

MODELO EMPIRICO DE UN DESCRIPTOR CLIMATICO PARA
LA REGION CENTRAL DE CHILE

Nelson Saavedra y Alberto J. Fopplano

Departamento de Física, Universidad de Concepción, Casilla 3-C,
Concepción, Chile.

RESUMEN

Se analiza la evolución anual de la latitud y de la presión del lugar en Chile en que la presión media mensual es máxima, lugar que como se ha mostrado, tiene las propiedades de descriptor climático. Por medio de la técnica clásica de Fourier se determina las componentes anual y semianual de las evoluciones de la latitud y la presión, y se encuentra que un modelo que incluya solo estas dos componentes reproduce muy bien las evoluciones observadas. Como era de esperar, las componentes anuales son las más importantes, tanto para la latitud como para la presión. Sin embargo, son las componentes semianuales las que imprimen el rasgo característico a las evoluciones observadas, que consiste en un cambio más rápido de la latitud de verano a invierno que el correspondiente de invierno a verano, y en lo opuesto para la presión. Se asocia las componentes anuales a la evolución de la declinación solar y las semianuales a la de la vaguada subantártica. Se sugiere la posibilidad de separar las contribuciones que tienen los grandes centros de acción oceánicos del Pacífico Sur en el descriptor climático.

ABSTRACT

Observed annual evolutions of latitude and pressure of the location of maximum monthly-mean pressure along the Chilean coast are analysed, a location having already known climatic descriptor properties. Annual and semiannual Fourier components of these evolutions are determined, and it is shown that a model including only these two components accounts for all main features of observed evolutions. As expected, annual components are the largest for both latitude and pressure. However, the semiannual components are the ones which give the observed evolutions their typical pattern, i.e. a faster latitude change from summer to winter compared to that from winter to summer, the opposite being the case for pressure changes. Annual components are associated to solar declination changes and the semiannual ones to the trough of low pressure which surrounds Antarctica. It is suggested that contributions to the climatic descriptor associated to each of main Southern Pacific oceanic action centres can be then identified.

INTRODUCCION

Dado las enormes dificultades que implica, aún para casos particulares, la elaboración de una descripción cuantitativa del comportamiento de las variables climáticas, a partir de principios físicos básicos, se recurre a la búsqueda de indicadores que de alguna manera pueden expresar, al menos cualitativamente, el resultado de complejas interacciones entre los factores que determinan el fenómeno que interesa.

En el caso de Chile, y en particular para la descripción de las precipitaciones, hace ya cuatro décadas que Prohaska (1952) señalara la importancia de la distribución de presión al nivel medio del mar a lo largo del litoral, como relevante en la determinación de indicadores climáticos. La asociación específica entre un parámetro de esa distribución de presión y las precipitaciones está documentada por Pittock (1971). El determina la latitud media del cinturón subtropical de altas presiones a lo largo de la costa chilena para cada mes desde 1941 a 1960, usando los valores medios mensuales de la presión para la serie de estaciones chilenas cuyos datos están publicados en los World Weather Records. La latitud media corresponde a aquella en que la presión es máxima en una distribución suavizada y de máximo único derivada de las presiones observadas. Posteriormente (Pittock, 1980), alargando en dos años la serie de presiones, usa los promedios anuales de esa latitud media para estudiar modelos de variación climática en Argentina y Chile correspondientes a precipitación y temperatura, en un intento de describir la variabilidad inter-anual de esas variables.

Simultáneamente, y en forma independiente, Saavedra (1980) deriva el desplazamiento del lugar de presión media mensual máxima en Chile (LPM) sobre el litoral chileno usando las distribuciones medias mensuales de la presión a nivel medio del mar para la serie de estaciones consideradas por Wiltaker (1943) en su estudio de los valores medios mensuales correspondientes al período 1911-1940. Ese desplazamiento le permite explicar para Concepción (16° 46' S; 73° 03' O) los rasgos fundamentales de la variación de la presión media mensual y los cambios de la dirección y frecuencia media mensual de los vientos, considerando una rosa de vientos de ocho puntas.

