

PRESIDENCIA DE LA NACION  
MINISTERIO DE ASUNTOS TECNICOS

# METEOROS

BIBLIOTECA  
NACIONAL DE METEOROLOGIA  
Ing. Alfredo G. Galmarini

## SUMARIO

EDITORIAL .....	291
J. M. RAFFO, B. S. COLQUI y M. E. MADEJSKI. — Glaciar Moreno.....	293
EMILIO L. DÍAZ. — Interrelaciones entre anomalías mensuales de lluvias, temperatura, presión, gradientes y variaciones .....	342
ANTONIO JUAN PASCALE. — Mapa fenológico del maíz en la República Argentina .....	383
G. DEDEBANT, R. DI MAIO y E. A. M. MACHADO. — La previsibilidad de las funciones aleatorias. Su importancia en meteorología.....	395
CARLOS A. M. MARTINOLI. — Nuevo método para la determinación de la relación de capacidades en el aspirador Gerdien.....	429
JOSÉ MANUEL GUTIÉRREZ BURZACO. — Cronómetro a péndulo de grave- dad para sismógrafo .....	433
NOTAS Y COMENTARIOS: W. SCHWERTFEGER. - Acerca de trabajos y pro- yectos meteorológicos, en Europa, 439. — R. M. QUINTELA. - El con- cepto de afinidad en los procesos termodinámicos de la atmósfera, 441.— EMILIO A. M. MACHADO. — Meteorología y Estadística.....	442
ACTUALIDADES. . . . .	444
RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS .....	448
INDICE DEL TOMO III .....	451

REVISTA DE METEOROLOGIA Y GEOFISICA  
PUBLICADA POR EL  
SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL  
BUENOS AIRES — (REPUBLICA ARGENTINA)

*M*ETEOROS, órgano de expresión científica del Servicio Meteorológico Nacional, se publica con el alto auspicio del Excmo. señor Presidente de la Nación, General Don Juan D. Perón, como contribución de la Nueva Argentina al progreso de la ciencia y la técnica en los campos especializados de la Meteorología y la Geofísica.



# METEOROS

REVISTA TRIMESTRAL DE METEOROLOGIA Y GEOFISICA  
DEL SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL. BUENOS AIRES



*La responsabilidad por los artículos firmados corresponde a sus autores. La Dirección se reserva el derecho de aceptar originales y el de darles orden de publicación. La propiedad intelectual queda protegida por la ley 11.723. Reg. Prop. Int.: 347.584.*

AÑO III

OCTUBRE-DICIEMBRE, 1953

Nº. 4

## BIEN PÚBLICO

*H*ASTA la partícula más personalísima del científico tiene trascendencia social. Porque el legítimo hombre de ciencia no deja de asomarse a la viviente plaza pública de la comunidad para pronunciar su mensaje cuando lo tiene, o para responder al requerimiento de las necesidades societarias cuando la época y el instante lo exigen. No es otra la trayectoria general de los grandes hombres de ciencia que en el mundo han sido. La potencia cultural de una nación se mide, precisamente, por esa autonomía para disponer en un momento dado de un cerebro o de un núcleo de mentes largamente preparadas para actuar. Y como quiera que la sociedad es funcionalmente compleja no hay matiz de ciencia que no encuadre en ella. La ciencia es una con sus infinitas ramas, y su tipicidad cognoscitiva, de no ser para la sociedad, resultaría carente de sentido.

En esta función a que nos referimos no es insistencia inoportuna — a pesar de la reiterada verificación del concepto — destacar la importancia que cobra en favor del crédito argentino la intervención reciente de meteorólogos en reuniones internacionales y la que les aguarda para fechas próximas. Unos han asistido en persona, otros han proyectado la eficiencia de su personalidad a través de sus trabajos.

La Primera Reunión de la Asociación Regional III de la Organización Meteorológica Mundial celebrada en Río de Janeiro ha sido un éxito para los organizadores y los distintos países miembros. Los problemas tratados abarcan una amplia gama. Se realizaron siete sesiones plenarias durante las cuales se aprobaron treinta y ocho resoluciones y seis recomendaciones. Unos grupos de trabajo se ciñeron a la problemá-

tica de la meteorología sinóptica, marítima y aeronáutica incluyendo telecomunicaciones; otros, contemplaron la climatología, meteorología agrícola, instrumental, investigaciones y asistencia técnica; por último, cuestiones de procedimiento, de redacción y la posibilidad de compilar una bibliografía nacional destinada a los registros de la OMM suscitaron la atención de los integrantes de los comités ad-hoc. La información circunstanciada que damos en otro lugar traduce la importancia de lo actuado y del quehacer próximo, y es digno de atención el concepto vertido por el Comité " B " al referirse a la potencialidad agrícola y forestal de Sudamérica y a la función de la meteorología agrícola: "El uso de métodos científicos inteligentemente dirigidos promoverá en grado acentuado la contribución de América del Sud en la economía mundial". Las zonas áridas también ocuparon a los asistentes en interés de sus respectivos países, a iniciativa propia y como resonancia de los trabajos que están realizando la OMM y la UNESCO para el estudio adecuado de los casos locales y generales, en circunstancias en que la estadística revela que unas dos terceras partes de la humanidad se halla infraalimentada.

Análogos puntos concentraron las energías de otra magna asamblea: la de París, donde la Comisión de Meteorología Agrícola ha vivido largos días enfocando el panorama de las necesidades vigentes en la agricultura mundial, con criterio de ciencia y técnica meteorológicas. Y por vía concurrente, inciden estas preocupaciones en el ánimo de los especialistas convocados en Roma, donde la FAO encara el inquietante planteo de la alimentación futura de ambos hemisferios a la luz de las planificaciones de distintos y calificados Gobiernos.

A todas estas reuniones la Argentina ha hecho acto de presencia —con mayor o menor número de delegados— en cumplimiento de la obra de previsión gubernamental que se inspira en las necesidades de una nación laboriosa y sana, y en sus grandes posibilidades de intercambio, bajo las directivas del General Perón, que plasma en los lineamientos del Segundo Plan Quinquenal las aspiraciones actuales y las próximas del pueblo.

Buenos Aires, Río de Janeiro, París, Roma, cuatro capitales entre otras históricas del mundo tienen en consecuencia, para nosotros, en este momento, el significado de cuatro campos de trabajo social, donde hombres de ciencia y técnica especializada, sociólogos y estadistas, interpretan los deseos de innumerables naciones para una finalidad de altísimo y trascendente bien público.

No podríamos formular, sin duda, un pronóstico más ajustado ni irradiar un mensaje más halagüeño para nuestro país y para la gran familia meteorológica de ambos hemisferios en esta Navidad de 1953.

551.311.12(82)

## GLACIAR MORENO

POR JOSE MARIA RAFFO \*, BENITO S. COLQUI \*\* Y MARIANO E. MADEJSKI \*\*\*

**Resumen.** — Se dan los resultados de estudios realizados durante seis años en el Glaciar Moreno. Este glaciar se nutre en la masa del Hielo Continental Patagónico y desciende al Canal de los Témpanos, que es uno de los brazos del Lago Argentino (territorio de Santa Cruz). También se dan los resultados obtenidos por otros investigadores. Es el glaciar que ha sido más visitado, por ser uno de los pocos que en la época actual está avanzando. Tales avances, al cerrar el Canal de los Témpanos, provocan la inundación de extensas zonas adyacentes desde el año 1939. Considérase que las causas que producen los avances tienen origen morfológico, y que la causa inicial fué la captura de parte de la cuenca del Glaciar Frías.

**Summary.** — The results of six years' studies in the Moreno Glacier are given. This glacier feeds upon the Hielo Continental Patagónico and descends to the Canal de los Témpanos, which is one of the branches of Lago Argentino (Territory of Santa Cruz). The results obtained by other investigators are also given. It is the glacier which has been searched most frequently because it is one of the few that are advancing at the present time. Such advances by closing-up the Canal de los Témpanos have caused the flooding of extended adjacent zones since 1939. It is considered that the causes which produce the advances have a morphological origin, and the initial cause was the capture of part of the Frías Glacier basin.

## I. INTRODUCCIÓN

Dada la notoria importancia que para la ciencia y las proyecciones económicas de los países está adquiriendo la glaciología, y consideradas las peculiaridades de nuestro Glaciar Moreno, los autores, integrantes de ellos de las comisiones de estudio enviadas al lugar, han redactado el presente trabajo de información y análisis con el propósito de afirmar conceptos de valor actual, susceptibles de mayor desarrollo en investigaciones futuras.

Para la redacción del presente artículo se ha contado con el valioso aporte que representa la documentación reunida en los archivos del Servicio Meteorológico Nacional, Departamento de Hidrometeorología, a través de las comisiones destacadas en los siguientes años: 1946: Roberto Gilardoni y Milton Suárez; 1947: Mario Bertone y Atilio D' Angelo; 1948: Roberto Gilardoni, Mariano Madejski y Julio Müller; 1948: Mariano Madejski y Benito S. Colqui; 1949: Mariano Madejski y Benito S. Colqui; 1950: Mariano Madejski y Benito S. Colqui; 1951: Mariano Madejski; y 1952: Mariano Madejski. Las fotografías tomadas en diferentes oportunidades y circunstancias no ofrecen homogeneidad en cuanto a su perfección gráfica, pero constituyen un ilustrativo y fehaciente complemento.

\* Agrimensor Nacional, Jefe del Departamento de Hidrometeorología del Servicio Meteorológico Nacional.

\*\* Doctor en Ciencias Naturales, 2º Jefe del Departamento de Hidrometeorología del Servicio Meteorológico Nacional.

\*\*\* Glaciólogo. Del Departamento de Hidrometeorología del Servicio Meteorológico Nacional.

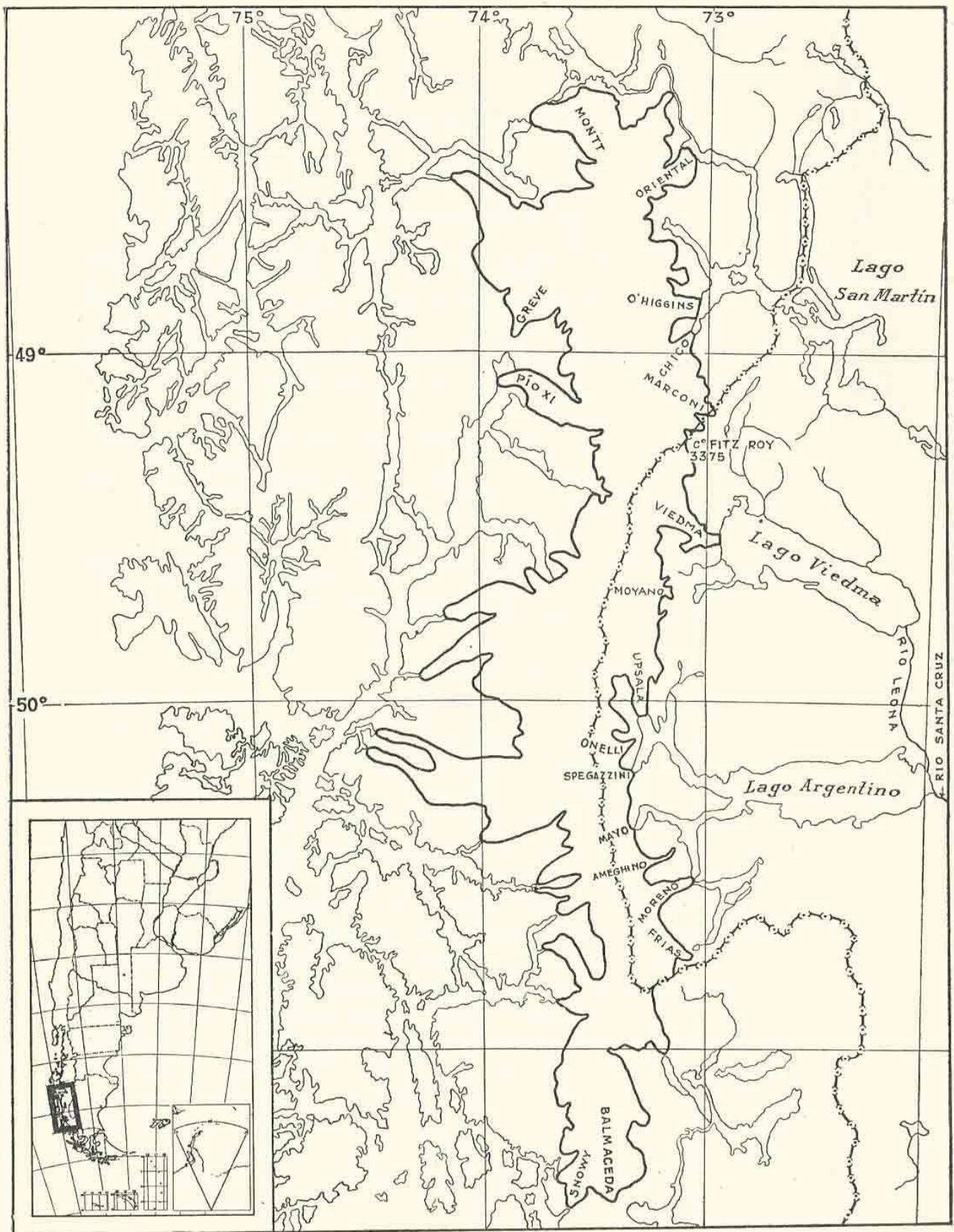


FIG. 1. — Hielo Continental Patagónico.

Asimismo, dejan constancia de su particular reconocimiento por el aporte recibido para la confección del subcapítulo titulado *Clima*, al Dr. Federico Prohaska, el cual se ofrece aquí, a pesar de la notoria escasez de datos relativos a la región, como un significativo complemento de información fenomenológica.

