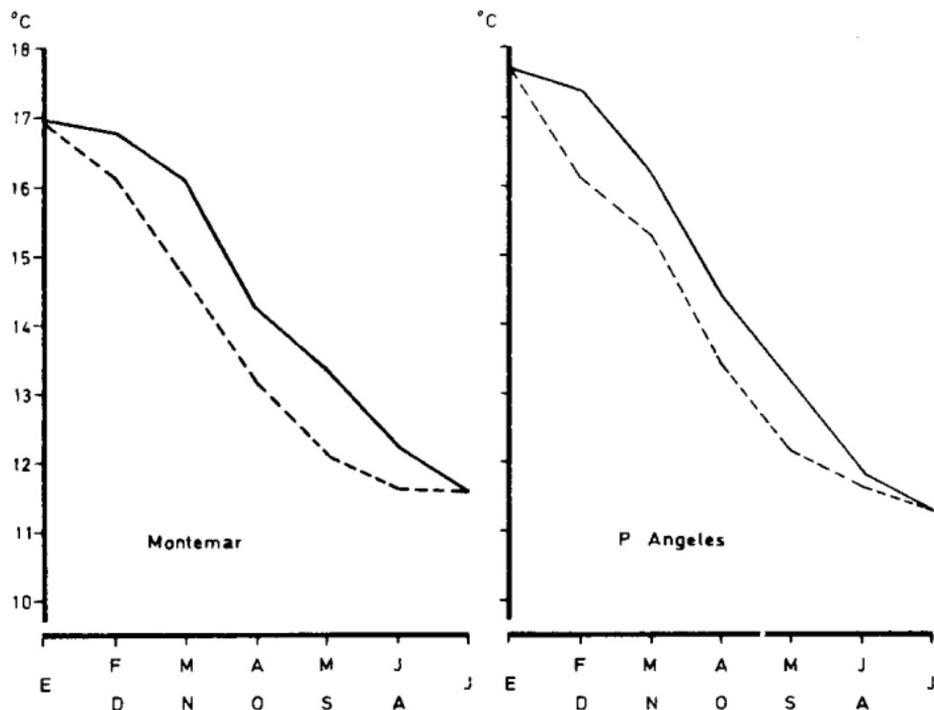


Fig. 10. Diferencia térmica primavera-otoño en Montemar y Punta Angeles. Temperaturas medias mensuales del aire.

guiente influencia sobre la temperatura atmosférica.

En la caracterización general, el régimen térmico de la bahía de Valparaíso presenta 5 meses cálidos, desde noviembre hasta marzo, y 5 meses fríos, desde mayo a septiembre, con temperaturas del aire y de la superficie del mar claramente superiores e inferiores a los promedios anuales.

### 3. HUMEDAD Y PRECIPITACIONES

La observación de la humedad en Montemar durante 1958-70 entrega resultados muy conocidos para las regiones litorales y que no difieren de los publicados anteriormente (Reyes 1967). Una alta humedad matinal, 85% en promedio, prevalece en todos los meses del año, en tanto que la humedad vespertina se acentúa en invierno, hasta un promedio de 85% en julio, y decrece en los meses de verano hasta 77-78% en promedio. Dentro de esta uniformidad de la humedad relativa (fig. 11) pueden distinguirse dos aspectos en los promedios mensuales: valores de 82% desde noviembre hasta febrero y de 84 a 95% en el resto del año.

Las mismas características de humedad están reflejadas en la curva de los valores de Punta Angeles en la figura 11. Nótese que la diferencia entre Montemar y Punta Angeles es muy leve; no sobrepasa el 4% en los promedios más separados. La humedad algo mayor

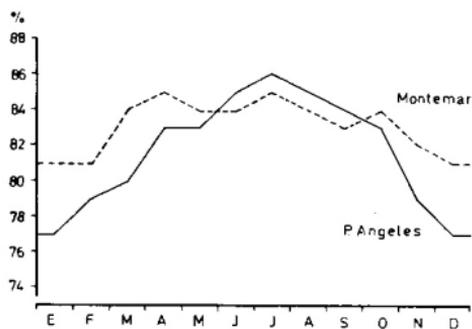


Fig. 11. Promedios mensuales de la humedad relativa en Montemar y Punta Angeles. 1958-70.

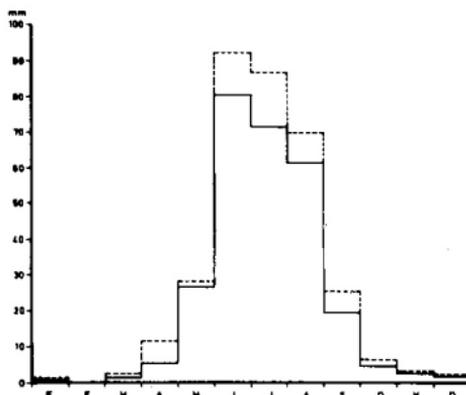


Fig. 12. Promedios mensuales del monto de precipitaciones (mm) en Montemar (línea continua) y en Punta Angeles (línea de trazos). 1958-70.

que prevalece en Montemar se debe, naturalmente, a la proximidad al mar de este observatorio.

Las precipitaciones lluviosas registradas en Punta Angeles y Montemar (figs. 12 y 13) tienen las características comunes de concentración invernal y variabilidad interanual determinadas para Chile central (Fuenzalida 1965). Esta condición del fenómeno exige estudiar un periodo largo de observaciones pluviométricas, pero le quita validez a la media aritmética como índice climático. Considerando años normales de precipitaciones aquellos cuya variabilidad es igual o menos de un 10% del promedio de 358 mm registrado en Valparaíso entre 1941-70 (Sánchez 1975) se comprueba una tendencia a la disminución de las precipitaciones (fig. 13). Específicamente, Punta Angeles presenta 47% de años con precipitaciones iguales o inferiores a la normal (322 mm) y 37% de años con valores iguales o superiores a la normal (394 mm). Un resultado semejante se obtiene al evaluar los datos pluviométricos de Montemar en relación al rango de variabilidad del 10% en torno al promedio de 275 mm registrado en la serie 1958-70: se presentan 8 años con precipitaciones iguales o inferiores a la normal (248 mm) y 5 años con valores iguales o superiores a la normal (302 mm).

Es importante consignar que las variaciones interanuales del régimen lluvioso de Valparaíso siguen igual tendencia y características generales, aunque con distinta amplitud, en otras siete estaciones pluviométricas en la cuenca del río Aconcagua, desde la costa hasta la zona cordillerana, entre los paralelos  $32^{\circ}40'$  y  $33^{\circ}10'$  de latitud sur (Sánchez *op. cit.*). Vale decir, las ligeras diferencias anuales o mensuales de precipitaciones que se registran entre Montemar y Punta Angeles, o respecto a otro punto en la bahía de Valparaíso, carecen de significación frente a la naturaleza geográfica del fenómeno meteorológico.

Por otra parte, estudios oceanográficos realizados en la zona costera de Valparaíso demuestran que las precipitaciones invernales disminuyen la salinidad superficial del mar por lo menos hasta 10 m de profundidad (Silva 1973, Pizarro 1976). Cabría considerar, entonces, el efecto de dilución adicional por parte del río Aconcagua, cuya desembocadura se encuentra hacia el norte de la bahía (fig. 1), si se comprueba la existencia de una

corriente de marea con flujo predominante hacia el sur (Empresa Municipal de Desagües 1974). El río Aconcagua recibe su mayor aporte del régimen pluviométrico y experimenta considerables fluctuaciones en su caudal de descarga, aparte del gasto en riego agrícola y agua potable. Por ejemplo, desde noviembre de 1964 hasta marzo de 1965, el río no alcanzó a llegar a la desembocadura, como consecuencia de la sequía imperante en 1964 en toda la cuenca hidrográfica. La disminución que se venía notando en el caudal de descarga del Aconcagua, acentuada normalmente en los meses de verano, determinó que la Refinería de Petróleos ENAP dispusiera, en 1965, la captación de agua de mar como sistema alternativo al suministro del río para la refrigeración de la planta industrial, con un requerimiento de 1.500 a 2.000 l/seg. (ENAP, Refinería Concón, comunicación personal).

Finalmente, revisando el registro histórico de datos meteorológicos, hemos comprobado que las mayores anomalías pluviométricas de Valparaíso, en torno a un promedio

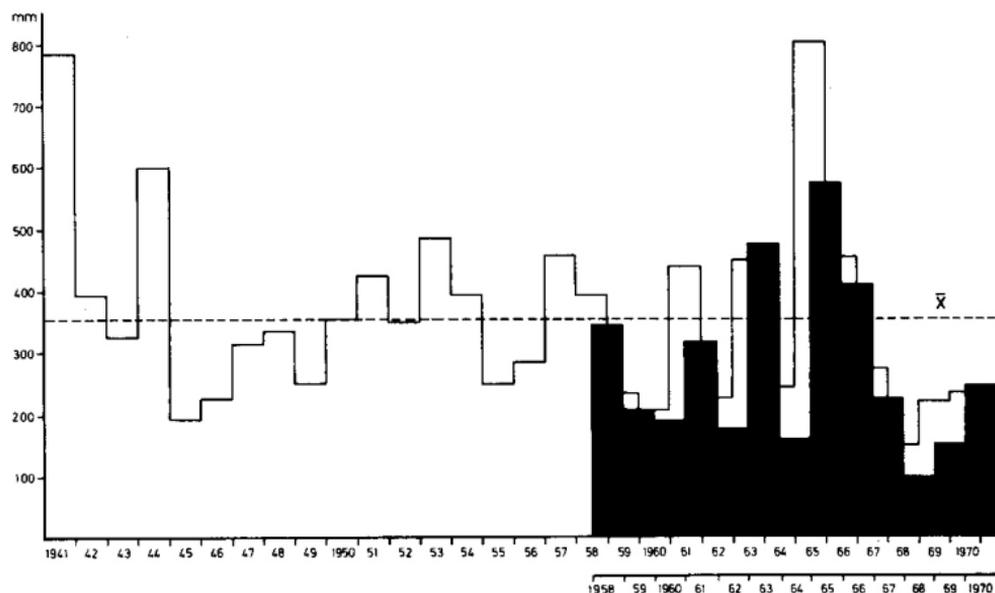


Fig. 13. Sumas anuales del monto de precipitaciones en Punta Angeles (barras blancas) y en Montemar (barras negras).

anual cercano a 350 mm para períodos de 30 años de observaciones, guardan cierta correspondencia con la presentación del fenómeno El Niño en el Pacífico Sur Oriental. En la mayoría de los casos, en el mismo año o al año siguiente de El Niño se registraron en Valparaíso precipitaciones muy superiores al promedio: así sucedió en 1891 (824 mm); 1926 (879 mm); 1941 (788 mm); 1965 (812 mm) y 1972 (460 mm). Con mucho menos frecuencia, el año anterior al fenómeno El Niño ha sido extraordinariamente seco: 1924 (62 mm) y 1968 (80 mm).