Suponiendo una correlación lineal entre el valor de la frecuencia de precipitaciones, horas de sol, insolación, y radiación para Concepción con el LPM, Saavedra (1985) encuentra que el LPM es un buen descriptor climático para esta localidad. Por su parte Saavedra y Müller (1986) muestran claramente la bondad del LPM en la descripción cuantitativa de la frecuencia de precipitaciones desde La Serena (29° 54' S; 71° 15' O) a Guafu (43° 34' S; 74° 75' O). Otros indicadores climáticos asociados a los Anticiclones del Pacífico y Atlántico han sido usados por Minetti y otros (1982); Minetti y Vargas (1983a); y Minetti y Vargas (1992) para describir las precipitaciones en Chile y en la zona cordillerana central andina, y la anomalía de precipitaciones del noreste del Brasil.

La bondad del LPM puede resumirse en que este punto divide latitudinalmente a Chile en tres zonas climáticas perfectamente definidas. En la Figura 1 se presenta la distribución latitudinal de la presión en el litoral chileno para el mes de enero, en una adaptación de los datos de Wiltaker. En ella se distingue claramente la primera zona, al norte del LPM, que corresponde al dominio de la Baja Costera (BC) y de la Profundización de la Baja Costera cuando ésta está presente, (PIC - Baja de núcleo cálido que existe de preferencia los meses de verano) que no son otra cosa que la expresión del acoplamiento del Anticiclón del Pacífico (AP) al borde continental. En, por lo tanto, la región en la que prevalece lo que puede denominarse buen clima, esto es, ausencia de precipitaciones, radiación relativamente alta, poca nubosidad (exceptuando la costa propiamente tal), predominio de vientos SO, etc. La segunda zona, al sur del LPM, que corresponde al dominio de las Bajas Polares (BP), en el sentido que su efecto se hace sentir desde el LPM hacia el polo, con condiciones que pueden denominarse de mal clima sobre el litoral chileno, es decir, precipitaciones frecuentes, radiación relativamente baja, mayor nubosidad, predominancia de vientos N, etc.

La tercera región, definida como la comprendida entre las latitudes extremas ocupadas por el LPM en su evolución anual, Curicó (34° 58' S; 71° 13' O) y

Cuñfo (43° 34' S; 74° 75' O) respectivamente, es naturalmente la zona de clima más variable en Chile (Zona Central). En una palabra, el LPM es un indicador de los dominios de acción del AP y de las BP sobre Chile para cada mes del año. Más detalles de las propiedades del LPM se pueden encontrar en Saavedra (1985, 1986). En un trabajo recientemente acabado se fundamenta la elaboración de un modelo de presiones para el norte de Chile basado solo en la latitud del LPM y la presión en el LPM (Saavedra y Fopplano, 1992a).

Una contribución a la climatología sinóptica en Chile central consistiría en poder determinar, en primera aproximación, cuánto de las propiedades del LPM (que pertenece a la cuña de alta que introduce el AP en el continente) se debe al AP mismo y su acoplamiento continental (BC y/o FBC), y cuánto a las BP, que son más aleatorias y con una dinámica mucho mayor que el AP.

En el presente trabajo se hace un análisis del LPM en la búsqueda de los factores que contribuyen a determinar sus características fundamentales. Se muestra que tanto la latitud del LPM como la presión en el LPM se pueden expresar analíticamente, usando funciones sencillas cuyas formas pueden asociarse con las evoluciones anuales de la declinación solar y de los centros de acción meteorológicos predominantes en el Área.

LATITUD DEL LPM

El desarrollo en serie discreta de Fourier a los 12 valores de la latitud del LPM publicados por Saavedra (1980), da el resultado que se consigna para las dos primeras componentes en la Figura 2. (Nota que se ha elegido una escala en que las latitudes aumentan hacia abajo). Las expresiones analíticas de las componentes y el valor medio se indican en la Tabla, junto con los porcentajes de la variancia explicada por cada componente. Las expresiones se han evaluado para cada día de un año normal (365 días) y se ha supuesto que los valores experimentales, por ser valores medios mensuales, corresponden a condiciones imperantes el día 15 de cada mes. No se ha hecho cuestión de la diferente duración de los meses. Como era de esperar, la componente anual es la más importante, siendo la semianual la que le sigue en amplitud, aún cuando ésta equivale a menos de un quinto del valor de la primera.

Es evidente que la primera componente tiene la forma de la evolución anual de la declinación solar, en el sentido que el LPM está más hacia el ecuador cuando la declinación es positiva y más hacia el polo cuando es negativa, siendo la declinación la que sin duda sigue en primera aproximación las variables climáticas más importantes. Se advierte, sin embargo, que las fases de máxima y mínima latitud no coinciden exactamente con los solsticios de verano e invierno australes, respectivamente. En particular, la latitud más austral ocurre a mediados de enero, unos 25 días después del solsticio.