En lo que respecta a la descripción geológica de la zona, la documentación reconoce como fuente principal los trabajos de E. Feruglio.

## II. CARACTERES DE LA REGIÓN

### *Situación geográfica*

Entre los paralelos  $48^{\circ} 11'$  y  $51^{\circ} 25'$  la Cordillera de los Andes está cubierta por un potente manto de hielo, conocido por Hielo Continental Patagónico, el que adopta una forma alargada en la dirección N-S. Alcanza a unos 360 km de longitud y su ancho medio es de 40 km, calculándose su superficie en 14.140 km<sup>2</sup> aproximadamente (Fig. 1). Descienden de él 46 grandes glaciares, de los cuales 37 pertenecen a la cuenca del Pacífico y 9 a la del Atlántico. De los primeros, sólo ocho han recibido nombre: Chico, O'Higgins, Oriental, Montt, Greve, Pío XI, Snowy y Balmaceda. En la cuenca atlántica se presentan, de N-S, los denominados: Viedma, Moyano, Upsala, Onellí, Spegazzini, Mayo, Ameghino, Moreno y Frías, los dos primeros de los cuales desembocan en el Lago Viedma y los restantes en el Lago Argentino. Existen, asimismo, otros glaciares menores, innominados, algunos de los cuales no se nutren directamente del Hielo Continental.

Al Glaciar Moreno (Fig. 2) lo forman dos corrientes que luego de unirse se desplazan por un ancho valle que desemboca en uno de los brazos del Lago Argentino. De su frente, situado a los  $73^{\circ} 01'$  y  $50^{\circ} 29'$ , se desprenden bloques de hielo que dan nombre al Canal de los Témpanos.

En su costado S el Glaciar Moreno está limitado por una sucesión de cerros de los cuales sólo dos tienen nombre: el Cerro Moreno (1670 m) y el Cerro Cervantes (2380 m). En el N está limitado por un cordón de cerros de 1500 a 1800 m de altura. La expedición alemana que exploró esta zona en el año 1914, designó a los cerros principales, de E a O,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  y Catedral, respectivamente.

El límite de la cuenca del glaciar no ha podido determinarse con precisión, por cuanto los mapas existentes no bastan para ello y el reconocimiento detallado no se ha efectuado todavía. No obstante, en base a aerofotografías del Instituto Geográfico Militar se han obtenido las siguientes superficies:

cuenca del glaciar .....	380 km <sup>2</sup>
cuenca de alimentación .....	255 »
lengua del glaciar .....	78 »

### *Reseña geológica*

La cuenca del Lago Argentino (Fig. 3) comprende tres zonas orográficas perfectamente definidas, alcanzando esta diferenciación también a la estructura y constitución geológicas. En efecto, yendo desde la cor-



dillera hacia las mesetas subandinas se encuentran terrenos más recientes y menos plegados y solevantados.

Siguiendo este orden se tiene, en primer término la Cordillera Principal o zona andina propiamente dicha, formada por una masa montañosa de hasta 2500 m y más de altura. Se halla ubicada entre la extremidad occidental del Lago Argentino y los fiordos de la costa pacífica con un ancho que varía entre los 50 y los 65 km; sus pendientes son, por lo común, abruptas y su parte central está ocupada por un campo de hielo y nieve, origen de los glaciares que descienden a ambos lados.

Esta zona incluye plutones de diorita cuarcífera o granito intruídos durante el Cretácico superior o el Eoceno, rodeados, y a veces totalmente cubiertos, por un complejo de rocas esquistosas y arcillosas con diferentes grados de alteración metamórfica que disminuye a medida que se alejan del eje cordillerano.

El complejo esquistoso incluye principalmente:

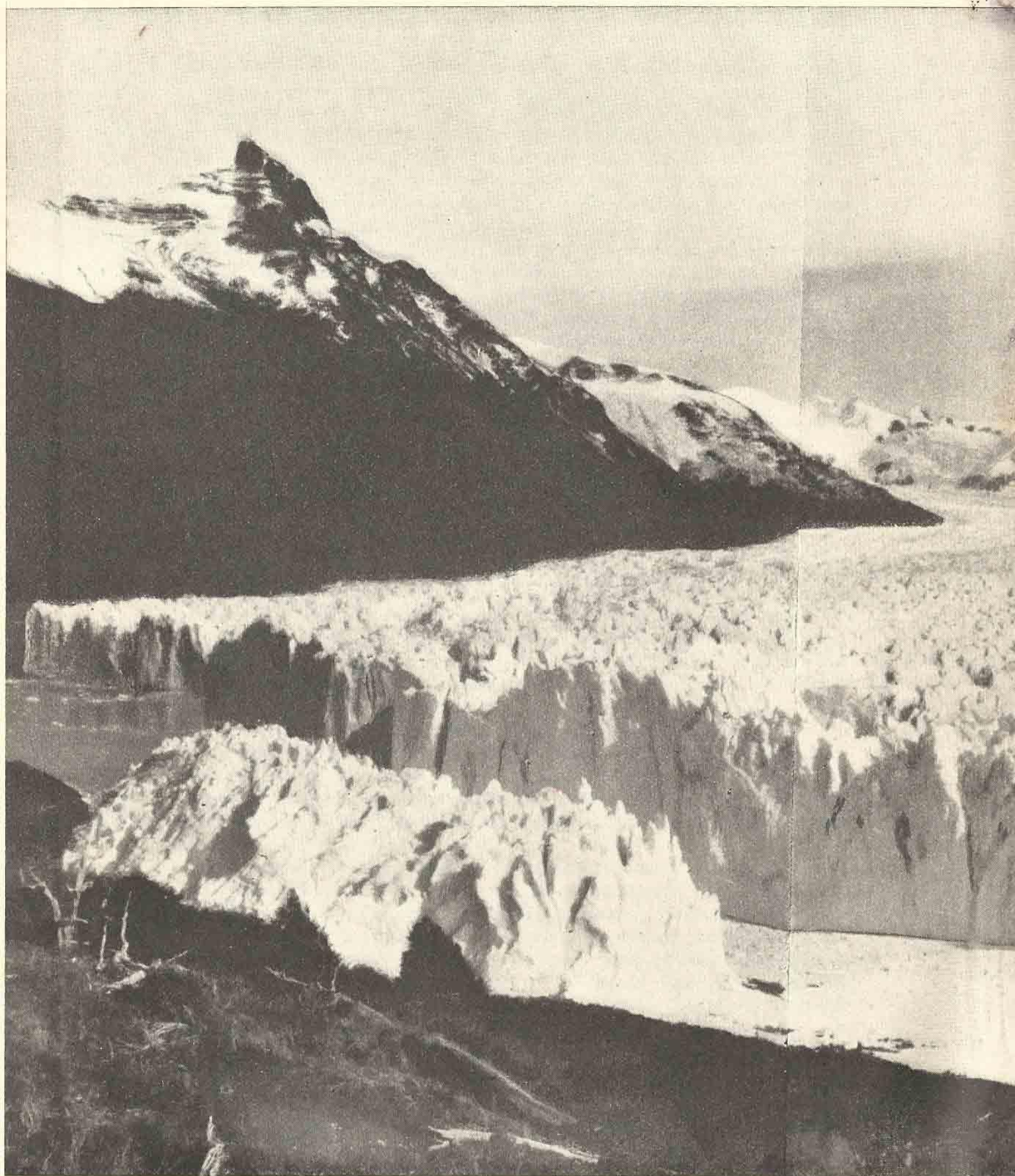
- a) esquistos arcillosos y areniscosos que gradualmente pasan a arci-  
lloesquistos filíticos gris negruzcos, a veces brillantes; y
- b) rocas cuarcíticas, grises y gris rosadas, frecuentemente de es-  
tructura bandada y dispuestas en bancos muy seguidos, o bien  
alternando con los arcilloesquistos.

En los contactos de los plutones con los esquistos, éstos aparecen como rocas córneas, o de lo contrario, como migmatitas y arteritas por reabsorción e inyección. A escasa distancia del contacto, el metamorfismo se debilita notoriamente, encontrándose rocas que poco difieren de las arcilloftaníticas del complejo titoniano cretáceo de la zona preandina, de las cuales parecerían ser una simple "facies" metamórfica.

En segundo término, se encuentra la zona preandina cuyo límite occidental está dado por el valle que desciende desde el Cerro Norte hasta la estancia María Cristina, el Canal Spegazzini, el Canal de los Témpanos, y el Brazo Sur; su límite oriental está en la mitad de la cuenca del lago. Las cumbres de esta zona alcanzan los 2000 m, y no se ven cubiertas por el hielo, excepción hecha de algunos pequeños glaciares de circo situados en las altas cumbres cercanas al valle de dicha estancia.

Una sucesión de pórfidos cuarcíferos y tobas, cuyo espesor debe superar los 500 ó 600 m, constituye la representación rocosa más antigua observada hasta el presente en la cuenca del lago, extendiéndose este complejo desde antes del límite de esta cuenca con la del Lago Viedma, prolongándose al norte y este del Brazo Norte. También se la ha observado en la orilla occidental del Brazo Rico en su extremo inferior, siendo probable que se prolongue hasta debajo de la parte cubierta por el hielo del Glaciar Moreno. La serie comprende una alternación de coladas de pórfido cuarcífero con tobas muy semejantes. El color de aquéllas es gris y gris oscuro en las superficies frescas, tomando un tinte rosado por alteración a la intemperie.

No se ha encontrado la base de esta serie, por lo que no fué posible asignarle límite cronológico inferior. Su parte superior presenta una alternación de coladas de lava con sedimentos arcillosos y tobas vol-