#### 4. EL RÉGIMEN DE VIENTOS

Los vientos observados en la bahía de Valparaíso, igual que en la zona central de Chile, responden a los efectos barométricos en superficie que provocan las variaciones estacionales en la ubicación y la intensidad de los grandes centros de acción atmosférica de importancia climática para el país (Whittaker 1943, Fuenzalida 1965). Tanto es así que se ha propuesto reconocer la actividad anticiclónica predominante en esta parte del territorio por la frecuencia anual media de los vientos del sector sur (SW, S, SE) y la actividad ciclónica, de mayor ocurrencia en invierno, por los vientos del norte (NW, N, NE), descartando las direcciones E y W (Peña *et al.* 1975).

La clasificación citada se comprueba en el esquema de la figura 14, que reproduce las variaciones del viento en la bahía de Valparaíso, tres veces al día, en cuatro meses representativos de condiciones estacionales, basándose en los datos de las tablas 10, 11 y 12. La figura y las tablas destacan la importancia de las calmas matinales a través del año, a diferencia de los vientos que se manifiestan con mayor vigor en torno a las 14.00 horas.

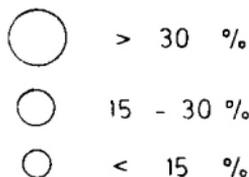
No obstante la escasa significación que alcanzan las componentes directas del E y W, su intervención podría interpretarse como un efecto local de la diferencia térmica entre la tierra y el mar. El viento E adquiere su mayor importancia a las 08.00 horas, especialmente en abril (frecuencia 11,8% y velocidad promedio 2,7 nudos) y en junio (frecuencia

11% y velocidad promedio 4,7 nudos), y correspondería, en tales circunstancias, a la brisa de tierra ocasionada por la mayor temperatura de la capa de aire superpuesta sobre el mar. Resulta más difícil distinguir la componente directa del W, equivalente a la brisa local de origen marino, dado el predominio del viento SW. El viento W sólo adquiere cierta significación en la tarde, especialmente a las 19.00 horas en octubre (frecuencia 12,1% y velocidad promedio 3,6 nudos) y en enero (frecuencia 5% y velocidad promedio 2,8 nudos). Por lo que indica la figura 6, en el mes de octubre y en torno a las 19.00 horas se acentúa el calentamiento del aire hacia la tierra, hecho que favorecería el desarrollo de la brisa respectiva. Si bien estas condiciones se mantienen en noviembre y diciembre, la componente directa del W desaparece o se incorpora a los altos valores que adquiere entonces el viento SW.

La figura 15 ilustra el régimen anual de vientos en Valparaíso en función de la frecuencia relativa de sus parámetros. Se distinguen dos períodos bien definidos y opuestos: el primero desde octubre hasta marzo, con máximo predominio del viento SW propio de la actividad anticiclónica, de frecuencia superior al 45%, y un segundo período que corre desde mayo hasta agosto, durante el cual los vientos N, asociados a la actividad ciclónica, alcanzan su mayor frecuencia. Las calmas, sin bajar su participación del 15% a través del año, tienen mayor importancia desde abril hasta julio, cuando disminuye la frecuencia del viento SW, y vuelven a ser importantes en septiembre, cuando ha disminuido la frecuencia del viento N y cobra relevancia el SW.

Esta caracterización del sistema de vientos coincide en sus rasgos principales con el régimen térmico de la bahía, que presenta meses cálidos desde octubre hasta marzo y meses fríos desde mayo a septiembre, tanto en el aire como en la superficie del mar. Asimismo, el régimen de vientos en la bahía puede ser relacionado con los procesos dinámicos que afectan a las masas de agua en la zona de Valparaíso, detectados por varios autores (Brandhorst 1971, Pizarro 1973, 1976, Silva 1973, Sievers y Silva 1975). Al respecto, el período desde octubre hasta marzo resulta muy favorable

## FRECUENCIA DE CALMAS



## FUERZA DEL VIENTO

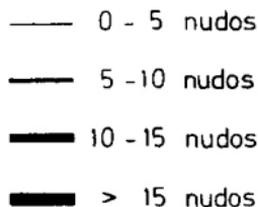


Fig. 14. Esquema del régimen de vientos en los meses más representativos de verano-otoño y de invierno-primavera. Punta Angeles, 1962-70. En los vectores que indican la dirección del viento, 1 mm representa un 2% de frecuencia y el grosor del trazo refleja el promedio de la velocidad del viento en nudos. La frecuencia de las calmas está señalada por el diámetro de cada círculo.

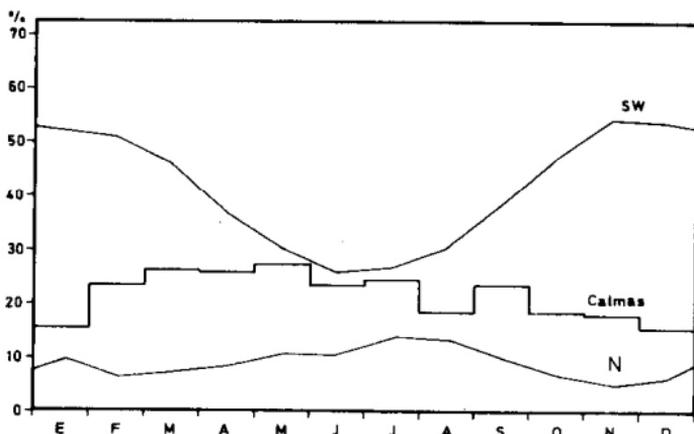


Fig. 15. Frecuencias mensuales de viento SW, vientos del norte (N, NE y NW) y calmas en la bahía de Valparaíso. Valores medios 1962-70.

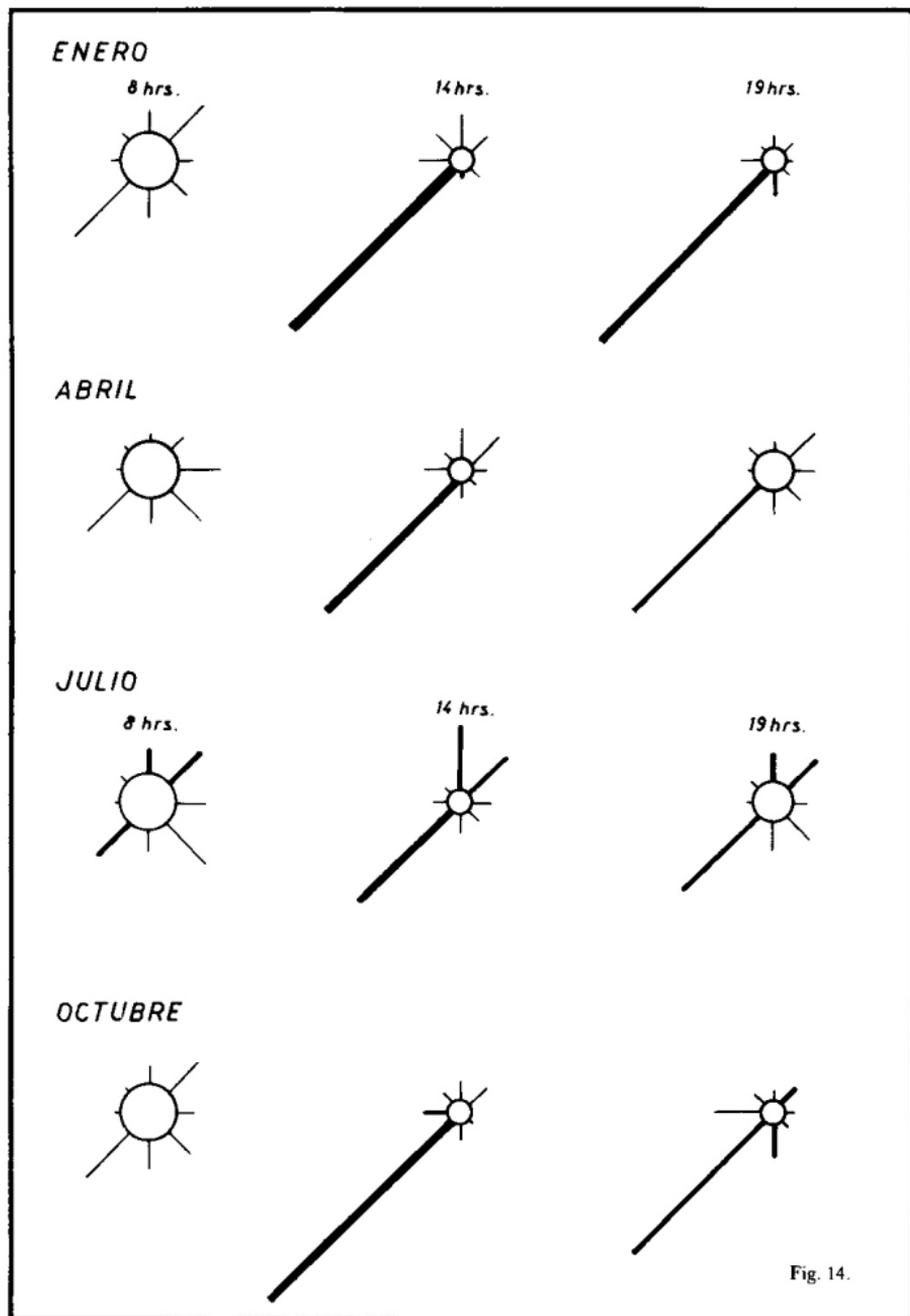
para los fenómenos de afloramiento, por los altos valores que adquiere el viento SW; en oposición, el incremento que se registra desde mayo hasta agosto en los vientos del norte tiende a provocar el hundimiento o la estratificación de las aguas costeras (Silva *op. cit.*), y también es posible que se produzcan aumentos de la temperatura superficial en la bahía debido al aporte de aguas oceánicas más cálidas empujadas hacia la costa por vientos N-NW (Pizarro *op. cit.*).