La segunda componente, que podría considerarse una modulación de la primera por su amplitud, contribuye positivamente, es decir, aumentando la latitud, alrededor de los equinoccios, siendo máxima unos 20 días antes de los equinoccios de otoño y primavera australes, respectivamente. Las contribuciones negativas máximas obviamente ocurren el mismo número de días antes de los solsticios de invierno y verano. Tal vez es significativo que es precisamente en los equinoccios cuando, tanto la declinación solar como el desplazamiento del punto subsolar cambian más rápidamente en el tiempo.

En la Figura 2 también se compara la evolución del LPM con aquellas determinadas usando solamente la primera componente y la primera más la segunda componente, respectivamente.

Aunque la primera componente representa adecuadamente la evolución anual del LPM para algunas aplicaciones, escapa a ella uno de sus rasgos más característicos que consiste en el cambio más rápido de verano a invierno que de invierno a verano, y que se refleja claramente en la evolución anual de los valores medios mensuales de las principales variables climáticas sinópticas de la región central de Chile, particularmente el brusco cambio entre abril y mayo, que es el máximo cambio de mes a mes observado en el año. El uso de las dos componentes sí da cuenta de este efecto. No reproduce, sin embargo, estructuras de menor escala temporal como el pequeño, aunque

significativo aumento de latitud entre mayo y junio, como se discute en Saavedra y Foppiano (1992b), ni la estacionalidad observada entre octubre y noviembre.

PRESION EN EL LPM

Con los valores de la presión en el LPM publicados por Saavedra (1980) también se hizo un análisis en componentes de Fourier, encontrándose los resultados mostrados en la Figura 3. (Note que en este caso la escala es de presiones crecientes hacia arriba).

Las expresiones analíticas de las componentes y el valor medio se indican en la Tabla así como los porcentajes de la varianza explicada por cada componente.

Una vez más la componente anual es la más importante, siendo la amplitud de la segunda casi un décimo de la amplitud de la primera. Las fases de máxima y mínima presión de la primera componente difieren significativamente de los solsticios, encontrándose a mediados de febrero y agosto respectivamente, es decir, casi dos meses más tarde. En cambio, las fases de la componente semianual prácticamente coinciden con las correspondientes a la latitud del LPM. Otra vez, el uso de una sola componente podría justificarse en algunas aplicaciones. Sin embargo, es agregar la segunda lo que permite reproducir muy bien el rasgo característico de la evolución anual, que en este caso significa un aumento más lento de la presión de verano a invierno que la correspondiente disminución de invierno a verano (cambios similares de presión en 7 y 5 meses respectivamente).

DISCUSION

En esta discusión se entenderá como fases de máxima y mínima latitud de la componente anual de la latitud del LPM, a aquellas fechas para las cuales la latitud es más ecuatorial y más austral, respectivamente. De esta manera se podrá comparar fácilmente dichas fases con las correspondientes a la declinación del sol y/o a la componente anual de la presión en el LPM. Lo anterior no es necesario para el caso de las componentes semianuales.

Si se asocia las componentes anuales, tanto de la latitud del LPM, como de la presión en el LPM, a la declinación del sol, se puede observar que la latitud sigue las fases de la declinación casi perfectamente, en cambio la presión no lo hace (ver Tabla). En particular, la diferencia de fases entre presión y latitud (en el sentido más arriba señalado) es de 31 días, en que la presión sigue a la latitud. Este desfase revela probablemente la inercia térmica con que reacciona el litoral frente a la penetración hacia el sur del predominio anticiclónico de invierno a verano, y a su retiro, de verano a invierno, y que en ambos casos actúa sobre la presión superficial.

Respecto a las componentes semianuales de la latitud y la presión, vale la pena observar que el desfase entre ambas es sólo de 11 días, en que siempre los cambios de presión siguen a los de latitud. Como ya se mencionara, el efecto de esta componente hace que la latitud más austral ocurra más tarde en el año y la latitud más ecuatorial se adelante, configurando así la forma típica de la evolución latitudinal del LPM. Para la presión es a la inversa, hace que la presión máxima ocurra más tarde en el año y la mínima se adelante, resultando así también la típica variación en la presión en el LPM.