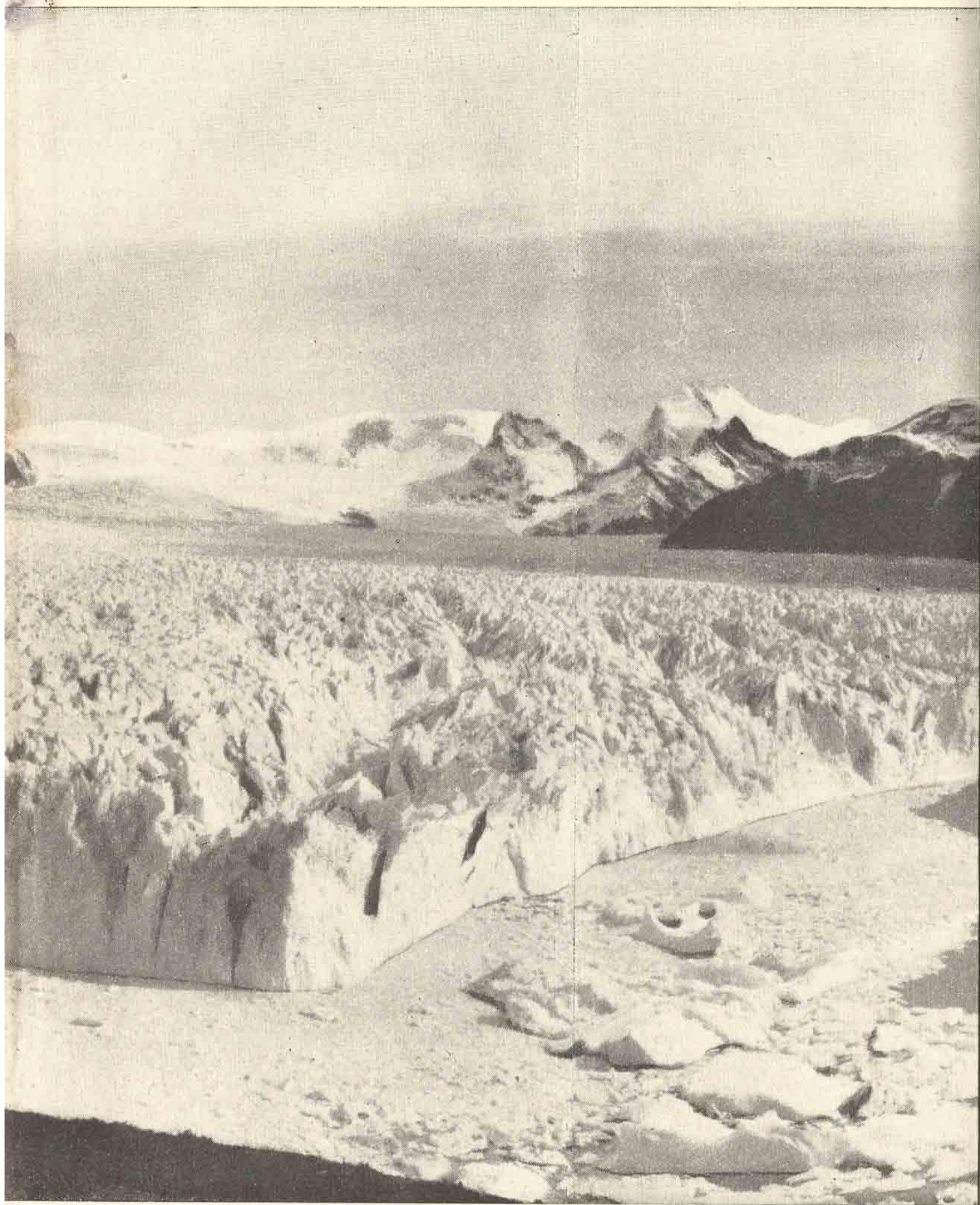
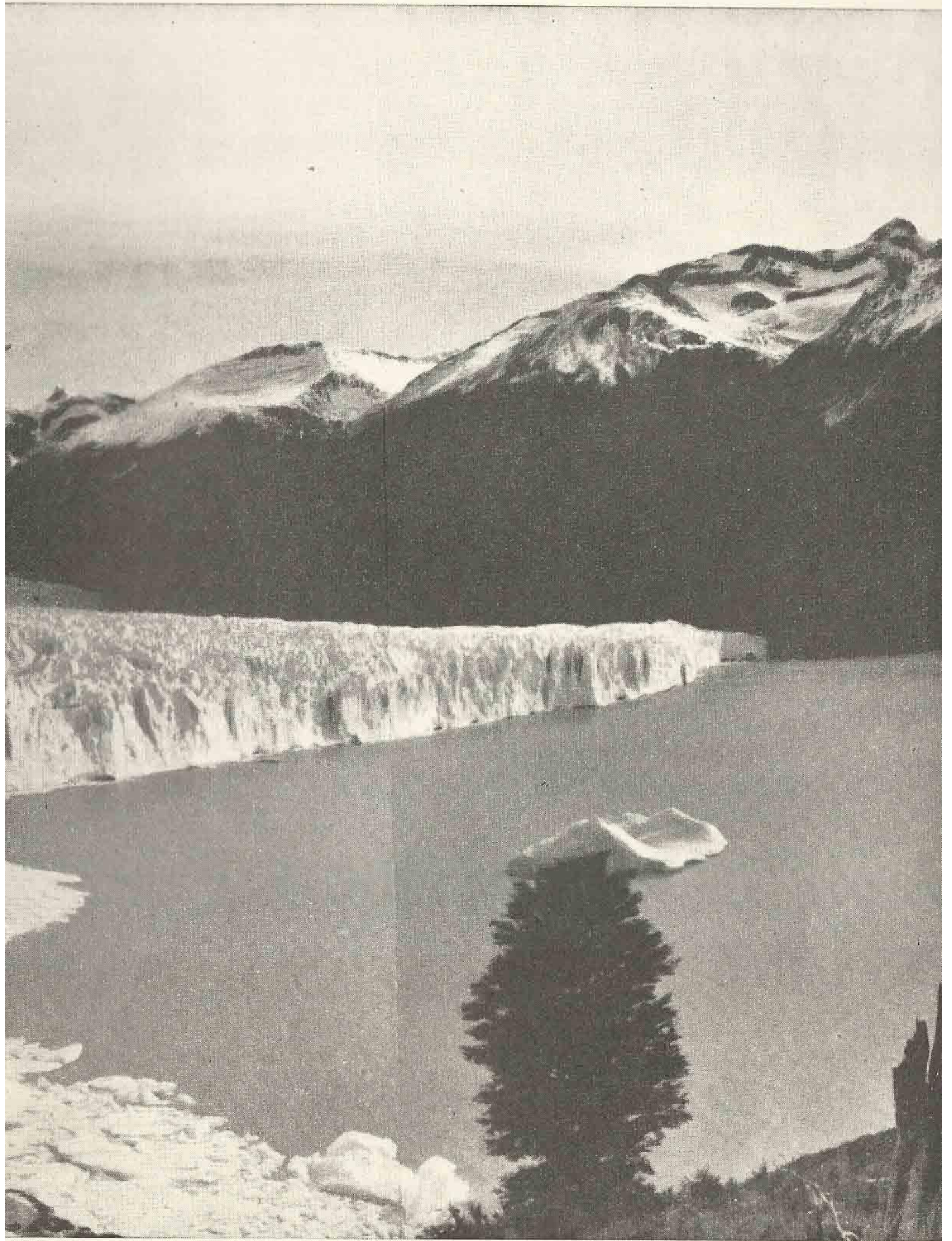
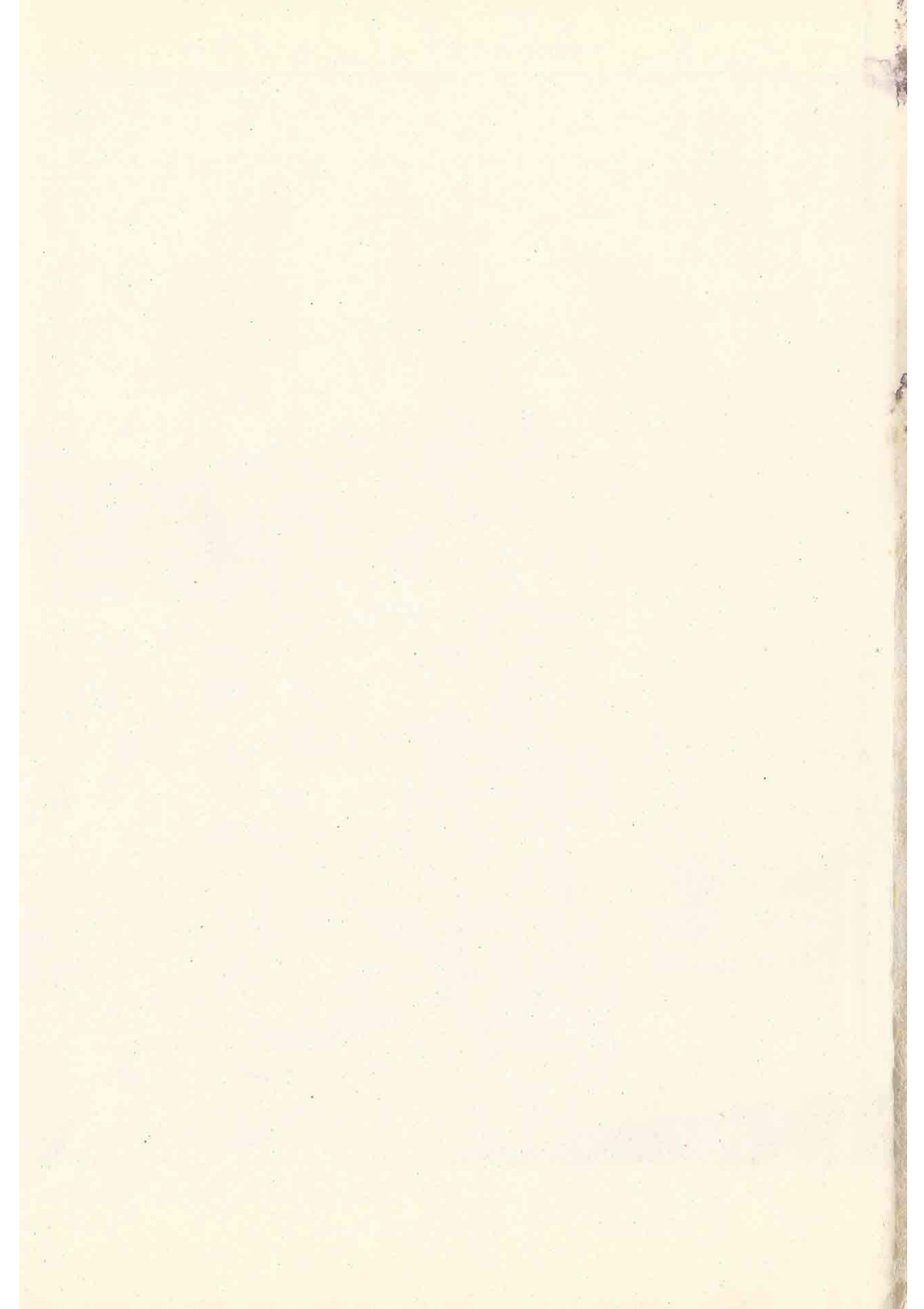


FIG. 2. — Vista panorámica del Glaciar Moreno.





cánicas portadores de restos de fósiles marinos del Titoniano, de lo que se infiere que el complejo porfirico, por lo menos en sus términos superiores, fué de erupción marina.

A esta serie de transición sigue un potente complejo sedimentario de marcada uniformidad, compuesto de rocas arcillíticas, ftaníticas y finamente areniscosas con capas de pequeño espesor y de color negruzco. Su espesor se ha estimado en 1000-1500 metros.

Estos terrenos constituyen la mayor parte de la zona preandina, encontrándoselos en pliegues no muy acentuados, aunque las capas sí se presentan localmente bastante replegadas. Son portadores de fósiles que abundan más en la parte inferior y que permiten asignarles edad, que abarca desde el Titoniano medio hasta el Turoniano inclusive, siendo probable que alcancen también a la parte inicial del Senoniano.

En tercer y último término, está la zona subandina que aflora en la mitad oriental del lago incluyendo mesetas abruptamente levantadas sobre el mismo; su altura va paulatinamente disminuyendo hacia el este hasta confundirse con la altiplanicie patagónica.

De la serie arcilloso-ftanítica anteriormente descrita se pasa, mediante una de transición, al complejo supracretáceo, en parte areniscoso con un espesor que se estima en 1000 m ó más, y que en sus términos inferiores contiene fósiles del Senoniano. La serie de transición está formada por sedimentos arcillosos con intercalaciones cada vez más frecuentes hacia arriba de estratos y bancos areniscosos.

El complejo supracretáceo, areniscoso o areniscoso-conglomerádico se encuentra a lo largo de la orilla austral del lago, a la altura del Lago Rico, desde donde se extiende con una inclinación predominante ESE hasta la estancia "Quién Sabe", y, a lo largo de la orilla norte, hasta la altura del Arroyo de las Horquetas, para prolongarse hasta la meseta de Fernando Fernández, antes del Río Leona. Este complejo se depositó evidentemente en un mar poco profundo, cerca de tierras emergidas surcadas por cursos de agua que arrastraban sedimentos arenosos y cascajos. La presencia de huesos de Dinosaurios prueba la proximidad de tierra firme.

Sobre la serie citada se dispone el Patagoniense en posición paralela, habiendo un hiatus faunístico que evidencia una laguna estratigráfica entre una y otra serie.

En la cuenca del Lago Argentino, la serie marina supracretácea está debajo de sedimentos probablemente estuáricos y continentales con restos de vegetales terrestres cuyo espesor es de 200-210 m, demostrando que al período de subsistencia marina cretáceo siguió uno de régimen continental que persistió hasta la transgresión patagoniense.

De la serie marina patagoniense se pasa muy suavemente y sin discordancia a un potente complejo de origen fluvial o fluvio-lacustre, que pertenece al Santacrucense. Se infiere, entonces, que la transición del régimen marino al continental fué muy gradual y en lenta regresión. Ello es de gran importancia, pues denota que el plegamiento máximo y solevantamiento de la zona andina y subandina fueron posteriores al Santacrucense.

En la cuenca del Lago Argentino, el Santacrucense se compone de

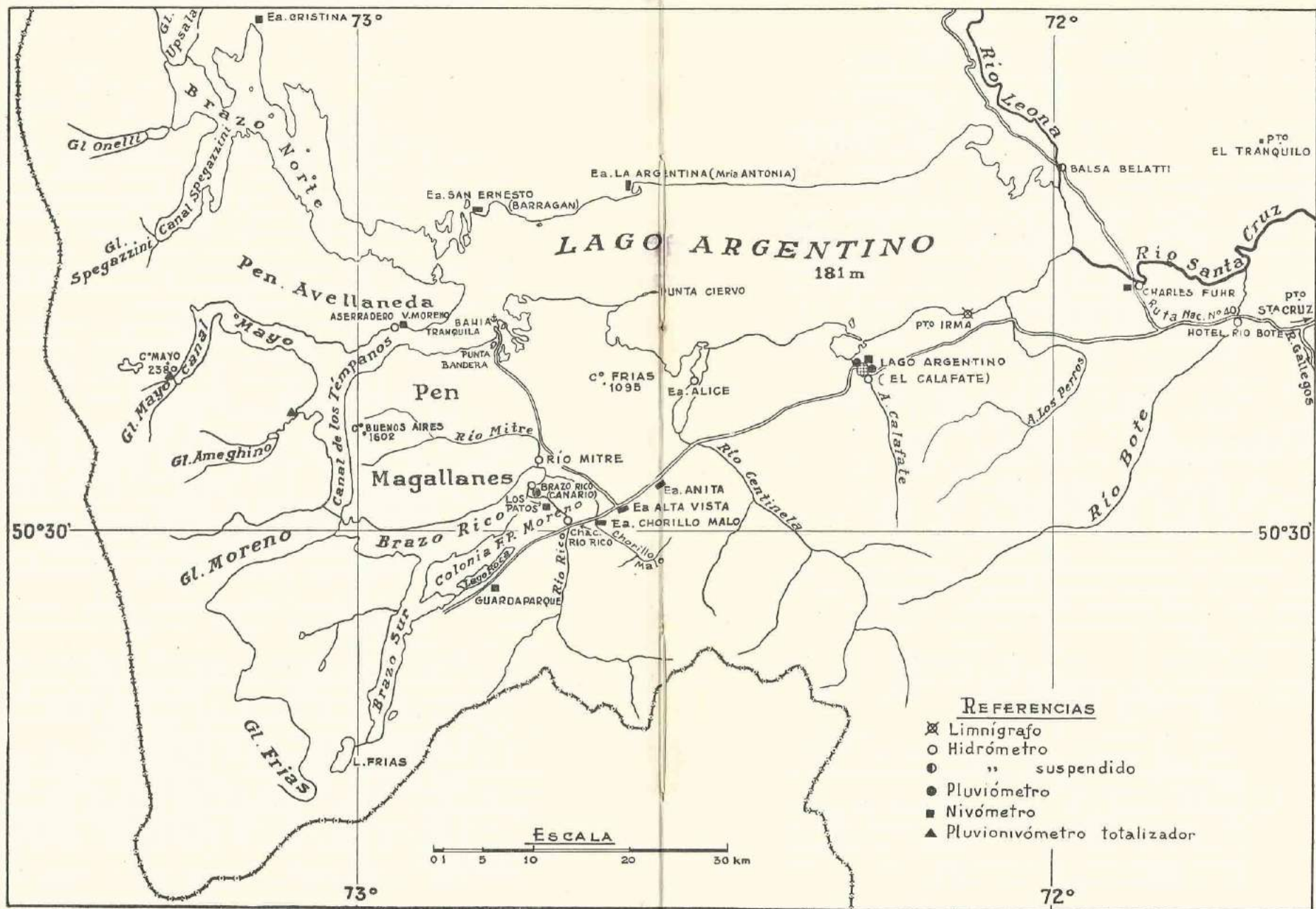


FIG. 3. — Zona del Lago Argentino.

capas y bancos, a veces lenticulares, de tobas, areniscas y conglomerados con rodados porfíricos, tobáceos y pumíceos cuyo color va del blanco al gris, gris amarillento y verdoso. Su espesor máximo encontrado es de 430 m, encerrando en sí huesos de mamíferos terrestres.