La apreciación sobre los efectos oceano-

gráficos del régimen de vientos no es absoluta. En la misma figura 15, basada en los promedios mensuales del período 1962-70, se nota cierto aumento del viento N en pleno verano, durante enero, lo cual tendría consecuencias contrarias para la sugerencia que es frecuente en esta época del año.

##### 5. LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA

El régimen barométrico de Montemar obede-



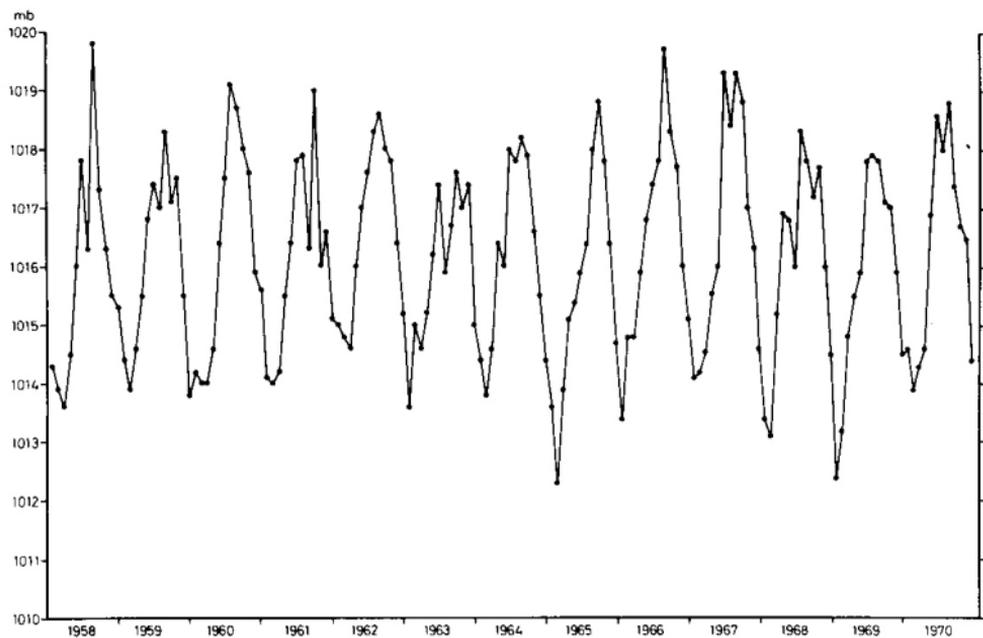


Fig. 16. Ondas anuales de presiones barométricas en Montemar, basadas en los promedios mensuales corregidos a nivel del mar.

ce a las leyes generales que rigen este fenómeno en latitudes medias y a las situaciones dinámico-atmosféricas que determinan los estados de tiempo típicos de Chile central. A nivel diario, mensual y anual las variaciones de la presión atmosférica en Montemar coinciden con las observadas en Valparaíso, según el régimen descrito por Whittaker (1943) para la subzona del país comprendida entre  $18^{\circ}$  y  $37^{\circ}$  de latitud sur. Así, las condiciones que permiten la formación de la depresión térmica de verano sobre Chile central determinan que enero o febrero, con diferencia de sólo 1 mb en sus promedios, sea el mes de mínima presión atmosférica en superficie. Los valores máximos se presentan en agosto, cuando las depresiones barométricas ciclónicas dejan de alcanzar esta región del país y vuelve a prevalecer la actividad anticiclónica, observándose en el mismo mes el mayor enfriamiento del aire.

Por la utilidad que tiene la presión atmos-

férica como parámetro indicativo de condiciones meteorológicas generalizadas o de mayor escala, los promedios mensuales registrados en Montemar se han reproducido en ondas barométricas que abarcan desde 1958 a 1970 (fig. 16). Se destacan, en primer lugar, las grandes elevaciones barométricas registradas en 1967, que culminan sobre los 1.019 mb en los promedios de junio y agosto. En conjunto, el año 1967 presenta 9 meses con presiones medias superiores al promedio respectivo en la serie 1958-70 y ningún mes con valor inferior a 1.014 mb; vale decir, las anomalías barométricas son positivas. En correspondencia, este año es el más frío del período 1958-70, en la superficie del mar (tabla 7) y en la atmósfera (tablas 8 y 9), y como el fenómeno es particularmente notable en invierno, es razonable asociarlo con la intervención de masas de aire polar marítimo.

Como fenómeno barométrico opuesto, en la figura 16 se destacan las anomalías negativas

de casi 4 mb registradas en febrero de 1965 y en enero de 1969 con respecto a la media anual de 1.016 mb de la serie 1958-70. Asimismo, 1965 y 1969 presentan, respectivamente, 9 y 6 meses con presiones medias inferiores al patrón establecido en la serie 1958-70. Ahora bien, teniendo en cuenta que en 1965 y en 1969 fue detectado en el océano Pacífico Sur Oriental el fenómeno El Niño asociado con anomalías oceánicas y atmosféricas de gran escala (Miller and Laurs 1975) y que en tales años se registró el mayor calentamiento superficial en la bahía de Valparaíso (tabla 7), estimamos que las anomalías barométricas de 1965 y 1969 corresponden al debilitamiento de la presión atmosférica en toda el área del anticiclón del Pacífico Sur, índice de la Oscilación Austral en la fase que marca la aparición de El Niño (Quinn 1974). Cabe recordar que Valparaíso queda en el margen del sistema anticiclónico, de manera que sólo pueda reflejar parcialmente las variaciones barométricas registradas en las islas de Pascua y Juan Fernández, como parámetros más significativos de la Oscilación Austral (Quinn *ibid.*).

## DISCUSION

### CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA

El hecho de contar con 13 años de observaciones en este estudio de la bahía de Valparaíso induce, necesariamente, a discutir el significado climatológico de los resultados. En efecto, con el propósito de reconocer las condiciones más permanentes de la atmósfera y la oscilación de sus estados sucesivos dentro de ciertos rangos, la climatología utiliza, por lo general, 30 años de observaciones para definir los valores medios o normales de un área geográfica. Sin embargo, la normalidad de los valores climáticos —connotación estadística— depende sobre todo de la variabilidad de los parámetros en estudio, de la localización geográfica del lugar y de la longitud temporal de los registros de datos.

En el caso de la bahía de Valparaíso estimamos que el concepto de normalidad debe corresponder, en primer lugar, a ciertas con-

diciones de estabilidad que han sido reconocidas para el litoral del centro de Chile, tales como la homogeneidad térmica del aire, la persistencia de la alta humedad relativa y las variaciones estacionales del régimen de vientos. La influencia oceánica directa que se hace sentir en la bahía es otro factor que acentúa la regularidad que presenta el conjunto de elementos climáticos, y que hemos considerado favorable para deducir los valores normales del lugar a través de un período relativamente breve. En cambio, teniendo en cuenta la gran variabilidad e irregularidad de las precipitaciones que caen en Valparaíso, hemos utilizado de referencia otros estudios pluviométricos que abarcan 30 años de observaciones de esta zona.

La caracterización climatológica de la bahía es el resultado de tres niveles de tratamiento conceptual y metodológico del clima (Peña 1975). Al marco de la macroclimatología, que opera con explicaciones sobre fenómenos generales y con representación a pequeña escala de extensas zonas, corresponden las secuencias de los estados de tiempo típicos de Chile central; igualmente, la localización del corazón o centro del anticiclón del Pacífico suroriental y sus desplazamientos latitudinales que condicionan las secuencias atmosféricas típicas, cuyas expresiones en superficie son, entre otras, los vientos predominantes. A su vez, la dimensión climática de tales fenómenos queda de manifiesto cuando ellos se relacionan con las situaciones meteorológicas que se producen en el ámbito local de la bahía de Valparaíso. Es decir, las condiciones generales resultan modificadas en un segundo nivel de tratamiento climatológico. Dentro de tal consideración se incorporan ciertas interrelaciones de los elementos del clima. Por ejemplo, se describe la evolución paralela de las temperaturas del mar y del aire, y se presentan los días con nieblas o lloviznas matinales que resultan de la contigüidad entre el océano y el continente, más la influencia de la corriente de Humboldt.

En un plano de mayor especificidad, Montemar presenta temperaturas menores del aire, mayor humedad relativa, más nubosidad y menos precipitaciones que el observatorio

de Punta Angeles, situado a mayor altitud en el extremo sur de la bahía. Pero estas diferencias no son importantes en cifras absolutas o en porcentajes, y no podemos considerarlas significativas frente a la similitud en la evolución de los valores climáticos que expresa, por ejemplo, el coeficiente de correlación 0,99 deducido para las temperaturas medias mensuales del aire registradas en ambos puntos. Vale decir, las diferencias observadas son las de esperar en el ámbito de un clima local, sin constituir modificaciones que obedezcan a un elemento generatriz distinto en el orden espacial.

Ahora bien, desde el punto de vista de las variaciones interanuales, al analizar las temperaturas medias del aire registradas en Montemar y Punta Angeles encontramos que el índice de correlación baja a 0,54. En la tabla 13 se observa que desde 1958 hasta 1967 Montemar permanece más frío, pero entre 1968 y 1970 esta relación se invierte. Por lo mismo, en el estudio de las relaciones espaciales, la variabilidad promedio para las diferencias térmicas entre Montemar y Punta Angeles resulta muy alta (0,28) en comparación a la desviación media de la temperatura en cada uno de estos lugares.