Para una interpretación física de estas componentes semianuales, es significativo considerar los resultados publicados por van Loon (1971). En efecto, usando valores de presión para el hemisferio sur promediados zonalmente, van Loon construye la evolución media mensual del cinturón subtropical de altas presiones (dorsal) y del circumpolar antártico de bajas presiones (vaquilla subantártica). Sus resultados para la vaguada se reproducen en la Figura 4, junto con una descomposición de Fourier en dos componentes equivalente a la producida por el mismo van Loon. En este caso es la componente semianual la de mayor amplitud, que permite explicar el 60% de la varianza. Esta segunda componente muestra una notable coincidencia cualitativa con la segunda componente

de la latitud del LPM, aunque su amplitud es sensiblemente mayor que la del LPM. En efecto, la vaguada está más cerca del polo en marzo y septiembre y más próxima al Ecuador en junio y diciembre, en concordancia con la componente semianual de la latitud del LPM. Es evidente que un análisis más detallado de lo anterior puede arrojar algunas diferencias de fase medibles en días que no se abordará aquí.

La componente semianual de la presión en el LPM también es cualitativamente similar a la segunda componente de la vaguada, y también se puede asociar a sus oscilaciones, tal como ya lo planteara van Loon.

Así, de acuerdo con lo establecido en el escenario climático enunciado en la introducción se puede afirmar ahora que la latitud del LPM, que divide tan netamente las zonas climáticas de Chile, obedece fundamentalmente a la declinación del sol. Esta latitud es poco modificada por la acción sobre Chile de los márgenes norte de las BP, asociadas a la vaguada subantártica, cuya oscilación, aunque amortiguada, siguen estos márgenes norte. Por su parte, en los valores de la presión en el LPM, son determinantes el desfase con la declinación del sol y/o la evolución de la latitud del LPM, y las variaciones de presión asociadas a las oscilaciones del margen norte de la vaguada sobre el continente.

En el presente complemento al escenario climático queda claro el rol fundamental que para el clima de Chile juegan las BP, que como bien se sabe son inestables y de una dinámica muy aleatoria, en abierta contraposición con el régimen mucho más regular de predominio anticiclónico al norte del LPM.

CONCLUSIONES

1. Las evoluciones de la latitud del LPM y de la presión en el LPM tienen una componente solar muy importante (explica más de un 90% de la varianza). Para la latitud hay casi coincidencia de fase entre esta componente anual y la declinación del sol, mientras que para la presión el desfase es de aproximadamente un mes, atribuible a la inercia térmica de la superficie.
2. La oscilación semianual de la vaguada subantártica se refleja en las evoluciones de la latitud del LPM y de la presión en el LPM, modificando sus componentes anuales y dándoles a ambas su forma característica. En particular, aumenta el desfase entre la latitud más ecuatorial del LPM y la presión máxima a 58 días, y reduce el desfase entre la posición más austral y la presión mínima a 5 días.
3. La latitud del LPM depende fundamentalmente de la dinámica del Anticiclón del Pacífico, teniendo las Bajas Polares un rol más secundario. Esta separación entre las contribuciones de cada centro de acción sobre la latitud del LPM permite determinar mejor la influencia de las Bajas Polares en la climatología de la zona central de Chile.

Agradecimientos Este trabajo ha sido patrocinado por el Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Proyecto N° 668/89.