Debido a que el complejo marino patagoniense tiene menor desarrollo en esta parte que en la zona costera, se cree probable que el período de subsistencia del mar haya sido más corto que en la costa atlántica actual y que el movimiento regresivo haya comenzado en el oeste para extenderse gradualmente hacia el este.

#### *Depósitos morénicos*

La cuenca del Lago Argentino es rica en depósitos morénicos que se encuentran ampliamente difundidos, tanto en ella como en las mesetas montañosas que la circundan. Su consideración debe abarcar necesariamente, por su estrecha vinculación, la zona lindante al este del límite oriental, en la que se encuentra el tramo superior del valle del Río Santa Cruz, cuyos rasgos topográficos principales han sido determinados por el trabajo de los glaciares que, provenientes del oeste, ora erosionaban fuertemente el basamento existente, ora rellenaban con el aporte de sus morenas los lechos por ellos mismos cavados en los sucesivos avances y retrocesos pleistocénicos.

Dos sistemas morénicos principales se manifiestan distintamente en la zona: antiguo y externo uno, el de la Pampa Alta (400-600 m sobre el nivel actual del piso del valle del Río Santa Cruz), y más moderno e interno el otro, que se ubica en el fondo del valle.

El lapso transcurrido entre las respectivas invasiones originarias de estos dos sistemas, fué relativamente largo y estuvo afectado por un clima más cálido y húmedo que el actual, lo que se infiere de la degradación y alteración superficial manifiestas en los depósitos de Pampa Alta.

Por otra parte, la meseta ubicada entre Río Rico y Chorillo Malo se constituye de seis mantos morénicos que se intercalan con basaltos generados por erupciones ocurridas durante el Pleistoceno. Sobre el manto basáltico más reciente se encuentran bloques erráticos de pórfido cuarcífero y diorita, denunciando de una nueva incursión del hielo sobre su superficie.

El segundo sistema de morenas se compone primordialmente de tres cintas bien definidas que se disponen en el fondo del valle del Río Santa Cruz por espacio de sus 75 km iniciales, es decir, a partir del extremo oriental del Lago Argentino. Son ellas:

- a) la cinta más antigua es la que se encuentra a la altura de las estancias Mortensen y Tres Cerros, poco antes del Cerro Fortaleza. Su posición indica que el piso del valle se encontraba 100 m más alto que en la actualidad.
- b) otra cinta, formando un arco cuya concavidad mira hacia el lago, pasa por el Puesto del Tranquilo; es cortada luego por el curso del Río Santa Cruz y va a terminar en las proximidades del límite noroeste de la Pampa Alta y sobre la margen derecha del curso medio del Arroyo del Bote;



- c) finalmente, hay una cinta bastante ancha, en donde se advierten cordones concéntricos, formando un arco que indica la extremidad oriental del lago. Vinculadas a este depósito, a lo largo de la orilla austral del lago se disponen morenas laterales que llegan hasta el Calafate.

En cuanto a las morenas estadiarias que aparecen en la zona, ofrecen las siguientes características:

- a) aparte de las cintas morénicas ya mencionadas, hay otras que denuncian un avance posterior a la glaciación, que bien podría estar vinculado al Bühl de los Alpes y que parece corresponder a otro señalado en la zona del Lago Menéndez (Chubut). Estos cordones de morenas estadiarias se encuentran dispuestos en dos series principales: Uno, elevado y continuo conteniendo bloques de granodiorita, se inicia en la orilla norte del Lago Argentino, unos 7 km al este de la estancia Barragán, alcanzando su ancho hasta la estancia María Antonia y se continúa al sur por la Punta Ciervo hasta terminar junto a Puerto Bandera en el límite noreste del Cerro Buenos Aires. El otro, se inicia al promediar el límite del faldeo oriental del Cerro Buenos Aires, sobre la margen izquierda del Río Mitre alcanzando su anchura hasta la terminación sudoeste del Cerro Frías. Este cordón se dirige formando un arco hacia el sudeste, en donde alcanza la estancia Alta Vista, y de ahí al sudoeste, pasando por la estancia Chorrillo Malo para formar finalmente el límite sur del Lago Roca.
- b) hay otros arcos morénicos depositados en las extremidades internas de los canales, a corta distancia de los frentes de los glaciares y que corresponden a una fase mucho más reciente. Son ellos, de sur a norte:
1. morenas que separan Brazo Sur de Laguna Frías situadas a 10 km del frente actual del Glaciar Frías.
  2. morenas situadas a 8 km del frente del Glaciar Moreno en la parte meridional de la Península Magallanes en la angostura Brazo Rico.
  3. morenas que separan Brazo Norte de Laguna Onelli situadas a 3 km del frente del Glaciar Onelli.
  4. arco morénico, en parte doble, situado sobre el fondo del valle próximo a Laguna Anita, frente al Vallecito de la Cascada.
  5. morenas de la Península Hermanitas del Brazo Norte.

### *Sismicidad*

A pesar de que la Patagonia Austral no está considerada como región sísmica, en el archivo de la División Sismología del Servicio Meteorológico Nacional hay datos, desde 1877, acerca de 18 temblores, en general leves, de los cuales cuatro fueron registrados en la zona de Lago Argentino en la siguiente forma:

- el 12 y 16 de junio de 1930 dos temblores de bastante intensidad  
 » 23 de enero de 1944 temblor de cierta intensidad  
 » 17 » julio » 1947 » » regular »  
 » 3 » abril » 1948 » » » »

Por su parte, los pobladores de la zona occidental de Lago Argentino confirman la ocurrencia de varios temblores leves por año.

Una comisión del Servicio Meteorológico Nacional en el campamento situado a 1,5 km del frente del Glaciar Moreno percibió el 3 de marzo de 1952 a la 1,00 hora un fuerte movimiento vibratorio que duró unos 10 segundos y que fué acompañado por ruidos subterráneos graves y prolongados. Ese fenómeno ocurrió 11 horas después de la apertura prístina del túnel y 5 horas antes de la apertura del túnel grande que terminó la inundación.

No se poseen observaciones directas de influencia de sismos sobre el movimiento del Glaciar Moreno pero se supone que ella podría quebrar el equilibrio de la masa de hielo dando como efecto en el frente los bruscos avances.

### *Clima*

Durante casi todo el año el clima de la parte austral de la Cordillera de los Andes está regido por los fuertes vientos del sector oeste que son consecuencia del gran gradiente bórico existente entre la célula pacífica oriental de la gran cintura de alta presión subtropical y la zona circumpolar de baja presión. Según la intensidad, ubicación y predominio de estos dos centros bóricos, la dirección de los vientos varía, en general, entre el sudoeste y el noroeste, y éstos tienen habitualmente elevada velocidad. Estas variaciones en la dirección del viento influyen considerablemente sobre el estado del tiempo en la costa chilena y en la región del Hielo Continental.

Las fuertes corrientes de aire húmedo del sector oeste producen lluvias muy frecuentes e intensas en la ladera occidental de la cordillera. La estación Islote de los Evangelistas ( $52^{\circ} 24' - 75^{\circ} 06'$ ), situada a 100 km aproximadamente al sudoeste de la cordillera, acusa como promedio de una larga serie de observaciones 2800 mm y 323 días con precipitación por año. Bahía Félix, también situada en la costa del Pacífico, registra precipitaciones anuales de hasta 7200 mm.

De la región del Hielo Continental no se tienen observaciones, pero en la parte oriental de la cordillera y muy próximos a la misma, los pluviómetros-totalizadores de los glaciares Ameghino y Mayo, dan para la precipitación anual un promedio de 1200 y 1300 mm, respectivamente. Desde estos lugares hacia el E la precipitación disminuye rápidamente, y en Lago Argentino (El Calafate), por ejemplo, el total anual es de 209 mm.

Por la poca altura de la cordillera en esta zona — 1500 a 2000 m sobre el nivel del mar — es lógico admitir que las precipitaciones en la parte alta de la misma deben ser algo superiores a las del faldeo occidental, o sea de unos 3000 mm anuales.

Al E del Lago Argentino se extiende la meseta patagónica que tiene un clima continental semiárido (totales anuales de 200 mm o menos aún). La precipitación disminuye, por lo tanto, desde las costas del Pacífico a menos de la vigésima parte en una distancia de unos 100 km.

La temperatura en esa región es inferior a la que corresponde a una latitud de  $50^{\circ}$ , debido a la corriente fría de Humboldt, proveniente de

los mares polares. En Islote de los Evangelistas la temperatura media anual es de  $6^{\circ}$  y en las estaciones del lado oriental de la cordillera alcanza: Lago Argentino, media anual  $7^{\circ}$ , máxima absoluta  $29^{\circ}$ , mínima absoluta  $-13^{\circ}$ ; Cerro Fitz Roy, media anual  $7^{\circ}$ , máxima absoluta  $30^{\circ}$ , mínima absoluta  $-21^{\circ}$ . Como consecuencia de ello, las nieves eternas, según su exposición, se encuentran entre 500 y 1000 m sobre el nivel del mar.

La nubosidad también es muy elevada. En el promedio anual, casi  $\frac{9}{10}$  del cielo está cubierto por nubes, y el Islote de los Evangelistas, por ejemplo, señala como promedio de una larga serie de observaciones, 308 días con cielo cubierto. Durante el año la nubosidad varía sólo en una escala muy reducida, observándose en invierno menos nubosidad que en verano.

Comparando los promedios de lluvia, temperatura y nubosidad en la costa pacífica a  $50^{\circ}$  S (latitud media del Hielo Continental), con los correspondientes a la misma latitud de las costas occidentales del hemisferio norte, se nota que las condiciones en el hemisferio sur son más favorables para la formación de glaciares que aquellas de las mismas latitudes del hemisferio norte, donde recién a unos  $10^{\circ}$  más cerca del Polo se encuentran condiciones más o menos semejantes, aunque con menos precipitación. De ahí que sea América del Sud la parte del mundo donde se observa el glaciar más distante del Polo que termina en el mar (Ventisquero San Rafael,  $46^{\circ} 40' S$ )<sup>1</sup>. Los datos que consignamos a continuación ilustran al respecto.

*Promedios anuales de lluvia, temperatura y nubosidad en las costas occidentales de los continentes a  $50^{\circ}$  de latitud.*

	América del Sud	América del Norte	Europa
Lluvia en mm .....	4-5000	2500	800
Temperatura en $^{\circ}C$ { mar .....	8,0	9,5	11,0
{ tierra .....	7,0	9,0	10,5
Nubosidad en décimos .....	8,5	6,0	6,5

Resumiendo, puede decirse que el clima del Hielo Continental pertenece al régimen oceánico de esa parte del Pacífico con precipitaciones muy abundantes, mucha nubosidad, temperaturas muy bajas para estas latitudes y fuertes vientos muy frecuentes del sector oeste.

### III. ANTECEDENTES

El primero en llegar a esta región fué el Perito Francisco P. MORENO, el 14 de marzo de 1877. En su obra documental (24, pág. 432) expresa: "Al medio día, ... salimos todos hacia el Sur, por el valle situado entre los Cerros "Buenos Aires" y el "Monte Frías"; al principio creemos que están circundados al Sur por otro lago y seguimos sus orillas hasta convencernos que no es sino la prolongación del Lago

<sup>1</sup> En Alaska, el glaciar más alejado del polo, que termina en el mar, es el Taku (latitud  $58^{\circ} N$ ) y en Noruega el Jökkel ( $68^{\circ}$ ).

Argentino, con el que comunica esta gran bahía por el canal de los témpanos.

"En el fondo de ésta, que está limitada al Sur por una serranía, cubierta en parte de bosques, hay siete enormes témpanos. Hacia el SO se ve gran Abra en la Cordillera, y a la entrada del sol, podemos ver los rayos que cruzan por ella, a través de los Andes. Alumbran al mismo tiempo los canales salados del Pacífico y los del Lago Argentino. Hacia el Norte de esta Abra, inmensos cerros nevados con ventisqueros que se extienden hasta casi el agua, son los que producen los témpanos".

La denominación de "Glaciar Moreno" fué dada por el Teniente de Fragata Alfredo R. IGLESIAS (20, pág. 83), quien en 1899 efectuó relevamientos hidrográficos del Río Santa Cruz y Lago Argentino. Manifiesta en su informe, publicado en 1901: "El canal mencionado anteriormente con el nombre de Canal de los Témpanos arranca en el Lago Argentino desde Punta Bandera, lengua de tierra que proyecta el Monte Buenos Aires y termina en la Laguna Rica, casi frente a un gran ventisquero que cae de las montañas que forman el contrafuerte de la Cordillera en su parte oriental y al cual se le dió el nombre de "Glaciar Moreno".

Las primeras observaciones y medidas fueron efectuadas en 1899 y 1900 por R. HAUTHAL (15, pág. 30, y 16, pág. 133), adscrito a la Comisión Argentina de Límites. Constató los anchos del canal, el 25 de febrero de 1899 y el 4 de marzo de 1900, que, fundándose en su croquis, pueden estimarse en 1120 m y 980 m, respectivamente. La línea del frente del glaciar, marcada en dicho esquema es de difícil comparación con las actuales, obtenidas por triangulación, por no ofrecer puntos de referencias comunes. Es de destacar que el mismo Hauthal designó a este glaciar con el nombre de "Bismarckgletscher"<sup>2</sup>, nombre con el cual el Glaciar Moreno figura desde entonces en algunos mapas y obras de origen germano y chileno.