Estos datos expresan que las temperaturas medias anuales del aire en Montemar y Punta Angeles no son cuasi constantes, y ello podría explicarse por la intervención de un factor no ponderado en el registro de Punta Angeles en los tres últimos años de la serie, que se apartan de la tendencia de los diez años anteriores. En todo caso, aplicando el criterio de Helmert (Conrad and Pollak 1962) para determinar la homogeneidad relativa en los valores de Montemar y Punta Angeles, se establece que la comparación entre ambos lugares es aceptable: la relación entre siete secuencias (S) y cinco cambios (C), observada en la variabilidad de las diferencias entre sus temperaturas en  $n$  casos (tabla 13) se mantiene dentro de los límites fijados por la expresión

$$-\sqrt{n-1} \leq S - C \leq +\sqrt{n-1}$$

En resumen, nos parece que las diferencias en los valores meteorológicos de Montemar y Punta Angeles, analizadas detalladamente en las temperaturas medias del aire, no llegan a constituir condiciones de microclima en ninguno de estos puntos, sino que guardan concordancia con la climatología local de la bahía de Valparaíso, esto es, de una realidad geográfica que presenta particularidades que constituyen una unidad en determinado nivel de la mesoclimatología. En cambio, el concepto de microclima obedece a una caracterización geográfica de pequeños lugares o espacios, por lo general muy próximos a la superficie del suelo, donde el confinamiento y la exposición adquieren máxima importancia, como también los factores físicos y biológicos relacionados con estos ambientes; tanto es así, que los hechos microclimáticos resultan muy singulares, sin admitir generalizaciones, y los métodos e instrumentos que demanda su investigación deben ser específicos para tales fines (Peña 1975).

#### INTERACCIÓN OCEANO-ATMÓSFERA

La influencia preponderante de la energía solar sobre la temperatura superficial del mar en latitudes medias del Pacífico sur ha sido determinada en investigaciones de mayor alcance (Sverdrup 1943, Wooster and Sievers 1970), sin desconocer los efectos térmicos de la circulación oceánica o atmosférica. En cambio, Pizarro (1973) en otro estudio de la bahía de Valparaíso, al analizar las curvas de las medias mensuales de radiación solar y de temperatura superficial del mar, ha estimado que no existe una relación aparente de causa a efecto entre ambos parámetros y atribuye exclusivamente a los vientos dominantes la responsabilidad de las anomalías térmicas que observó en Montemar. Tales aseveraciones nos parecen discutibles.

En primer lugar, dadas las diferencias de orden físico en la naturaleza de la atmósfera y del océano, y sobre todo por el mayor volumen y movilidad de las masas de agua (Sverdrup 1943, Koeppen 1948), no cabe esperar una reacción igual ni simultánea en las temperaturas de estos cuerpos por efecto de la ra-

diación solar. Es lógico que las curvas de las temperaturas mensuales del aire y de la superficie del mar no coincidan temporalmente con la que representa la energía solar como principal aporte calórico, pero siguen la evolución paralela que muestra la figura 5 del presente trabajo.

En segundo lugar, Pizarro (1973, fig. 4, tabla 8) consideró valores de energía solar deducidos de la radiación diaria sobre superficie horizontal en promedio para días sin nubosidad y con duración teórica del día, que relacionó con las horas de sol registradas en Montemar en el período 1959-69. Este pro-

cedimiento no permite una extrapolación semejante y, como señalamos al presentar los métodos de observación, entrega resultados erróneos. Así se comprueba al cotejar los valores de radiación estimados por Pizarro y los valores globales medidos por el Laboratorio de Energía Solar de la Universidad Santa María que hemos incorporado en nuestro estudio. En la comparación, ambas series están expresadas en unidades energéticas Langley-día para promedios mensuales que corresponden aproximadamente a los mismos años de observación en la bahía de Valparaíso:

Radiación solar	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Estimada	450	332	268	184	105	81	83	137	202	265	347	395
Medida	534	471	359	247	181	146	154	234	330	417	510	535

La asociación entre la energía solar y el régimen térmico de la bahía también se manifiesta al establecer la correlación parcial en las características formales de los elementos climáticos por el método de Conrad y Pollak (1962). Por una parte, los índices de asociación entre los promedios mensuales de energía solar con las temperaturas medias del aire ( $R = 0.74$ ) y con las temperaturas superficiales del mar ( $R = 0.64$ ) confirman la distinta reacción térmica de la atmósfera y el océano ante las variaciones de la principal fuente calórica. No obstante, siendo muy alta la correlación entre las temperaturas medias del aire y del mar ( $R = 0.97$ ), si mantenemos constante la radiación solar recibida este coeficiente disminuye a 0.80 y puede colegirse así la influencia de la energía solar en el índice de asociación de las dos variables.

El balance térmico entre el océano y la atmósfera ha sido expresado por Sverdrup (*op. cit.*) en la fórmula  $Q_s - Q_b - Q_h - Q_e = 0$ , cuyos términos corresponden a la radiación solar global que llega a la superficie oceánica, la irradiación devuelta hacia la atmósfera, la transmisión de calor sensible y la transferencia de calor latente de evaporación. Existen, desde luego, diferencias espaciales y tem-

porales en el balance de energía calórica sobre los océanos, por causa de la movilidad de las masas de agua. Wooster y Sievers (*op. cit.*) han establecido que sobre el Pacífico Oriental al sur de latitud 2°S, el flujo total del calor que recibe el océano es siempre positivo, con superávit anual, y deducen que las corrientes marinas y la turbulencia juegan un importante papel en el control de las temperaturas superficiales. Sin embargo, los mismos autores subrayan que falta información detallada sobre estos procesos circulatorios, como asimismo en la medición de la presión que ejerce el viento sobre la superficie oceánica, espacial y temporalmente, en relación con los afloramientos de aguas en la zona costera del Pacífico Sur Oriental.

En lo que concierne a las anomalías térmicas superficiales señaladas para Montemar por Pizarro (1973, figs. 1 y 2), debemos rectificar algunos datos. Contrariamente a lo que expresa el autor (1973, pp. 85 y 91), luego de revisar el registro meteorológico diario de Montemar, hemos comprobado que en junio y julio de 1964, y en iguales meses del período 1958-70, no se presentaron temperaturas del mar de 17°C. Las máximas temperaturas absolutas del mar registradas durante el in-

vierno en los trece años de observaciones alcanzaron  $13^{\circ}\text{C}$  en junio de 1963 y junio de 1964, y  $14,2^{\circ}\text{C}$  en julio de 1963. Estas temperaturas sólo constituyen anomalías de  $2^{\circ}\text{C}$  sobre los valores medios respectivos, tanto en la serie 1959-70 de Pizarro (1973, tabla 2) como en la serie 1958-70 del presente estudio (fig. 6, tabla 7).

De mayor importancia son las anomalías térmicas del mar que se produjeron en abril de 1965, registrándose ocho temperaturas superficiales entre  $16^{\circ}$  y  $17,4^{\circ}\text{C}$ , o sea,  $3^{\circ}$  a  $4^{\circ}$  sobre el promedio mensual de la serie 1958-70. Pero estas anomalías no aparecen señaladas en el texto ni en la figura 1 de Pizarro (1973), aunque son apreciables en la figura 2 del mismo trabajo, lo que puede atribuirse a un error en la transcripción o en el manejo de los datos. En nuestro estudio, 1965 resulta un año excepcionalmente cálido en las temperaturas del mar (tabla 7) y consideramos que puede ser un efecto del fenómeno El Niño, señalado al referirnos a las oscilaciones interanuales de la presión atmosférica.

En resumen, nos parece que Pizarro confunde ciertas anomalías de la temperatura superficial de la bahía, asociadas a la acción de los vientos en función de la estabilidad de la columna de agua, con las fluctuaciones de temperatura que derivan principalmente del régimen de radiación solar incidente. Esto se advierte, por ejemplo, al expresar (Pizarro 1976) que las temperaturas altas de la bahía están asociadas a vientos del norte y que los valores mínimos ocurren en la época del año con mayor frecuencia de vientos S y SW. En realidad, las temperaturas altas del mar se producen naturalmente en el verano, de diciembre a febrero, cuando existe la mayor frecuencia de vientos S y SW, y las mínimas desde mediados a fines de invierno, de julio a septiembre, con la mayor frecuencia de vientos N y NW (figs. 5 y 15). En este marco, los vientos del sector norte y los del sur pueden favorecer, respectivamente, calentamientos y enfriamientos relativos de las aguas superficiales; esto se aprecia en el incremento de las temperaturas medias del mar que se producen en junio y en la prolongación de las temperaturas frías hasta septiembre-octubre (fig. 5).

En todo caso, los cambios de calor sensible que se manifiestan en los valores medios o en las anomalías de las temperaturas del aire y del mar en la bahía de Valparaíso, sólo constituyen una parte del balance térmico entre océano y atmósfera, pues no se ha determinado el aporte del calor latente de evaporación.

Cabe considerar, desde luego, la creciente importancia de los sensores remotos en el desarrollo de la meteorología y la oceanografía, que permiten un mejor aprovechamiento de los datos obtenidos por métodos tradicionales. Hasse (1971) ha determinado con exactitud de  $0,1^{\circ}$  a  $0,2^{\circ}\text{C}$  la diferencia entre la temperatura del mar tomada con ayuda de un balde y termómetro corriente respecto a la temperatura de la película superficial del agua registrada por satélite sobre un mismo lugar, lo que permite investigar con mayor rigurosidad el balance térmico entre océano y atmósfera.

#### LA CIRCULACIÓN EN LA BAHÍA

El régimen térmico de las aguas superficiales que hemos establecido en Montemar presenta una evolución anual muy semejante al registrado en la estación 1 (fig. 1) por Sievers y Silva (1973), a 5 millas de la costa, donde el predominio de la corriente de Humboldt es alterado ocasionalmente por el afloramiento de aguas subsuperficiales de la corriente de Gunther. Los autores citados establecen como hecho significativo, en la estación 1, la elevación de la isoterma de  $11^{\circ}\text{C}$  hasta los 50 m y 25 m de profundidad, desde septiembre hasta comienzos de noviembre, detectando, asimismo, en estos y otros meses del año, el ascenso de las isotermas de  $12^{\circ}$  y  $13^{\circ}\text{C}$  hasta la superficie. En la mayor parte de las observaciones oceanográficas efectuadas en la zona de Valparaíso, los enfriamientos superficiales y subsuperficiales se identifican como afloramientos asociados a la acción de los vientos S y SW, en coincidencia con el ascenso de determinadas isolíneas de salinidad y de oxígeno disuelto y en la disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, cuando el enfriamiento superficial no coincide con tales cambios en la distribución de las características físicas

y químicas, pensamos que podría tratarse de la turbulencia local que produce el viento, con menor efecto oceanográfico y climático.

El efecto térmico positivo que introduce el viento norte al provocar el hundimiento de las aguas en la zona costera de Valparaíso ha sido determinado por Silva (1973), reconociendo que las condiciones de surgencia, estratificación y hundimiento de las aguas ocurrieron indistintamente a través del año, con una gran variabilidad en los parámetros estudiados.