REFERENCIAS

- Minetti, J.L. y Vargas, W.M., 1983: Comportamiento del borde anticiclónico subtropical en Sudamérica. I Parte; *Meteorológica*, 14, 645-656.
- Minetti, J.L. y Vargas, W.M., 1992: Comportamiento del borde anticiclónico subtropical en Sudamérica. II Parte; *Revista Geofísica*, 33 (IPGH-OEA), (en prensa)
- Minetti, J.L., Radicella, S.M., Menegazzo de García, M.I. y Sal Paz, J.C. 1982: La actividad anticiclónica y las precipitaciones en Chile y en la zona cordillerana central andina; *Revista Geofísica*, 16 (IPGH-OEA), 145-157.
- Pittock, A.B., 1971: Rainfall and the general circulation; presentado en la International Conference on weather modification, American Meteorological Society, Canberra, Australia.
- Pittock, A.B., 1980: Patterns of climatic variation in Argentina and Chile - I. Precipitation, 1931-60; *Monthly weather review*, 108, 1347-1361.
- Prohaska, F.J., 1952: Regímenes estacionales de la precipitación de Sudamérica y mares vecinos (desde 15° S hasta Antártida); *Meteoros*, Año II, 1 y 2, 66-100.
- Saavedra, M., 1980: La presión y la dirección del viento en Concepción; *Trilka*, 1 (2), 153-162.
- Saavedra, M., 1985: Modelo climático simple para Concepción; *GROACTA*, 13, 13-26.
- Saavedra, M., 1986: Contribution to central Chile dynamic climatology; presentado en la Second International Conference on Southern Hemisphere meteorology, American meteorological Society, Wellington, New Zealand.
- Saavedra, M. y Müller, E., 1986: Estudio de frecuencia de precipitaciones en elitoral chileno. Modelo analítico; presentado en la 14ª Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, Mendoza, Argentina.
- Saavedra, M. y Fopplano A.J., 1992a: Monthly mean pressure model for Chile; *International Journal of Climatology*, 12, 469-480.
- Saavedra, M. y Fopplano A.J., 1992b: Contribución a la cinemática del Anticiclón del Pacífico; *GROACTA* (aceptado para publicación).
- van Loon, H., 1971: On the interaction between Antarctica and middle latitudes, in *Research in the Antarctic* (Eds. L.O. Quam and H.D. Porter); American Association for the Advancement of Science, Washington D.C., Publication nº 93, 477-487.
- Wittaker, M., 1943: *Barografía de Chile*, Publicación nº 58, Oficina Meteorológica de Chile, Santiago, Chile.

Tabla. Expresiones analíticas de las componentes anual y semianual de la latitud del LPM y la presión en el LPM, porcentajes de la varianza explicada y fases de máximo y mínimo.

	latitud	presión
valor medio	38.53	1017.33
Componente Anual	expresión $3.701 \cos w(d-15.01)$	$1.6692 \cos w(d-229.02)$
% varianza explicada	90.87	96.74
máximo	15 Enero	17 Agosto
mínimo	17 Julio	16 Febrero
Componente semianual	expresión $0.7155 \cos 2w(d-65.04)$	$0.2333 \cos 2w(d-75.84)$
% varianza explicada	3.83	1.55
máximos	6 Marzo/5 Septiembre	17 Marzo/15 Septiembre
mínimos	5 Junio/5 Diciembre	16 Junio/16 Diciembre
Suma de los componentes.	% varianza explicada	94.7
máximo	4 Febrero	27 Agosto
mínimo	30 Junio	30 Enero

d = día del año (1 a 365)

w = $2\pi/365$

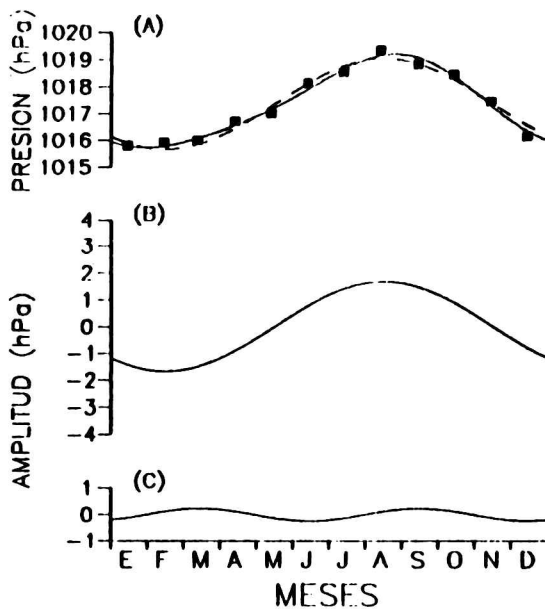


Figura 3. Evolución anual de la presión en el lugar de presión media mensual máxima en Chile.

- (A) Comparación entre valores observados y modelados
 - valores observados correspondientes a período 1911-1940 (adaptados de Wittaker, 1943).
 - modelo de una componente
 - modelo de dos componentes
 - (B) Componente anual
 - (C) Componente semianual
- Nota: presiones y contribuciones positivas hacia arriba.