En 1908 P. D. QUENSEL, el integrante de la expedición de Skottsberg, realizó nuevas observaciones en el lugar, de las cuales se hace eco Hauthal (16, pág. 141), también expuestas aunque en líneas generales, por el propio Quensel en el capítulo XVII (pág. 273) "Lago Argentino" de la obra publicada por SKOTTSBERG (32). Según Hauthal, Quensel pudo comprobar que, en 1908, el canal tenía un ancho de 500 m. En el croquis sólo figura la parte sur de la barrera de hielo.

Las expediciones patrocinadas por la Sociedad Científica Alemana, que trabajaron en la Patagonia desde Bariloche hacia el sur entre 1910 y 1916, realizaron estudios y observaciones que han sido publicados en la obra "La Patagonia" de KÖLLICKER, A., KÜHN, F., REICHERT, F., TOMSEN, A. y WITTE, L. (21) y en artículos de Reichert, F. (30, pág. 155 y 31, pág. 225), y HICKEN, C. M. (19, pág. 365).

Según estas observaciones, el ancho del canal en 1914 alcanzaba a unos 150 m y la línea del frente era una curva suave a diferencia de todas las demás, que tienen forma de V, con sus lados en ángulo de unos 90°.

<sup>2</sup> "Eines der schönsten, prächtigsten, Gletscherbilder, die ich je geschaut und das ich für immer mit den Namen des gewaltigen deutschen Staatsmannes verknüpfen will" (15, pág. 30). ("Uno de los más bellos y grandiosos espectáculos de glaciar que jamás haya contemplado y que deseo mantener para siempre unido al nombre del gran estadista alemán").

Esa expedición realizó un reconocimiento por el lado N del Glaciar Moreno, internándose unos 30 km en el Hielo Continental. Según las observaciones efectuadas por Reichert, existen cuatro corrientes de hielo que forman la lengua del Glaciar Moreno. Además, reconocieron los orígenes de los glaciares vecinos y ubicaron el *divortium* interoceánico.

A este respecto, cabe consignar que según los reconocimientos efectuados por técnicos del Servicio Meteorológico Nacional y las aerofotografías del Instituto Geográfico Militar, el Glaciar Moreno recibe el aporte de dos corrientes, provenientes del S y del O. Es probable que Reichert haya considerado también como corrientes un pequeño glaciar tributario, de unos 400 m de ancho, que corre en dirección paralela a la corriente del O ya mencionada y otro glaciar colgante situado del lado N, cuya contribución al Glaciar Moreno se hace por desprendimientos de bloques de hielo.

Con referencia al movimiento del Glaciar Moreno, Reichert (21, pág. 134) previó: "Suponiendo, pues, que el avance siga en la misma progresión, se calculan cinco años más hasta que el ventisquero cierre por completo el Canal Témpanos y corte las comunicaciones de éste con los Brazos Rico y Sur". Tal predicción se vió confirmada, ya que en el año 1917 la barrera de hielo llegó a la orilla de la Península Magallanes, según el R. P. A. M. DE AGOSTINI (6, pág. 126): "unas decenas de metros y que volvió a abrirse al cabo de algunas semanas".

Durante los diez años siguientes, se carece por completo de datos referentes al glaciar. Recién en el año 1926, E. FERUGLIO (10, pág. 184), basado en informaciones suministradas por pobladores de la zona, consigna: "... el canal entre el glaciar y la orilla del Cerro Buenos Aires era, en 1926, bastante ancho (seguramente algunos cientos de metros) como para permitir pasar por él con una lancha sin peligro de las olas que levantan los bloques de hielo que se desprenden del frente escarpado del glaciar".

La fotografía tomada en 1928 por De Agostini, permite deducir que el ancho del canal era en aquel entonces de unos 150 m. De los años posteriores, faltan datos hasta el verano de 1934-35 en que, por breve tiempo, el canal quedó cerrado por segunda vez (Feruglio, *ibid.*, pág. 184).

Los más importantes estudios geológicos y glaciológicos en la zona de Lago Argentino los realizó E. Feruglio en 1930-31 y 1935-37. Estos resultados fueron publicados en los artículos (7, 8), reunidos en su libro de 1944 (10) e incorporados en 1952 en su obra definitiva, síntesis geológica de la Patagonia (11). Sus estudios de las glaciaciones cuaternarias son minuciosos; de la actual, se limita a descripción general de Hielo Continental y unos glaciares de vertiente oriental. En el caso del Glaciar Moreno da detallados antecedentes y resultados de su primer levantamiento del frente, utilizando telémetro y brújula, efectuado en marzo de 1937. El ancho del canal era entonces de unos 50 m.

Por tercera vez el canal, quedó cerrado en el verano de 1939-40, produciéndose una inundación en la zona adyacente al Brazo Rico. Con el propósito de detener la inundación que causaba daños en las chacras de las inmediaciones, el Ministerio de Marina, dispuso que un avión

arrojara bombas explosivas sobre la barrera de hielo, pero el procedimiento no dió resultado. Asimismo, el Ministerio de Obras Públicas, interesado en el problema, envió al lugar una comisión integrada por C. A. VOLPI y A. L. GRANDI (34). Esa comisión midió la parte más avanzada del frente, hizo un levantamiento taquimétrico del terreno adyacente, y confeccionó un croquis general de toda la lengua del glaciar. La diferencia del nivel de las aguas entre el Brazo Rico y Canal de los Témpanos, el 30 de noviembre de 1939 era de 4,61 m.

El cuarto cierre del canal, que abarcó de 1941 a fines de marzo de 1942, provocó la mayor inundación hasta hoy conocida. Sus características se analizan en el Cap. VII.

En febrero y marzo de 1946, A. HEIM (18), por encargo de la Dirección General de Parques Nacionales y Turismo, efectuó observaciones de los glaciares de la región, especialmente del Glaciar Moreno. En su informe no existen datos sobre el ancho del canal, pero de su croquis se deduce que era de unos 50 m.

Una comisión del Servicio Meteorológico Nacional constató en diciembre de 1946 que el canal estaba cerrado, pero existía un túnel de intercomunicación. Un año después, en diciembre de 1947, otra comisión del Servicio Meteorológico Nacional efectuó por primera vez el levantamiento de toda la barrera de hielo, utilizando teodolito, desde la misma base de Volpi y Grandi.

La American Geographical Society, actuando en comisión con el Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia", inició en 1949 estudios glaciológicos comparativos en los Andes Patagónicos. Los resultados publicados hasta la fecha por R. L. NICHOLS y M. M. MILLER aportan las observaciones geomorfológicas sobre el valle del Glaciar Ameghino (26), y acerca del Glaciar Moreno (27), dan una descripción general y citan numerosos ejemplos de los simultáneos avances y retrocesos de los glaciares en Alaska.

El material y resultados que se consignan en los capítulos siguientes, corresponden a observaciones realizadas por seis comisiones sucesivas del Servicio Meteorológico Nacional: febrero-abril de 1948, noviembre-diciembre de 1948, febrero-marzo de 1949, marzo-abril de 1950, noviembre-diciembre de 1951 y febrero-abril de 1952.

#### IV. MORFOLOGÍA DEL GLACIAR

A pesar de que el estudio del Glaciar Moreno ha suscitado el interés de entidades y personas en el transcurso de los últimos 50 años, todo lo escrito se refiere casi exclusivamente a la situación del frente del glaciar.

Hauthal y Quensel, en efecto, reconocieron algunos centenares de metros de la orilla sur. La única incursión al Hielo Continental en la zona del Glaciar Moreno estuvo a cargo de la expedición alemana de 1914, la que sólo da una descripción general de su recorrido por la carencia de mapas de esa zona hasta ahora casi inexplorada. Dicha expedición se dedicó con exclusividad a problemas topográficos tales como el *divortium* interoceánico y cordones montañosos, agregando, además,

algunas observaciones geológicas y botánicas. Tanto Feruglio como Heim se limitaron, a su vez, a efectuar una corta incursión por la orilla norte.

Los mapas publicados por el Instituto Geográfico Militar de nuestro país, así como los chilenos, no se basan en levantamientos terrestres. El levantamiento aerofotogramétrico realizado en 1947 por el I. G. M. abarca la zona del Lago Argentino, pero las planchetas publicadas hasta la fecha en escala 1:100.000 no incluyen la cuenca del Glaciar Moreno, razón por la cual, en el presente estudio, fueron utilizados, como base principal, el mosaico y las aerofotografías originales de tal levantamiento, cedidas al efecto por dicho Instituto.

Las comisiones del Servicio Meteorológico Nacional no han tenido posibilidades de realizar hasta ahora una profunda incursión en la cuenca del glaciar. No obstante, se han llevado a cabo numerosos reconocimientos que se extendieron hasta 8,5 km por el lado N y 2 km por la orilla S, a contar del lago, así como varias recorridas de la parte central de la lengua y escalamiento de los cerros vecinos a los efectos de una mejor interpretación de las aerofotografías.

Quensel (28), se ocupó del problema del *divortium* interoceánico, pero desde el punto de vista de su desplazamiento a través del cuaternario. Consideraba que el límite interoceánico se desplazó en algunos lugares australes de la Cordillera, de E a O, por los endicamientos originados por las morenas frontales. En su croquis Reichert (21), indica la posición del límite interoceánico, pero por la nomenclatura adoptada y la configuración del terreno, no se puede encuadrar dentro de los planos actuales.

### Cuenca

Basándose en los datos arriba enumerados, ha sido delimitada la cuenca del Glaciar Moreno (Fig. 4) en la forma siguiente: la parte del límite correspondiente al *divortium* interoceánico está representada por una línea que se extiende desde un cerro sin nombre, situado sobre el eje geométrico de la lengua a 23 km del frente del glaciar, hasta otro cerro situado a 16 km del anterior. El sector norte de este arco está claramente definido por una cresta bien marcada que se hace cada vez más suave hacia el sur, dificultando en esta segunda parte el trazado del límite de la cuenca, en base a las aerofotografías. A unos 10 km al SO del extremo S de esta línea pueden apreciarse en las aerofotografías las grietas transversales de un glaciar sin nombre que baja al seno Peel.

El límite del Glaciar Moreno con su vecino del N, el Glaciar Ameghino, se encuentra definido por una línea dentada que partiendo del extremo N del *divortium* interoceánico con dirección NE, pasa por los cerros Catedral,  $\delta$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$  y  $\alpha$ , terminando en el Canal de los Témpanos. A ambos lados de esta parte del límite de la cuenca hay numerosos glaciares colgantes.

El límite con el Glaciar Frías, partiendo de la extremidad S del *divortium* interoceánico, se dirige al E pasando por una planicie con un nido de *nunatak* y terminando en un cordón, una de cuyas cumbres lleva el nombre de Cerro Cervantes. A continuación, el límite entre las cuencas del Moreno y Río Camiseta, está perfectamente definido por

el cordón mencionado cuyo faldeo occidental es tan abrupto que no tiene nieve acumulada. Después se dirige directamente al E pasando por el Cerro Moreno y termina en el Brazo Rico. En la parte donde el cordón se dirige al E, se encuentra un glaciar colgante actualmente en retroceso, cuya lengua llega hasta 1 km de la orilla del Glaciar Moreno.

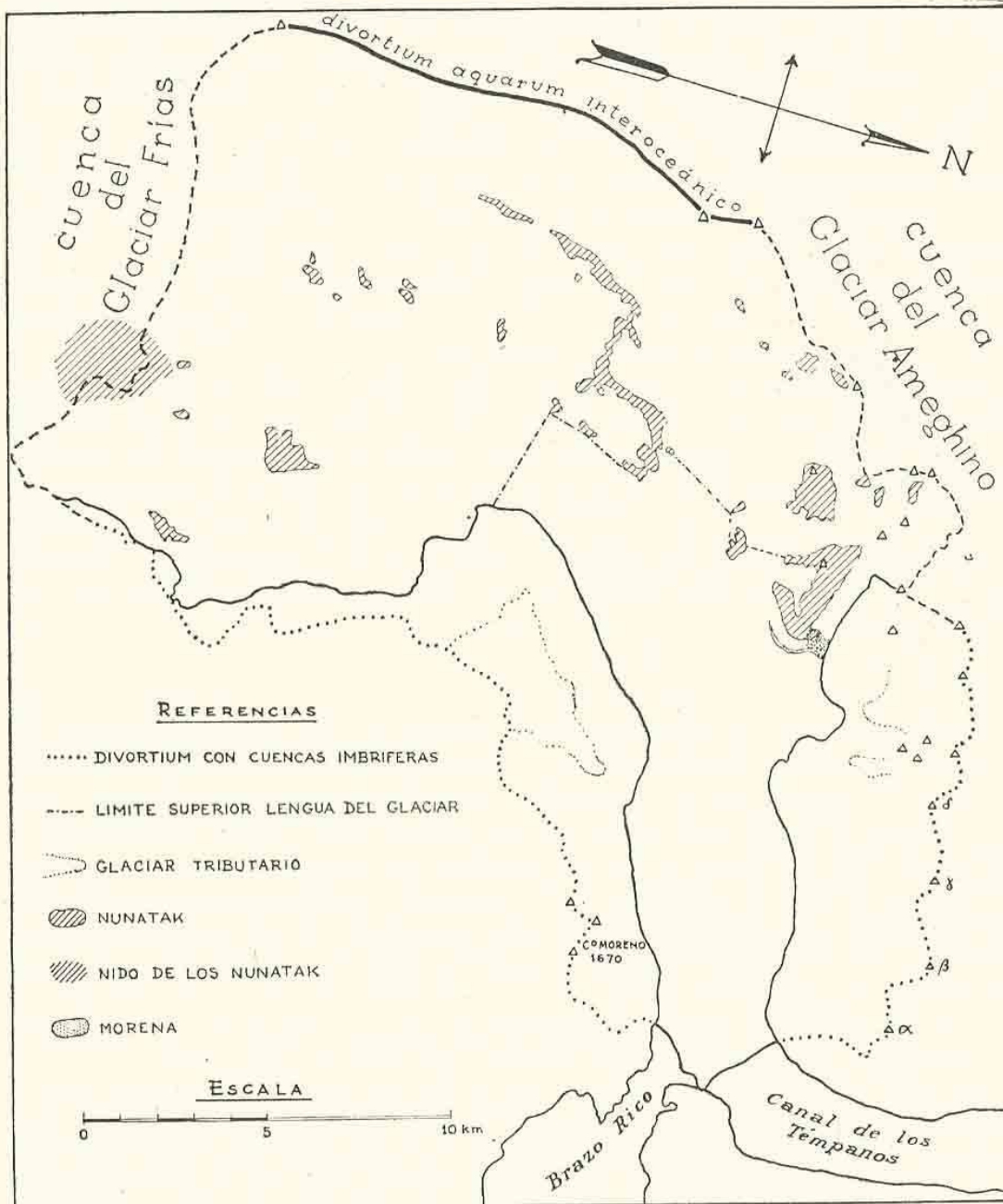


FIG. 4. — Cuenca del Glaciar Moreno.