En relación al gradiente térmico en superficie, si se comparan las temperaturas de Montemar (tabla 7) con las registradas en las estaciones 1 y 2 de Sievers y Silva (1973) se comprueba un enfriamiento en dirección a la costa. Este hecho también se verificó en otro muestreo realizado en aguas sobre la plata-

forma continental al sur de la bahía de Valparaíso (Silva *op. cit.*). En cambio, Pizarro (1976, tabla 2) comparando las temperaturas de Montemar y de la estación A, cuya ubicación indicamos en la figura 1, encuentra 6 valores mensuales más altos en Montemar que denotarían un calentamiento de las aguas hacia la costa. En realidad, se trata de un error metodológico, pues el autor citado comparó los valores medios de Montemar, deducidos de más de 4.000 observaciones efectuadas, día a día, en el período 1959-70, con los valores que corresponden sólo a 45 temperaturas registradas en la estación A, en forma discontinua, entre 1967 y 1971. Por consiguiente, para rectificar el análisis, se reproducen a continuación las temperaturas mensuales del muestreo de Pizarro en la estación A comparándolas con valores registrados simultáneamente en Montemar.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Estación A	13,1	14,4	14,9	12,2	12,7	12,2	11,7	11,6	11,6	13,3	13,2	13,5
Montemar	12,2	13,3	14,6	12,1	12,5	11,9	11,3	10,7	11,1	12,2	12,7	13,4

En este análisis comparativo, las diferencias en las temperaturas del mar observadas en los dos puntos de la bahía se reducen bastante y se confirma que el gradiente térmico superficial disminuye hacia la costa (Reyes 1960). Por último, aunque en dos muestreos realizados el 22 de octubre y el 7 de diciembre de 1967, a 7 y 14 millas de Valparaíso, Pizarro (1976) observó en ellos temperaturas superficiales más frías que en la estación A, es importante tener en cuenta el carácter puntual de los cruceros oceanográficos. Es decir, es discutible que datos parciales o esporádicos puedan sustentar hipótesis o modelos de circulación oceánica. Por ejemplo, San Feliú y Muñoz (1967) en un estudio que realizaron frente a la costa de Castellón, España, disponiendo de anemógrafo y correntómetro, establecieron que los vientos no siempre producían corrientes de acuerdo con las leyes y estimaciones teóricas, y discuten la naturaleza de los afloramientos en esa zona del Mediterráneo.

En igual sentido crítico, queda por comprobarse el efecto que tendría sobre las temperaturas y las características hidrológicas de la bahía la corriente de tipo rotatorio derivada del régimen de mareas, según el modelo propuesto en el estudio de la Empresa Municipal de Desagües (1974), relacionado a su vez con las fluctuaciones del aporte del río Aconcagua. El modelo de circulación interna de la bahía sólo ha sido verificado en un punto próximo a la costa de Viña del Mar, donde se supone que actúa permanentemente un flujo de corriente hacia el sur.

## CONCLUSIONES

1. Por sus características geográficas y profundidad, la bahía de Valparaíso experimenta la acción de las masas de aire originadas sobre el Pacífico Sur, aire tropical marítimo y polar marítimo, y la influencia de la corriente de Humboldt con aguas de origen subantártico. Entre los procesos circulatorios que

afectan la bahía, se destacan los afloramientos de aguas de menor temperatura y con cambios significativos de las características físico-químicas, que se observan con mayor periodicidad desde septiembre hasta marzo al aumentar la frecuencia e intensidad de los vientos S y SW. Sin embargo, los enfriamientos ocasionales de la superficie del mar también podrían tener su origen en turbulencia producida por el viento, con menor efecto oceanográfico y climatológico, o ser una manifestación del intercambio de calor sensible y calor latente de evaporación entre el océano y la atmósfera.

2. La influencia de la corriente de Humboldt en el régimen térmico de la bahía se manifiesta, en primer lugar, en los bajos valores de las temperaturas medias anuales del aire y de la superficie del mar,  $14^{\circ}$  y  $13,3^{\circ}\text{C}$ , respectivamente; por otra parte, ambos parámetros mantienen una estrecha asociación en sus valores mensuales, expresada por un índice de correlación 0,97. Esta influencia marítima también se advierte en la reducida amplitud anual de las temperaturas medias del aire y de la superficie del mar, que alcanza  $6,1^{\circ}$  y  $2,9^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, como asimismo en la escasa variabilidad interanual expresada por una misma desviación estándar de  $0,25^{\circ}\text{C}$  para tales temperaturas.

3. Desde el punto de vista climatológico, independientemente de su relación con las actividades humanas, este estudio permite distinguir dos períodos típicos o estacionales en la bahía de Valparaíso. La época estival se desarrolla desde noviembre hasta marzo, con predominio de condiciones sinópticas de buen tiempo, temperaturas medias del aire y de la superficie del mar superiores a los promedios anuales, y radiación global incidente mayor de  $400 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$  en los promedios que se registran desde octubre a febrero. Además, en el período estival los vientos S y SW, propios de la actividad anticiclónica del Pacífico suroriental, adquieren su mayor intensidad y alcanzan una frecuencia media mensual superior al 45%. En cambio, durante la época invernal, desde mayo a septiembre, se presentan condiciones sinópticas de mal

tiempo, coincidentes con la mayor ocurrencia de vientos del sector norte que alcanzan 15% de frecuencia mensual entre junio y agosto, cuando también se registra la mayor parte de las precipitaciones. A su vez, las temperaturas medias mensuales del aire y de la superficie del mar son sensiblemente inferiores a los promedios anuales, en correspondencia con el brusco descenso de la energía solar recibida entre mayo y julio, de promedio mensual inferior a  $200 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$ .

4. Abril y octubre pueden considerarse meses de transición, con valores intermedios o de gran variabilidad climática. Abril presenta la más alta desviación estándar en los promedios mensuales de la temperatura superficial del mar ( $s = 0,79$ ), y octubre experimenta en algunos años un aumento de la nubosidad que es contrario a la evolución anual de este parámetro. En ambos meses las precipitaciones son generalmente escasas, pero muy irregulares de año en año.

A diferencia de las características estacionales y de transición, la humedad relativa del aire es uniformemente alta a través del año, con valores medios de 80% a 85%.

5. Las condiciones estivales e invernales de la bahía se interrumpen por períodos de mal y buen tiempo, respectivamente, con pocos días de duración dentro de la estabilidad relativa que determina la influencia del anticiclón del Pacífico Sur Oriental y de la corriente de Humboldt con respecto a la situación geográfica de Valparaíso.

6. En algunos años, las condiciones medias de la bahía se alteran por fenómenos meteorológicos y oceanográficos, altamente aleatorios, que pueden corresponder a tendencias o ciclos de gran escala y largo plazo. Así sucedió en 1967, al registrarse las temperaturas más bajas del aire y de la superficie del mar en los promedios mensuales y anuales respectivos de la serie 1958-70. Como este enfriamiento de la bahía fue más intenso en invierno y estuvo asociado a notables anomalías positivas de la presión atmosférica, podría tener su explicación en una mayor ocurrencia de invasiones de aire polar sobre esta parte del país.

De mayor interés se considera la repercusión del fenómeno El Niño, registrado en el Pacífico Sur Oriental en 1958, 1965 y 1969 en el marco del período 1958-70. En los tres años, Valparaíso acusó con cierto retraso y menor intensidad las anomalías positivas de la temperatura superficial del mar que fueron observadas en puertos peruanos y en Arica (Miller and Laurs 1975). Además, en 1965 y 1969 se registró el debilitamiento del régimen de presión atmosférica que coincide con el comienzo de El Niño, según el índice de la Oscilación Austral determinado por Quinn (1974), pero en menor grado en comparación a las islas de Juan Fernández y Pascua.

Valparaíso no ha presentado anomalías importantes en la temperatura del aire en relación al fenómeno El Niño. En cambio, revisando el registro histórico de datos meteorológicos, se comprueba que en correspondencia con este fenómeno Valparaíso experimentó las mayores variaciones anuales del régimen pluviométrico: años muy lluviosos en 1891, 1926, 1941, 1965 y 1972, y extraordinariamente secos en 1924 y 1968.

7. Considerando la insuficiencia de informaciones específicas sobre la interacción océano-atmósfera en los procesos energéticos y circulatorios del Pacífico suroriental, es recomendable proseguir las mediciones simultáneas de parámetros meteorológicos y oceanográficos en la bahía de Valparaíso y extender las observaciones a otros puntos de la costa continental e insular del país. Para esto es indispensable que las estaciones costeras dispongan de instrumental adecuado, de observación directa y de registro automático, ajustando la rutina de observaciones a normas internacionales.

En lugares donde se ha iniciado esta tarea, el estudio de series más numerosas de años permitiría determinar mejor las probabilidades de ocurrencia de los distintos valores de los elementos climáticos que llevan a deducir los valores medios o normales. Igualmente, la realización de un estudio más amplio de correlaciones, tanto en el aspecto lineal como múltiple, o el establecimiento de periodicidades y persistencias, requiere computación para procesar los miles de datos registrados.

## RESUMEN

Se analizan 13 años de observaciones diarias de parámetros meteorológicos y de temperatura superficial del mar mediante el registro de Montemar ( $32^{\circ}57'S$ ,  $71^{\circ}33'W$ ) correspondiente a 1958-70, complementado con datos de otros puntos de la bahía de Valparaíso. Basándose en la climatología dinámica, se establece una relación genética entre los estados de tiempo típicos de Chile central y las particularidades de la bahía. El análisis estadístico sigue proposiciones metodológicas de Conrad y Pollak (1962).

Se reconoce que la radiación solar incidente influye en la evolución que siguen las temperaturas medias mensuales del aire y de la superficie del mar, asociadas por un índice de correlación 0,97. El efecto moderador o conservador de la energía calórica que mantiene el océano se manifiesta en la distinta amplitud anual de ambos parámetros, y también en el retraso o inercia térmica del mar con respecto a las variaciones de la energía solar. La influencia de las aguas frías de la corriente de Humboldt se refleja, en primer lugar, en los bajos valores de las temperaturas medias anuales del aire y de la superficie del mar,  $14^{\circ}$  y  $13,3^{\circ}C$ ; en la reducida amplitud anual de estas temperaturas medias, que alcanza  $6,1^{\circ}$  y  $2,9^{\circ}C$ , respectivamente, y en la escasa variabilidad interanual de los promedios.