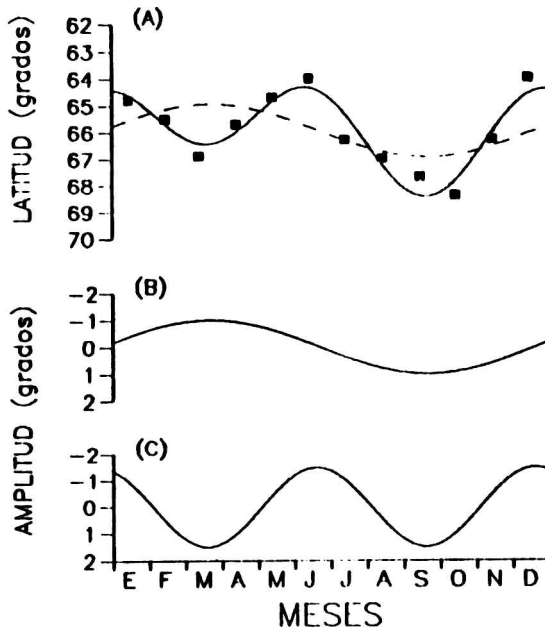


Figura 4. Evolución anual de la latitud de la vaguada subantártica (reproducida de van Loon, 1971).

- (A) Comparación entre valores observados y modelados
- valores observados
- - - modelo de una componente
- modelo de dos componentes
- (B) Componente anual
- (C) Componente semianual

Nota: latitud y contribuciones positivas hacia abajo.

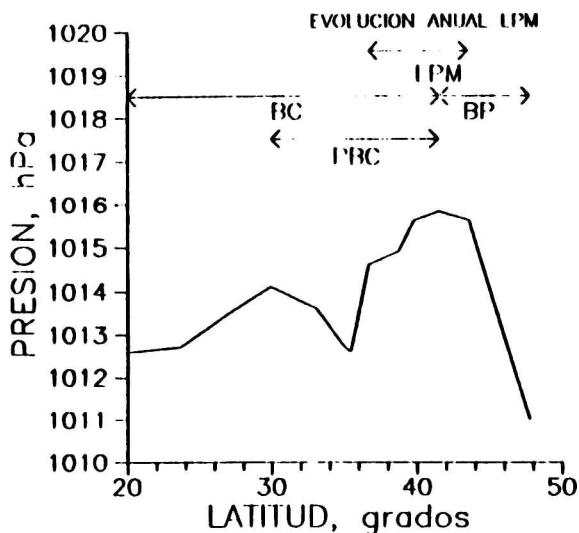


Figura 1. Distribución latitudinal media mensual de la presión de superficie a lo largo del litoral chileno, correspondiente al período 1911-1940 (adaptada de Wittaker, 1943). Se indica los regímenes de la Baja Costera (BC), Bajas Polares (BP), Profundización de la Baja Costera (PBC) y de la latitud del lugar en Chile de presión media mensual máxima (LPM).

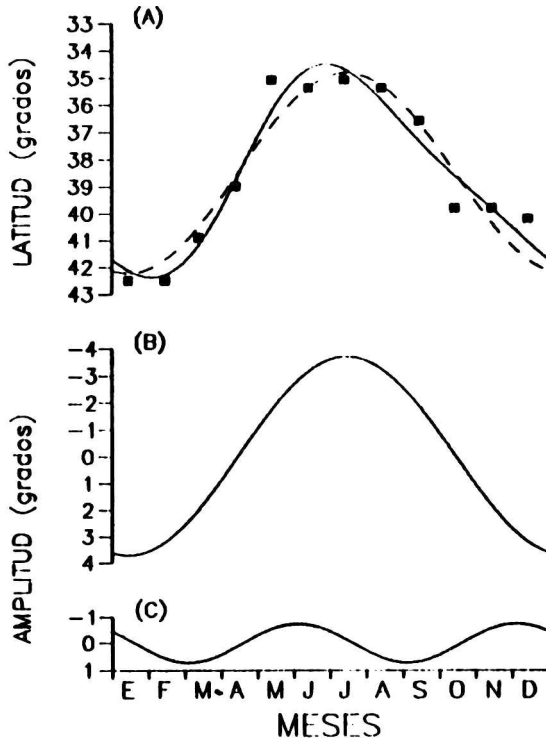


Figura 2. Evolución anual de la latitud del lugar en Chile de presión media mensual máxima.

- (A) Comparación entre valores observados y modelados
- valores observados correspondientes a período 1911-1940 (adaptados de Wittaker, 1943).
- modelo de una componente
- modelo de dos componentes
- (B) Componente anual
- (C) Componente semianual

Nota: latitudes y contribuciones positivas hacia abajo.