Se considera que la lengua del glaciar se inicia en un umbral que se extiende desde el pie del Cerro Cervantes hasta un nido de *nunatak* cuyo diámetro es de aproximadamente 1600 m, y de éste, hasta la orilla izquierda del valle del Moreno pasando por el *nunatak* de unos 400 m de diámetro. La primera parte, a la que llamaremos puerta Sur (Fig. 5)



tiene un ancho de 2,6 km, y la otra, puerta Oeste, 4 km. A pesar de que el ancho de la puerta Sur es 1 km menor que la Oeste, su aporte, según los rastros de la morena mediana (Fig. 6), constituye las 2/3 partes del total. La longitud de la lengua, desde la puerta Sur hasta su frente es de 20 km. En los últimos 8,8 km la lengua se encajona en un valle transversal a la Cordillera, que tiene un ancho máximo de 4,45 km y dos angosturas, la superior de 3,35 km y la inferior de 2,825 km.

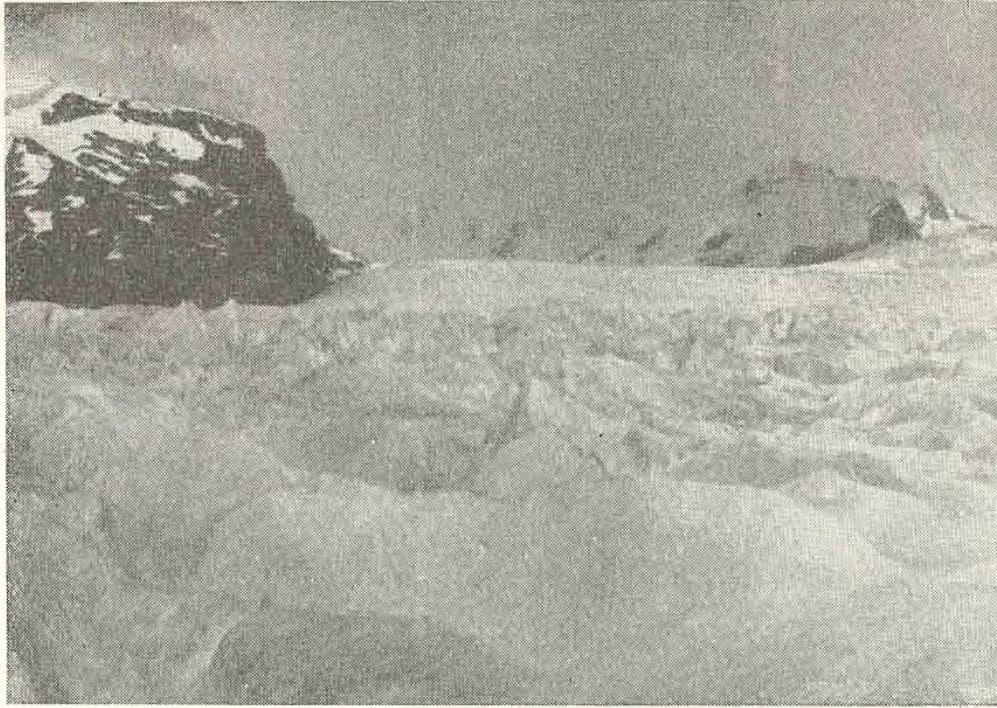


FIG. 5. — "Puerta Sur" y el segundo umbral. Vista tomada desde la parte central de la angostura superior. Marzo de 1948.

La nieve en la cuenca de alimentación, según las aerofotografías tomadas durante la época estival, presenta numerosas y variadas formas de erosión y acumulación eólica. De esa superficie nevada, sobresalen numerosos *nunatak*, algunos en estado final de erosión, que forman un nido de agujas rocosas aisladas. En otros puntos se observan deformaciones de la capa de nieve, causadas por obstáculos sumergidos a poca profundidad. Los *nunatak* y obstáculos sumergidos mencionados, indican la dirección de antiguos cordones. Uno de ellos, más sobresaliente, se extiende desde el extremo sur del *divortium* interoceánico hasta el punto donde se unen las puertas Sur y Oeste, describiendo un arco de 16 km que separa la subcuenca sur de la oeste. Otro cordón, más erosionado, paralelo al anterior, pasa por la parte central de la subcuenca sur.

En la parte inferior de la lengua, donde existe su mayor ensanchamiento, y a unos 2 km arriba de la angostura superior, se observan dos elevaciones en forma de "cúpulas" muy suaves. Serían los vestigios de dos cerros erodados, continuación de un cordón central que divide la cuenca del glaciar en dos subcuencas. Se supone que el ancho actual del

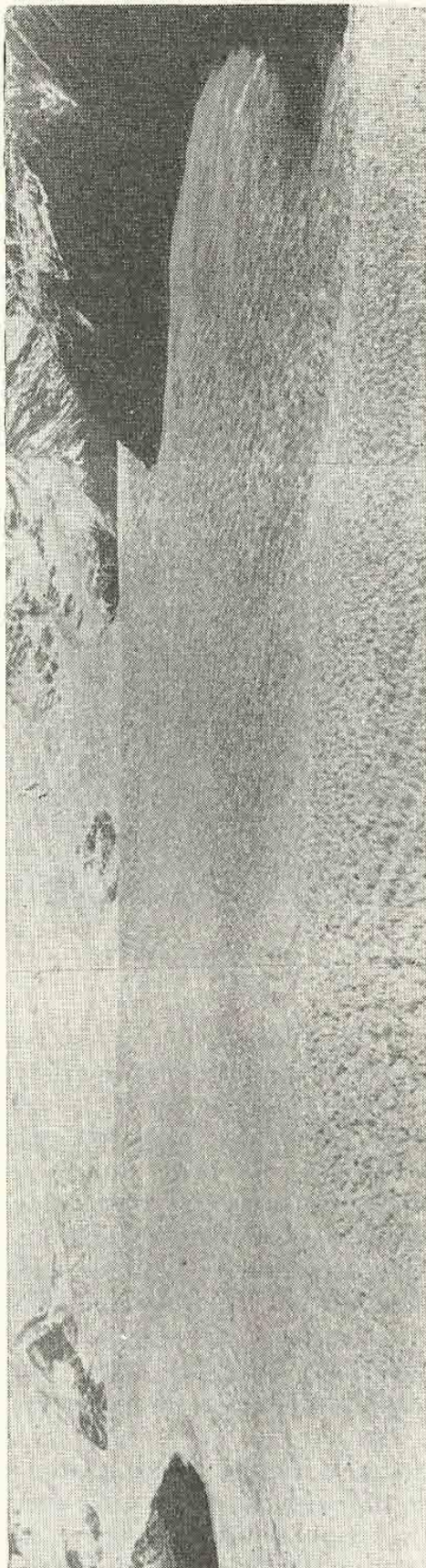


FIG. 6. — Parte central de la lengua del Glaciar Moreno. Abril de 1948.

valle, que es de 4 a 6 km, ocupa dos valles independientes que tenían sus propias lenguas glaciares originadas en dos subcuencas. También en la superficie se advierten varios umbrales, tres de ellos más desarrollados. El primero está situado a unos 5 km abajo de la "Puerta Sur", el segundo pasa por la angostura superior, y el último lo hace de la orilla sur a la "cúpula" inferior.

Después de la angostura inferior aparece un tipo especial de *serac*, que cubre toda la superficie, hasta el frente.

#### "Capullos"

Los *serac* de la parte terminal de la lengua empiezan a formarse a 1,5 km del frente y se presentan de manera sui géneris, tanto por su forma característica como por su regularidad y tamaño. Están agrupados formando nidos, que tienen semejanza con capullos de rosas, de pétalos entrecerrados, razón por la cual, y careciéndose de una nomenclatura diferencial, propondríamos llamarlos "capullos" (Fig. 7).

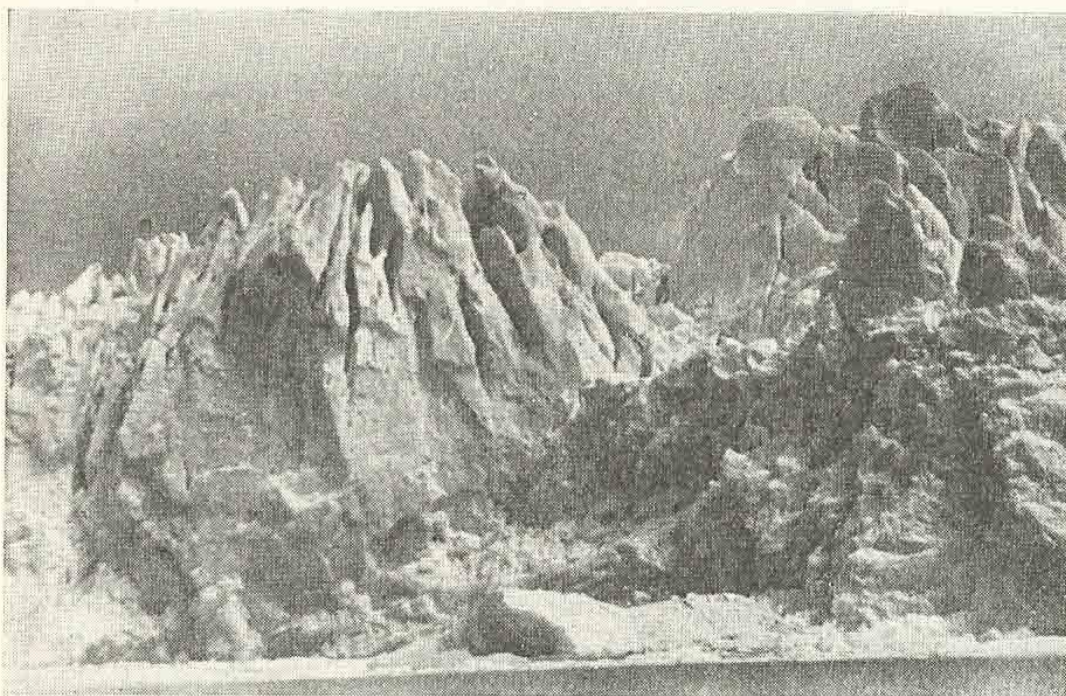


FIG. 7.— "Capullo" situado a 1,2 km de la orilla norte. Vista tomada desde el Canal de los Témpanos. Noviembre de 1948.

El ancho de estos capullos es, en su base, de unos 100 a 120 m, comenzándose a formar los pétalos a mitad de la altura total de la pared (unos 25 m sobre el nivel del lago). A partir de esta altura tienden a converger hacia el centro, formando especies de cúpulas. Los pétalos de tales capullos tienen unos 30 m de altura y de 10 a 15 m de espesor. Entre ellos existen largas grietas, cuyo fondo está lleno de trozos de hielo que al llegar al frente caen al agua. Por ello la barrera de hielo adopta forma dentada, con especies de pequeñas bahías.

En la parte del frente que da al Canal de los Témpanos, se observan unos doce capullos; en la que toca la orilla de la Península Magallanes,

la regularidad de las mismas disminuye, y los *serac* son más delgados y altos, aunque de forma no tan regular y menos convergentes; del lado del Brazo Rico sólo se observan unos siete capullos. Las formas mejor desarrolladas de los capullos se encuentran en la parte media de los frentes que dan al Canal de los Témpanos y al Brazo Rico.

En las descripciones relativas al Glaciar Moreno ningún autor cita estas formas características. En la literatura glaciológica mundial no se encuentra, tampoco, descripción de formas análogas. Los "serac's penitentes" del Himalaya, que describe W. H. WORKMAN<sup>3</sup>, no tiene ninguna analogía con éstos. Alguna similitud hay entre éstos y los *serac* de Bryn Mawr Glacier que desciende hasta las aguas del Collee Fjord en Alaska, aunque los de éste no son tan inclinados hacia el centro. En otros glaciares de Alaska, por ejemplo Horvard o Malaspina, se ven solamente las columnas paralelas al eje del glaciar. Los otros glaciares que se nutren en el mismo Hielo Continental, como el Viedma y el Spegazzini, tienen ya un poco formados estos capullos pero están lejos de alcanzar la madurez de los del Moreno.