La bahía de Valparaíso recibe la acción de las masas de aire originadas sobre el Pacífico Sur y la influencia de los procesos circulatorios asociados a la corriente de Humboldt. Entre éstos, se destacan los afloramientos de aguas subsuperficiales de menor temperatura, que se observan con mayor frecuencia desde septiembre hasta marzo, al aumentar los vientos S y SW. Sin embargo, los enfriamientos ocasionales de las aguas también podrían ser atribuidos a turbulencia producida por el viento o ser una manifestación del intercambio de calor entre océano y atmósfera.

Desde un punto de vista climatológico, se identifican dos períodos estacionales en la bahía. La época estival, desde noviembre a marzo, con predominio de condiciones sinópticas de buen tiempo; temperaturas del aire y

del mar superiores a los promedios anuales, y radiación global sobre 400 cal/cm<sup>2</sup>/día en los promedios de octubre a febrero. Durante el período estival los vientos S y SW adquieren su mayor frecuencia media, superior al 45%. En cambio, durante la época invernal, de mayo a septiembre, se manifiestan condiciones sinópticas de mal tiempo, coincidentes con la mayor ocurrencia de vientos norte, que alcanzan un máximo de 15% de frecuencia entre junio y agosto, cuando también se producen las mayores precipitaciones lluviosas. En la época invernal, las temperaturas medias del aire y del mar son inferiores a los promedios anuales, en correspondencia con el brusco descenso de la energía solar recibida entre mayo y junio, de promedio inferior a 200 cal/cm<sup>2</sup>/día. Las condiciones estivales e invernales de la bahía presentan regresiones meteorológicas de pocos días de duración.

Las diferencias en los valores meteorológicos registrados en dos puntos de la bahía, Montemar y Punta Angeles, no resultan significativas frente a la similitud en la evolu-

ción de los valores climáticos. Tales diferencias no obedecen a un elemento generatriz distinto en el orden espacial y no constituyen condiciones microclimáticas.

Las condiciones medias de la bahía son alteradas algunos años por fenómenos meteorológicos y oceanográficos de importancia, altamente aleatorios. Al respecto, se destaca la repercusión del fenómeno El Niño registrado en el Pacífico Sur Oriental en 1958, 1965 y 1969. En los tres años, Valparaíso acusó, con cierto retraso y menor intensidad, las anomalías positivas de la temperatura superficial del mar observadas en puertos peruanos y del norte de Chile; igualmente, en 1965 y 1969 se registró el debilitamiento de la presión atmosférica según el índice de la Oscilación Austral determinado por Quinn (1974). Revisando el registro histórico de datos, se advierte que en correspondencia con El Niño, Valparaíso ha experimentado las mayores variaciones en el total anual de precipitaciones desde 1891.

AGRADECIMIENTOS. Agradecemos al profesor Julio Hirschmann, director del Centro de Energía Solar de la Universidad Técnica Federico Santa María, las informaciones y revisión del manuscrito en lo concerniente a su especialidad.

## LITERATURA CITADA

- ALVEAL, K. Estudios ficoecológicos en la región costera de la bahía de Valparaíso. *Rev. Biol. Mar. Dep. Oceanol. Univ. Chile*, **14**(1): 7-88.
- ALVEAL, K. El ambiente costero de Montemar y su expresión biológica. *Rev. Biol. Mar. Dep. Oceanol. Univ. Chile*, **1971** **14**(3): 85-119.
- AVARIA, S. Variaciones mensuales del fitoplancton de la bahía de Valparaíso, entre junio de 1963 y julio de 1966. *Rev. Biol. Mar. Dep. Oceanol. Univ. Chile*, **14**(3): 15-43.
- AVARIA, S. Estudios de ecología fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso. II. Fitoplancton 1970-1971. *Rev. Biol. Mar. Dep. Oceanol. Univ. Chile*, **1975** **15**(2): 131-148.
- AVARIA, S. Marea roja en la costa central de Chile. *Rev. Biol. Mar. Dep. Oceanol. Univ. Chile*, **1976** **16**(1): 95-11.
- BRANDHORST, W. Condiciones oceanográficas estivales frente a la costa de Chile. *Rev. Biol. Mar. Dep. Oceanol. Univ. Chile*, **1971** **14**(3): 45-84.
- CAVIEDES, C. e I. AGUILA. Los estados de tiempo típicos de Valparaíso, Chile Central. *Revista Geográfica de Valparaíso*, **3**(1 y 2): 3-21.
- CAVIEDES, C. Perturbations during the predominance of anticyclonic summer weather in central Chile. *Revista Geográfica Instituto Panamericano de Geografía e Historia*, **1971** **74**: 71-81.
- CONRAD, V. and L. W. POLLAK. *Methods in Climatology*, 459 pp., Harvard University Press, Cambridge, 1962.
- DOBOSI, Z. and P. ULRIKSEN. Distribution of global radiation over Chile, 6 pp. International Solar Energy Society 1970 Conference, Australian and New Zealand Section of the Society, Victoria.

- EMPRESA MUNICIPAL DE DESAGÜES. Cuenca del Marga-Marga. Estudio de factibilidad técnico y económico para 1974 el uso múltiple de los recursos hidráulicos, 546 pp., Valparaíso.
- FAGETTI, E. Desarrollo larval en el laboratorio de *Homalaspis plana* (Milne Edwards) (Crustacea Brachyura; Xanthidae). *Rev. Biol. Mar. Dep. Oceanol. Univ. Chile*, **14**(2): 29-49.
- FUENZALIDA, P. Clima. En: Geografía Económica de Chile. Texto refundido, pp. 91-151. Corporación de Fomento de la Producción, Santiago.
- HASSE, L. The sea surface temperature deviation and the heat flow at the sea-air interface. *Boundary-Layer Meteorology*, **1971** **1**: 368-379.
- KOPPEN, W. Climatología, 478 pp., Fondo de Cultura Económica, México. 1948
- MÜLLER, F. and R.M. LAURS. El Niño de 1972-1973 en el océano Pacífico Oriental Tropical. *Bull. IATC*, **16** (5): 431-1975 448.
- PEÑA, O. y H. ROMERO. La relación térmica otoño-primavera como índice de continentalidad. *Boletín de la Asociación de Geógrafos de Chile*, **3**: 18-21.
- PEÑA, O. Para la comprensión y el uso de algunos conceptos climatológicos. *Notas Geográficas*, **4**: 1-32. 1975
- PEÑA, O., H. ROMERO y M. HENRÍQUEZ. Bases para la comprensión y la clasificación de los climas chilenos. *Notas Geográficas*, **6**: 1-65. 1975
- PIZARRO, M. Estudios de ecología fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso. I. La temperatura superficial y la radiación solar. *Rev. Biol. Mar. Dep. Oceanol. Univ. Chile*, **15** (1): 77-105.
- PIZARRO, M. Estudios de ecología fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso. IV. Condiciones físicas y químicas del ambiente. *Rev. Biol. Mar. Dep. Oceanol. Univ. Chile*, **16**(1): 35-69.
- QUINN, W. Monitoring and predicting El Niño invasions. *J. Appl. Meteor.*, **13** (7): 825-830. 1974
- RAMORINO, L. Ciclo reproductivo de *Concholepas concholepas* en la zona de Valparaíso. *Rev. Biol. Mar. Dep. Oceanol. Univ. Chile*, **15**(2): 149-177. 1975
- REYES, E. Observaciones climatológicas en Montemar 1958-59. *Rev. Biol. Mar. Dep. Oceanol. Univ. Chile*, **10** 1960 (1, 2 y 3): 155-179.
- REYES, E. Valores climáticos de Montemar. *Rev. Biol. Mar. Dep. Oceanol. Univ. Chile*, **12** (1, 2 y 1967 3): 175-184.
- SAN FELIÚ, J. y F. MUÑOZ. Hidrografía y fitoplancton de las costas de Castellón, de mayo de 1965 a julio de 1966. *Invest. Pesq. (Barc.)*, **31** (3): 419-461.
- SÁNCHEZ, A. Las condiciones pluviométricas de la cuenca del río Aconcagua. *Revista Geográfica de Valparaíso*, **1974** **5**: 71-92.
- SCHNEIDER, H. Tipos de tiempo en Chile Central. *Cuadernos Geográficos del Sur*, **1**: 77-93. 1971
- SIEVERS, H. y N. SILVA. Variaciones estacionales de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno frente a la bahía de Valparaíso (mayo de 1968-abril de 1969). *Invest. Mar.*, **4**(1): 1-16.
- SIEVERS, H. y N. SILVA. Masas de agua y circulación en el océano Pacífico Sudoriental. Latitudes 18°S-33°S. 1975 (Operación oceanográfica "Marchile VIII"). *Ciencia y Tecnología del Mar. Contribución CONA* **1**: 7-67.
- SILVA, N. Variaciones estacionales de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno en la zona costera de Valparaíso (septiembre de 1969-agosto de 1970). *Invest. Mar.*, **4** (3): 89-112.
- SILVA, N. y H. SIEVERS. Masas de agua, velocidad geostrofica y transporte de volumen entre Valparaíso e Isla Robinson Crusoe (Océano Pacífico Sudoriental). *Pacifico Sur*, **2**: 102-120.
- SVERDRUP, H. Oceanography for meteorologists, 246 pp., Prentice-Hall, Inc., New York. 1943
- WHITTAKER, P. Barografía de Chile. Oficina Meteorológica de Chile, *Publicación N°* 58. 1943
- WOOSTER, W. and H. SIEVERS. Seasonal variations of temperature, drift, and heat exchange in surface waters off the 1970 west coast of South America. *Limnol. Oceanogr.*, **15**(4): 595-605.



TABLA 4. Frecuencias mensuales, en porcentajes, de las temperaturas del aire a las 08.00 horas. Montemar, 1958-70.

T°C	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
6- 6,9	—	—	—	—	0,2	1,3	3,8	3,7	0,2	—	—	—
7- 7,9	—	—	—	—	1,5	8,9	7,3	7,2	2,3	—	—	—
8- 8,9	—	—	—	—	3,5	11,2	13,8	14,1	7,8	1,0	—	—
9- 9,9	—	—	—	3,1	11,7	16,0	18,2	18,3	21,2	3,2	—	—
10-10,9	—	—	1,8	12,6	18,4	16,8	15,8	21,0	24,5	19,1	0,7	0,5
11-11,9	—	1,4	8,0	25,0	26,2	17,8	19,0	19,0	26,1	32,6	10,5	2,2
12-12,9	1,5	7,5	15,8	26,0	17,4	16,0	12,8	10,6	12,9	25,9	29,2	10,2
13-13,9	9,7	16,4	22,8	17,2	12,7	8,1	5,8	2,7	4,6	15,1	29,7	21,4
14-14,9	30,3	27,5	22,8	10,0	4,2	1,3	1,5	1,2	—	2,2	19,2	30,4
15-15,9	33,8	24,4	15,8	5,1	3,5	1,8	0,3	0,5	—	0,7	8,4	20,9
16-16,9	14,1	13,0	8,3	0,3	—	0,2	0,2	—	—	—	1,8	10,7
17-17,9	8,2	5,8	3,2	0,2	—	0,2	—	—	—	—	0,2	3,0
18-18,9	2,0	3,3	0,7	0,2	—	—	—	—	—	—	—	0,5

TABLA 5. Frecuencias mensuales, en porcentajes, de las temperaturas del aire a las 14.00 hrs. Montemar, 1958-70.

T°C	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
9- 9,9	—	—	—	—	—	2,1	0,3	0,8	—	—	—	—
10-10,9	—	—	—	—	1,5	8,0	3,3	2,3	1,3	—	—	—
11-11,9	—	—	—	0,8	3,3	14,5	10,1	5,3	3,6	0,5	0,2	—
12-12,9	—	—	0,2	4,9	7,8	28,7	15,3	19,7	16,8	6,3	—	0,2
13-13,9	1,0	0,3	1,7	11,9	18,7	28,4	27,7	22,8	26,4	16,4	2,8	1,2
14-14,9	3,2	2,2	7,5	9,8	21,0	11,1	21,6	19,7	25,6	29,5	13,0	4,5
15-15,9	7,2	4,7	12,0	22,7	17,7	5,2	12,2	13,9	12,7	21,9	21,0	12,2
16-16,9	24,4	11,2	22,7	20,1	14,5	1,3	7,1	10,9	7,0	14,9	26,6	23,7
17-17,9	30,4	23,6	20,0	16,8	9,3	0,3	1,5	3,2	3,9	6,6	16,1	24,7
18-18,9	18,7	28,8	17,0	8,2	4,7	—	0,2	0,7	1,8	3,0	12,5	17,2
19-19,9	9,7	14,3	8,2	3,6	1,0	—	0,2	0,5	—	0,2	4,3	10,0
20-20,9	2,7	9,0	7,0	1,0	—	—	—	—	0,5	0,5	2,3	4,5
21-21,9	1,7	3,5	2,5	—	—	—	—	—	—	—	0,5	1,2
22-22,9	0,2	2,1	1,0	—	0,5	—	—	—	0,2	—	0,2	—

TABLA 6. Frecuencias mensuales, en porcentaje, de las temperaturas del aire a las 19.00 hrs. Montemar, 1958-70.

T°C	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
9- 9,9	—	—	—	—	0,5	2,0	3,0	3,0	0,7	—	0,2	—
10-10,9	—	—	—	0,5	2,2	5,9	14,0	9,8	4,3	0,2	—	—
11-11,9	—	—	0,2	2,0	5,2	12,4	22,5	21,9	16,9	3,9	0,2	—
12-12,9	—	—	0,5	6,7	17,7	30,0	32,2	28,9	27,7	14,6	3,6	—
13-13,9	—	—	3,7	11,0	26,7	30,2	17,6	19,5	26,1	28,7	12,0	0,2
14-14,9	1,2	3,6	9,9	20,3	22,7	11,3	6,0	9,0	11,2	22,0	20,0	4,7
15-15,9	4,2	6,0	16,6	20,0	12,2	5,4	3,0	4,0	7,1	15,1	19,2	12,9
16-16,9	12,3	12,7	18,8	18,7	8,0	1,3	0,2	2,0	1,3	9,2	18,2	21,4
17-17,9	20,3	22,3	18,9	13,3	3,5	0,5	0,2	0,7	2,5	2,2	12,8	22,3
18-18,9	24,3	18,1	15,3	3,3	0,7	—	0,2	0,2	0,7	2,5	6,9	13,4
19-19,9	17,5	16,8	8,4	1,5	0,5	—	—	0,2	0,5	1,2	2,5	10,4
20-20,9	10,0	8,8	4,4	2,0	—	—	—	—	0,2	—	2,8	7,2
21-21,9	6,2	6,0	1,7	0,2	—	—	—	—	—	—	1,0	4,5
22-22,9	0,8	3,6	1,0	—	—	—	—	—	—	—	0,2	2,0

TABLA 7. Promedios mensuales y anuales de la temperatura del mar; valores medios ( $\bar{X}$ ) y desviación estándar (s) correspondientes al período 1958-70. Montemar.

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
1958	14,4	15,0	16,0	13,8	12,7	12,2	12,5	12,2	12,0	12,3	12,7	12,9	13,2
1959	14,8	15,2	13,9	13,1	12,3	12,3	13,0	12,0	11,5	12,0	13,3	13,6	13,1
1960	15,9	16,4	14,9	12,7	12,2	12,2	12,1	11,7	11,9	12,0	12,7	14,4	13,3
1961	14,2	15,0	13,8	12,6	12,2	12,8	12,5	12,4	12,5	11,9	12,5	13,5	13,0
1962	14,7	15,2	14,5	12,7	12,6	12,4	12,0	12,2	11,7	12,3	13,7	14,7	13,2
1963	14,0	16,1	14,6	12,7	12,4	12,3	12,5	12,9	13,0	13,0	13,7	13,7	13,5
1964	15,2	14,2	13,9	13,1	12,8	12,2	11,3	12,4	12,0	13,4	14,5	15,2	13,4
1965	15,1	14,6	14,5	14,9	13,2	13,5	12,8	12,8	12,8	13,3	13,4	14,0	13,7
1966	15,0	14,2	13,5	14,5	13,0	13,0	12,9	12,1	11,9	12,1	13,3	13,6	13,3
1967	13,7	14,2	14,1	13,5	14,0	12,9	11,6	11,2	11,4	11,9	12,7	13,9	12,9
1968	14,2	14,5	14,5	12,6	12,4	12,9	12,3	12,1	12,3	12,3	13,5	13,9	13,1
1969	15,5	14,8	14,5	13,9	13,6	13,7	12,2	12,0	12,4	12,5	13,4	14,2	13,6
1970	15,8	15,0	15,0	13,8	13,8	12,8	11,5	11,8	11,8	13,0	13,6	13,7	13,5
$\bar{X}$	14,8	15,0	14,4	13,4	12,9	12,7	12,2	12,1	12,1	12,5	13,3	13,9	13,3
s	0,68	0,68	0,64	0,79	0,62	0,49	0,54	0,45	0,49	0,53	0,55	0,58	0,25

TABLA 8. Promedios mensuales y anuales de la temperatura del aire; valores medios ( $\bar{X}$ ) y desviación estándar (s) correspondientes al período 1958-70. Montemar.

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
1958	17,5	17,3	17,9	14,9	13,1	12,5	13,0	12,1	12,7	13,7	15,6	15,4	14,6
1959	17,1	17,8	16,2	14,9	13,6	12,1	13,0	12,4	12,7	13,6	15,1	16,1	14,6
1960	18,8	18,4	17,3	14,4	12,7	12,7	11,3	12,4	12,7	13,4	14,7	16,7	14,6
1961	17,4	17,2	15,5	13,4	12,6	12,2	12,3	13,1	12,8	13,7	15,0	16,1	14,3
1962	16,8	16,7	16,3	13,9	13,6	12,4	11,6	13,1	12,5	13,6	16,3	18,3	14,6
1963	17,5	18,5	16,6	14,3	13,4	12,2	13,2	12,6	12,9	14,5	15,7	16,4	14,8
1964	17,6	16,1	15,5	13,9	13,9	12,1	11,3	12,0	12,7	14,2	15,5	17,7	14,4
1965	17,5	18,1	15,7	15,7	13,7	14,4	11,9	11,6	12,1	13,4	14,6	16,6	14,6
1966	16,7	15,4	14,9	15,5	13,6	13,0	12,4	11,8	12,0	13,4	13,8	16,3	14,1
1967	17,2	16,5	15,4	14,5	14,4	11,4	11,0	10,1	11,8	13,1	14,5	16,4	13,9
1968	17,1	17,2	16,3	13,3	13,1	13,1	12,0	12,9	13,2	13,7	15,7	16,8	14,5
1969	18,0	16,5	15,6	15,1	14,1	13,1	11,9	12,0	13,1	13,6	14,6	16,3	14,5
1970	17,7	17,4	16,2	14,6	14,4	12,0	11,2	11,7	12,2	13,7	14,8	15,9	14,3
$\bar{X}$	17,5	17,2	16,1	14,5	13,6	12,6	12,0	12,1	12,6	13,7	15,1	16,5	14,4
s	0,54	0,91	0,82	0,74	0,65	0,73	0,73	0,80	0,43	0,36	0,67	0,75	0,25

TABLA 9. Promedios mensuales y anuales de la temperatura del aire, considerando las máximas y mínimas; valores medios ( $\bar{X}$ ) y desviación estándar (s) correspondientes al período 1958-70. Montemar.