El origen de estos *serac* en forma de capullos podría ser el siguiente: Se forman por una red de fracturas paralelas al eje del glaciar unas y transversales otras. Las primeras son debidas a la diferencia de velocidad del hielo en la lengua del glaciar, que se hace más notoria al salir del estrechamiento inferior. Las fracturas transversales se forman en la línea de la primitiva orilla del lago, a continuación de la cual las morenas de fondo se han depositado pero sin llegar a formar un basamento rígido sino con una determinada plasticidad, lo que hace que bajo la presión del peso del hielo ceda hacia abajo dando lugar a las fracturas transversales mencionadas.

De ahí que las fracturas de ambos tipos formen cuadrados de unos 100 a 120 m de lado, cuyo interior tiene la estructura uniforme del bloque. Por efecto de las presiones laterales, los *serac* se habrían inclinado hacia el centro, adquiriendo la forma particular de capullo.

#### *Barrera de hielo*

La barrera de hielo de este glaciar, al internarse en las aguas del lago, alcanza su mayor altura en el sector central, donde toca la orilla de la Península Magallanes (Fig. 8). La altura máxima era, en 1951, de 58 m s. n. del lago, y en el año anterior, de 52 m. Desde este lugar hasta ambas orillas la barrera va disminuyendo de altura hasta 30 m.

Con respecto a la profundidad del lago en las proximidades del hielo, los únicos sondajes efectuados fueron los ejecutados por Hauthal (16, pág. 140), en 1900, quien midió la profundidad del Brazo Rico en ocho puntos. La profundidad máxima era de 137 m, pero estos puntos no ha sido posible localizarlos, porque la configuración de las orillas dadas en el croquis de Hauthal no concuerdan con los levantamientos actuales.

En la parte central de la pared de hielo del lado del Canal de los Témpanos (Fig. 9) se forman a veces bloques que afectan la forma de

<sup>3</sup> WORKMAN, W. H. 1909. — "A Study of Nieve Penitente in Himalaya". Zeitschrift für Gletscherkunde. 2 y 3: 22-28 y 241-270. Berlín.

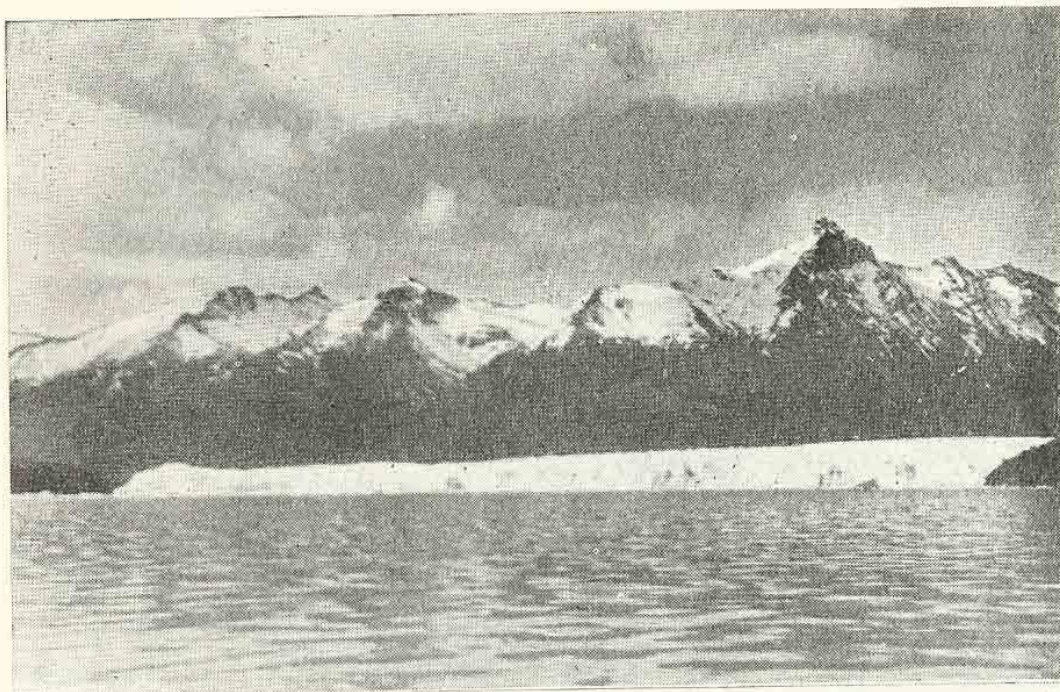


FIG. 8. — Parte terminal de la lengua del glaciar vista desde el Canal de los Témpanos. Febrero de 1952.

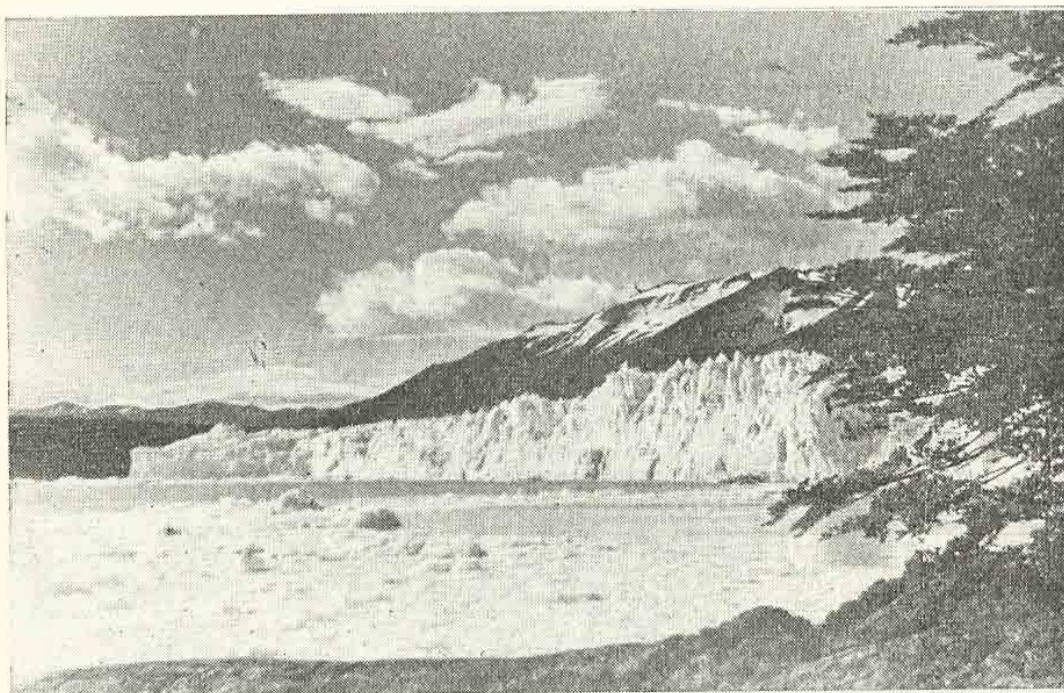


FIG. 9. — Barrera de hielo vista desde el lado norte. Noviembre de 1948.

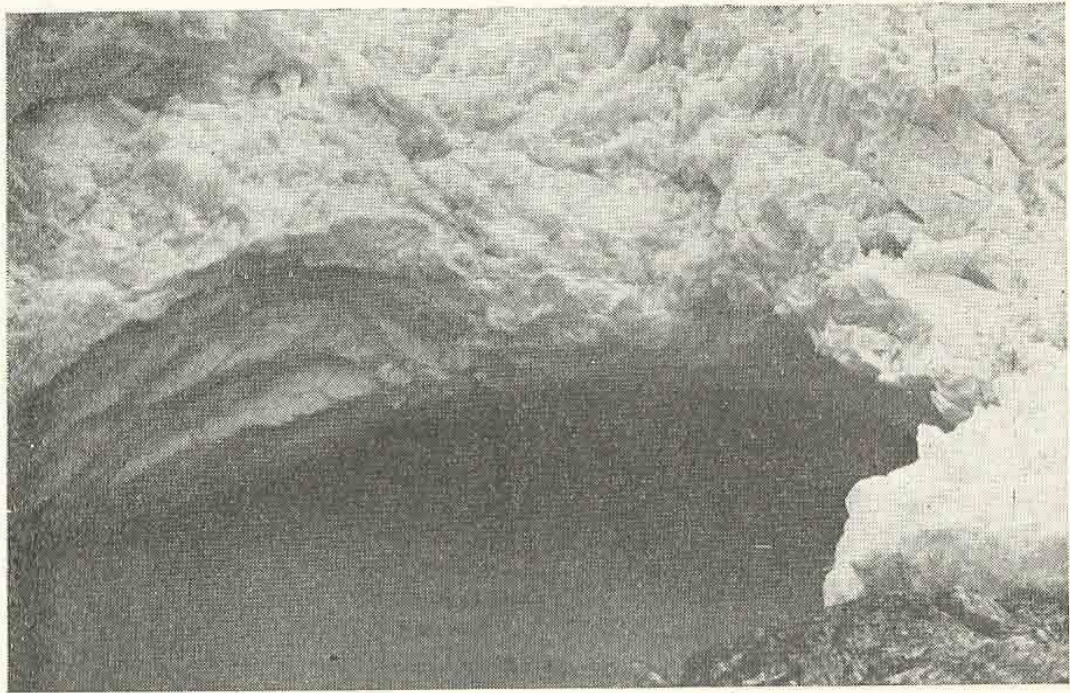


FIG. 10. — Entrada del túnel subglaciar. Vista tomada desde el Brazo Rico. Noviembre 21 de 1947.

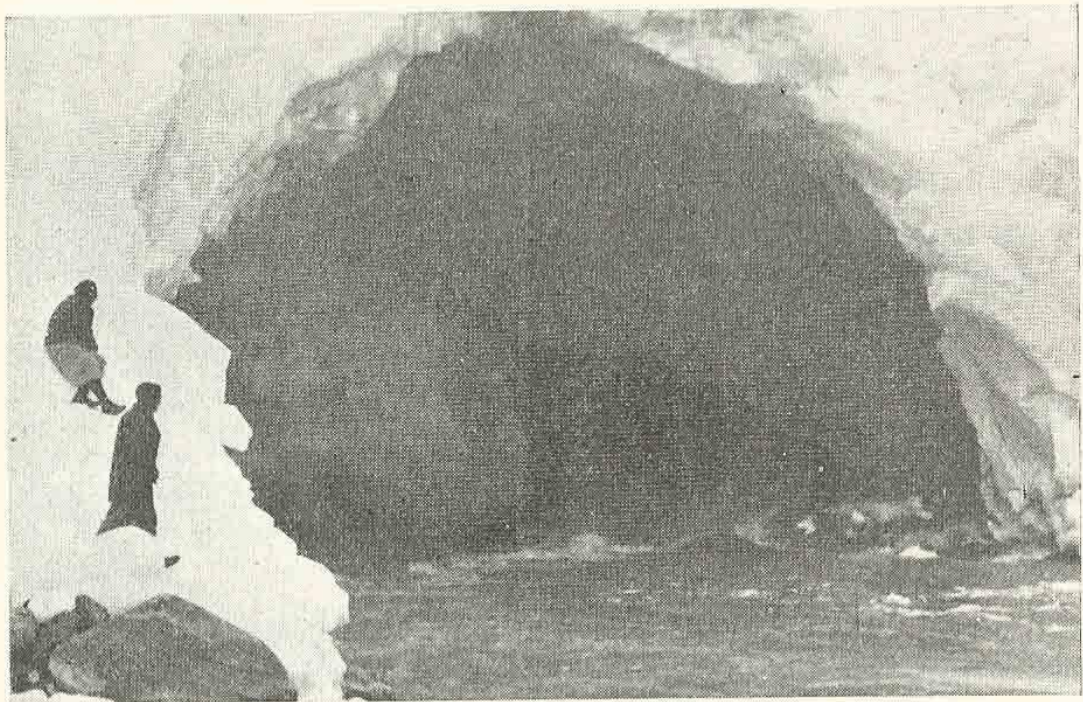


FIG. 11. — Salida del túnel subglaciar. Vista tomada desde el Canal de los Témpanos. Noviembre 21 de 1947.

agujas o columnas cuya altura puede llegar a los 50 m. Estas agujas suelen desprenderse y deslizarse sobre la pared de la barrera, lo que les permite tocar el fondo, tal como lo prueba el hecho de que al volver a la superficie el extremo inferior trae arena. Dado que la inmersión del extremo superior, cuando es total, no es muy profunda, se estima que en esta zona del frente, el fondo se halla alrededor de los 50 m.

### *Bloque muerto*

En los años que el glaciar cierra el canal, la masa de hielo cubre la extremidad de la Península Magallanes y provoca un aumento considerable del nivel en el Brazo Rico con respecto al Canal de los Témpanos. Después de unos meses, por la ablación debida al contacto con la orilla rocosa y ayudado por la presión del agua, se forma un túnel a través del hielo (Figs. 10 y 11), que en los casos de grandes desniveles aumenta rápidamente de tamaño (Fig. 12) hasta provocar la caída del techo. Al formarse el canal, queda sobre la orilla un bloque de hielo muerto (Fig. 13).