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
1958	16,9	16,8	17,4	14,5	12,5	12,1	12,5	11,3	12,0	13,1	15,0	14,7	14,1
1959	16,6	17,4	15,9	14,3	13,2	11,6	12,4	12,0	12,2	13,1	14,6	15,6	14,0
1960	18,2	17,9	16,9	14,2	12,4	12,5	10,9	11,9	12,3	13,2	14,5	16,4	14,3
1961	16,9	17,0	15,3	13,3	12,4	11,9	12,1	12,8	12,3	13,3	14,5	15,6	13,9
1962	16,1	16,3	15,8	13,5	13,3	12,0	11,1	12,6	11,9	13,2	15,8	17,3	14,1
1963	17,1	17,9	16,2	14,1	12,8	11,7	12,9	12,1	12,4	13,0	15,0	15,7	14,3
1964	17,0	15,6	15,0	13,4	13,4	11,4	10,6	11,5	12,1	13,6	15,0	17,2	13,8
1965	17,0	17,9	15,4	15,3	13,1	14,1	11,8	11,2	11,6	13,0	14,3	16,4	14,2
1966	16,4	15,0	14,6	15,2	13,1	12,6	11,9	11,3	11,6	12,9	13,7	15,9	13,7
1967	16,8	16,0	15,2	14,2	14,2	10,9	10,5	10,5	11,2	12,9	14,2	16,0	13,3
1968	17,0	17,0	16,0	13,1	12,8	12,8	11,8	12,2	12,7	13,2	15,6	16,7	14,2
1969	17,8	16,4	15,5	14,8	13,9	12,7	11,5	11,6	12,8	13,1	14,3	16,3	14,2
1970	17,3	17,2	16,2	14,6	14,0	11,7	10,8	11,3	12,2	13,2	14,6	15,7	14,1
$\bar{X}$	17,0	16,8	15,8	14,2	13,2	12,2	11,6	11,7	12,1	13,2	14,7	16,1	14,0
s	0,54	0,91	0,71	0,70	0,59	0,80	0,77	0,62	0,45	0,24	0,57	0,71	0,26

TABLA 10. Promedios mensuales de frecuencia (%) y velocidad (v = nudos) del viento a las 08.00 horas. Punta Angeles, 1962-70.

		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Calma
ENERO	%	6,1	14,1	4,1	5,7	8,1	22,0	2,0	2,0	35,1
	v	2,4	3,9	4,0	3,7	2,1	3,9	1,2	1,8	00
FEBRERO	%	5,8	9,0	6,1	6,5	4,7	14,4	0,7	1,4	51,2
	v	2,4	2,8	3,5	2,1	2,2	4,5	0,5	1,2	00
MARZO	%	5,0	7,0	4,3	6,7	4,0	17,4	1,0	0,3	54,0
	v	3,1	2,8	2,5	1,6	0,8	5,8	1,0	0,2	00
ABRIL	%	2,4	5,2	11,8	12,2	7,3	17,4	1,3	1,0	40,9
	v	4,8	3,6	2,7	3,0	2,5	4,2	0,6	0,8	00
MAYO	%	7,0	7,7	7,7	13,0	4,5	8,4	2,8	0,3	46,4
	v	4,3	5,2	4,2	3,7	5,0	2,4	0,8	1,4	00
JUNIO	%	4,1	9,7	11,0	22,7	8,9	9,3	0,6	0,6	32,7
	v	4,1	4,3	4,7	3,3	4,6	6,0	1,5	0,5	00
JULIO	%	6,5	12,1	9,1	16,3	5,5	13,1	0,6	1,6	34,7
	v	8,3	7,1	3,2	3,8	3,6	6,2	1,0	1,7	00
AGOSTO	%	7,6	7,3	5,9	24,5	11,6	8,3	1,6	0,6	32,2
	v	10,6	3,8	2,8	3,4	3,1	4,6	1,7	0,4	00
SEPTIEMBRE	%	5,1	5,8	4,8	18,2	8,6	12,7	0,6	0,3	43,4
	v	4,5	4,3	3,8	2,8	2,0	3,4	1,4	0,2	00
OCTUBRE	%	5,4	11,9	5,4	7,6	7,9	18,1	1,4	1,0	40,9
	v	4,7	3,3	2,5	2,0	2,1	2,1	1,7	1,0	00
NOVIEMBRE	%	7,7	8,4	5,9	5,6	8,4	20,3	1,4	2,1	40,0
	v	3,8	3,6	2,4	2,2	3,1	3,8	2,1	1,3	00
DICIEMBRE	%	4,5	8,5	6,8	6,5	13,4	20,9	1,3	1,3	36,3
	v	1,7	3,0	3,5	1,6	3,0	6,9	0,7	0,9	00

TABLA 11. Promedios mensuales de frecuencia (%) y velocidad (v = nudos) del viento a las 14.00 horas. Punta Angeles, 1962-70.

		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Calma
ENERO	%	8,9	5,8	00	3,4	1,0	63,9	8,3	5,5	3,1
	v	3,1	4,6	00	1,6	5,1	16,1	4,9	3,3	00
FEBRERO	%	6,4	6,4	0,4	2,6	1,9	66,3	5,6	3,7	6,7
	v	3,1	3,2	0,5	4,2	1,5	15,6	4,5	2,6	00
MARZO	%	8,9	7,2	0,3	1,3	5,6	59,4	5,6	4,2	7,2
	v	2,5	3,3	0,4	1,0	4,6	12,3	3,3	2,7	00
ABRIL	%	8,5	11,2	3,4	2,0	4,0	52,5	5,8	2,7	9,5
	v	3,4	4,0	2,0	1,4	3,0	12,8	3,4	2,3	00
MAYO	%	11,9	13,9	2,6	5,9	3,9	45,1	2,3	1,6	12,2
	v	2,7	4,4	2,6	1,6	3,5	7,8	1,4	2,6	00
JUNIO	%	7,5	19,2	3,7	7,7	4,6	40,3	5,5	1,8	9,3
	v	5,4	5,7	2,6	5,3	3,2	8,6	1,8	2,5	00
JULIO	%	17,5	15,1	4,7	3,7	5,3	37,3	3,3	2,3	10,4
	v	6,4	6,3	3,5	1,6	2,5	11,0	3,3	1,8	00
AGOSTO	%	15,2	7,9	2,6	3,9	5,9	50,0	3,3	2,6	8,2
	v	8,1	6,3	1,5	2,4	4,5	12,3	1,7	5,4	00
SEPTIEMBRE	%	9,7	8,9	2,2	1,8	2,6	54,9	3,7	6,3	9,3
	v	5,1	4,5	1,7	1,8	2,8	11,2	3,0	6,4	00
OCTUBRE	%	4,7	6,0	0,3	1,3	4,0	73,4	5,7	2,6	1,6
	v	2,6	3,7	0,2	0,7	2,0	14,2	8,1	4,2	00
NOVIEMBRE	%	6,0	3,7	1,0	1,0	4,3	72,3	5,3	2,3	3,7
	v	4,0	3,5	0,7	1,2	6,6	16,3	6,0	2,1	00
DICIEMBRE	%	7,8	3,9	1,3	00	5,2	68,4	5,2	5,2	3,0
	v	3,2	2,2	1,5	00	4,5	16,0	5,5	2,8	00

TABLA 12. Promedios mensuales de frecuencia (%) y velocidad (v = nudos) del viento a las 19.00 horas. Punta Angeles, 1962-70.

		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Calma
ENERO	%	2,8	2,8	0,7	2,5	6,4	69,5	5,0	2,1	8,2
	v	0,7	1,4	0,9	3,0	5,4	10,8	2,8	1,4	00
FEBRERO	%	1,4	1,0	1,8	1,4	6,5	72,0	2,5	0,7	12,5
	v	0,8	1,3	2,6	2,1	6,2	10,8	2,0	0,6	00
MARZO	%	0,3	4,4	4,4	4,0	7,1	58,6	2,0	1,6	17,2
	v	0,5	2,2	3,5	2,7	4,3	8,2	2,1	1,0	00
ABRIL	%	2,0	9,4	4,8	4,5	6,9	41,1	1,3	2,7	26,8
	v	2,5	3,7	2,4	2,2	4,2	5,8	0,7	1,5	00
MAYO	%	9,0	9,0	4,6	7,7	5,3	37,9	0,6	1,0	24,4
	v	3,4	4,3	1,5	2,3	3,1	5,8	0,2	1,3	00
JUNIO	%	8,1	9,2	5,4	12,9	6,8	25,9	1,3	1,3	28,6
	v	4,8	4,7	4,3	2,6	3,1	5,6	0,8	1,2	00
JULIO	%	7,7	10,7	4,0	9,0	8,0	30,3	1,3	2,3	28,2
	v	7,7	6,2	2,3	4,2	2,7	5,7	1,7	1,3	00
AGOSTO	%	9,6	8,1	2,1	6,8	13,7	33,4	1,5	9,3	15,0
	v	8,4	3,6	4,0	5,3	6,0	7,3	0,7	1,0	00
SEPTIEMBRE	%	5,4	7,5	1,7	3,7	11,6	48,4	0,6	2,0	18,5
	v	4,8	3,5	2,4	2,3	4,2	8,2	0,8	2,3	00
OCTUBRE	%	2,0	5,0	2,0	2,0	9,1	53,0	12,1	3,3	11,8
	v	1,5	5,1	2,3	1,4	5,3	8,3	3,6	2,0	00
NOVIEMBRE	%	2,0	2,0	2,0	3,3	6,7	70,2	2,3	1,0	10,1
	v	3,3	1,9	0,5	3,1	3,7	9,0	4,0	1,1	00
DICIEMBRE	%	0,3	1,9	0,3	3,2	10,1	71,8	1,3	0,9	9,8
	v	1,2	2,0	0,5	3,0	4,1	10,1	1,3	1,4	00

TABLA 13. Variabilidad promedio ( $\mu$ ) de las temperaturas medias del aire en Montemar (M) y Punta Angeles (PA) y variabilidad promedio de las diferencias de temperatura entre ambos lugares.

Años	M	PA	$M-\bar{X}$	$PA-\bar{X}$	$\Delta(M-PA)$
1958	14,1	14,2	0,1	0,0	0,1
1959	14,0	14,3	0,0	0,1	-0,1
1960	14,3	14,6	0,3	0,4	-0,1
1961	13,9	14,1	-0,1	-0,1	-0,2
1962	14,1	14,3	0,1	0,1	0,0
1963	14,3	14,9	0,3	0,7	-0,4
1964	13,8	14,2	-0,2	0,0	-0,2
1965	14,2	14,8	0,2	0,6	-0,4
1966	13,7	14,0	-0,3	-0,2	-0,5
1967	13,3	13,7	-0,7	-0,5	-1,2
1968	14,2	14,0	0,2	-0,2	0,0
1969	14,2	13,9	0,2	-0,3	-0,1
1970	14,1	13,7	0,1	-0,5	-0,4
$\bar{X}$	14,0	14,2			
			$\mu = 0,21$	0,28	0,28