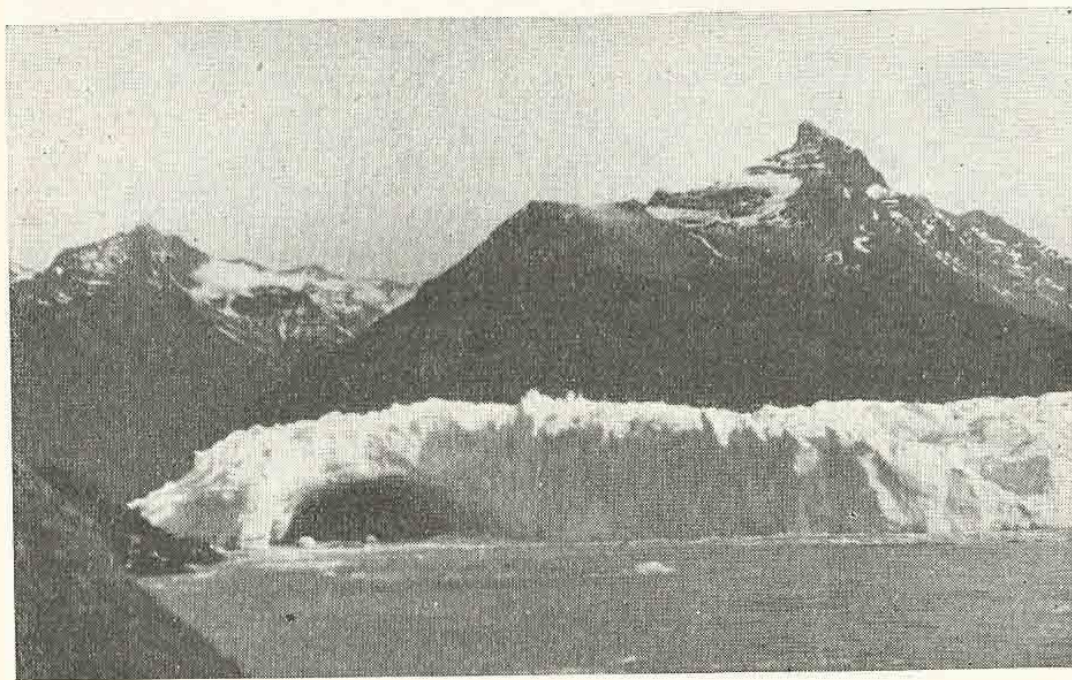


FIG. 12. — Túnel subglaciar después de 26 horas de su apertura. Marzo 3 de 1952.

La primera constancia de la existencia de este bloque se tiene por una fotografía de De Agostini (6), tomada en el verano de 1936. Feruglio (10, pág. 179) lo representa, para marzo de 1937, en forma oval de 230 por 110 m. Heim (18, pág. 5), en el año 1946, menciona: "El bloque de hielo muerto que descansa sobre la roca, reducido por fusión desde marzo de 1942, es un bloque de 60 m de largo en dirección WE aproximadamente y de altura de 24 m".

En marzo de 1948, la comisión del Servicio Meteorológico Nacional encontró el bloque muerto en forma arriñonada de 160 por 50 m y de

unos 25 m de altura (con algunos *serac* de hasta 30 m). En toda la masa de hielo muerto no se podía precisar el límite demarcatorio de los diferentes aportes. La ablación superficial según mediciones efectuadas sobre el bloque en 1948-49, alcanza a 5,5 m/año. En abril de 1950, la superficie del bloque era de 1,4 Ha. El fuerte avance de 1951 dejó sobre la orilla un enorme bloque que sobrepasó todos los rastros anteriores exceptuando una zona de la parte ENE, donde solamente alcanzó las morenas anteriores. En marzo de 1952 el bloque tenía forma oblonga, de 380 por 140 m, siendo la superficie de 4,8 Ha.

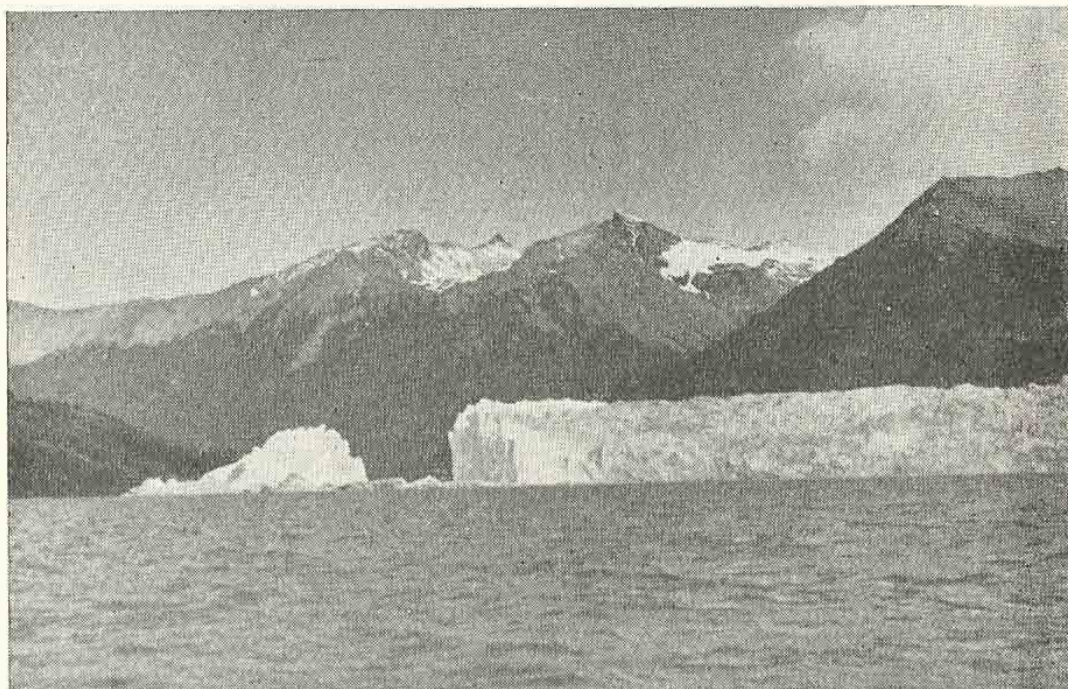


FIG. 13. — Situación en el frente del glaciar después de 5 días de la apertura del túnel subglaciar. Marzo 7 de 1952.

Durante los años 1937-52, en ningún momento se constató la completa disipación del hielo sobre la orilla, pero tampoco se tienen datos acerca de cuántas veces nuevos empujes lo alimentaron durante ese lapso.

#### *Anfiteatro morénico del frente*

Con respecto a las morenas frontales dejadas por el glaciar se tienen datos concretos desde el año 1948. En esa fecha entre la pared del bloque muerto y el canal quedaba una franja de 5 m de ancho. En el canal existían unas 10 islitas rocosas, situadas de 10 a 20 m de la orilla cuyas superficies eran de 5 a 20 m<sup>2</sup>.

Desde el extremo NE de la pared que limita el bloque muerto, cuya longitud era de 30 m, comienza un arco formado por dos morenas paralelas al hielo. La parte N señala el límite de la glaciación contemporánea<sup>4</sup>. La comprendida entre la orilla del agua y la barranca N, co-

<sup>4</sup> Por glaciación contemporánea o actual del Glaciar Moreno se entiende la correspondiente a los últimos 50 años.



rresponde a morenas antiguas, que han sido lavadas por las aguas del lago; sólo quedaban en ellas bloques de piedra de 0,5 a 2,0 m<sup>3</sup>.

El arco morénico mencionado, cuya longitud es de 180 m, su altura máxima de 6 m, y la media, de 4 m, termina en un montículo al que llamaremos "Cota 25 m". La dirección de ambas es en general coincidente y tan sólo en unos 30 m del extremo N están separadas por una franja de 8 m de ancho. En su punto medio esta morena ha cortado a la anterior, la cual, a medida que se dirige a la Cota 25, va haciéndose más angosta, hasta que al llegar a esa cumbre sólo se manifiesta como un pequeño terraplén de 30 cm de espesor. Más al S se observa el límite de la glaciación contemporánea, que pasa por el punto más alto y que a una distancia de 150 m baja al lago. La constitución de ambas morenas en su mayor parte es la misma y corresponde al material de fondo, pero la más antigua en sus últimos 80 m al S, se diferencia por estar constituida por humus, observándose en ciertos lugares la presencia de arcilla arenosa.

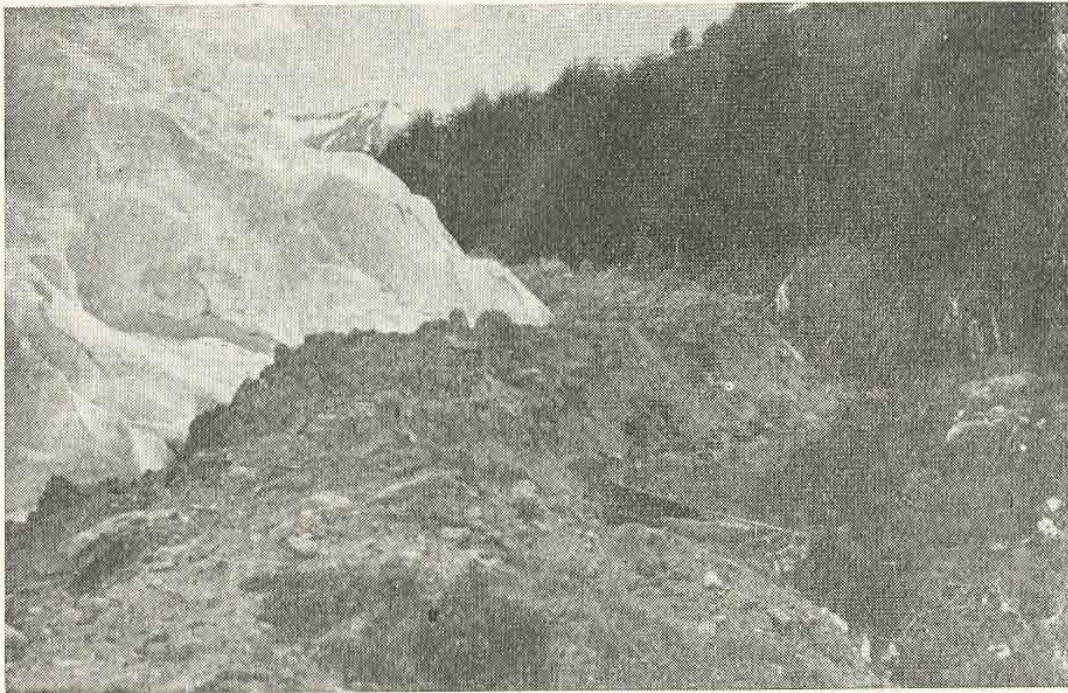


FIG. 14. — Morena frontal. Vista tomada hacia el norte. Noviembre de 1951.

Las edades de las mismas no han podido ser determinadas, pero por el desarrollo de la vegetación y la erosión se supone que la morena más antigua obedece al empuje del año 1941 y la nueva al del año 1947.

El fuerte avance de 1951 cubrió, en general, la superficie máxima ocupada por la glaciación contemporánea, desviando la dirección de sus empujes hacia el sur. En la parte norte (Fig. 14) distó de 8-12 m de la morena vieja (1941), en la central lo alcanzó, y en el sur (Fig. 15) sobrepasó hasta 20 m el borde anterior.

### Clasificación

La clasificación del Glaciar Moreno presenta un problema que fué analizado por dos autores solamente.

Reichert (21, pág. 129) no encontrando ninguna semejanza entre los glaciares que se nutren en Hielo Continental y los glaciares mundialmente conocidos propone nuevo nombre: "tenemos aquí un tipo de glaciares, que en la actualidad se acerca más al tipo noruego o alasko, que al tipo groenlandés. Pero como tampoco estos tipos glaciares corresponden punto por punto al de la Patagonia, creemos justificado crear para esta forma de englazamiento la denominación "tipo patagónico".

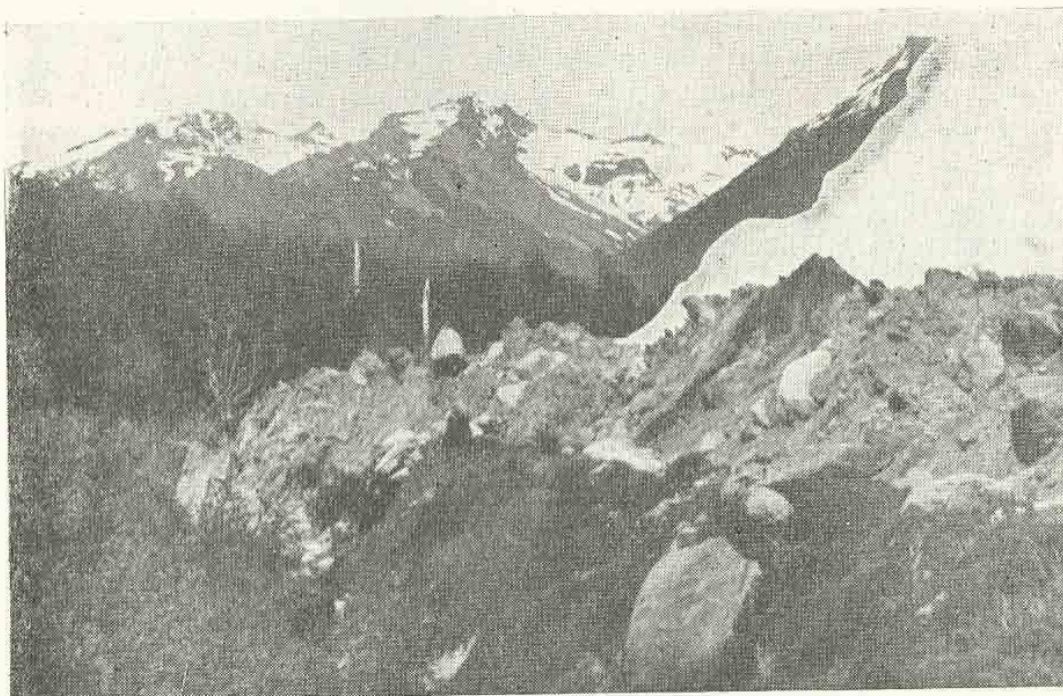


FIG. 15. — Morena frontal. Vista tomada hacia el sur. Noviembre de 1951.

La opinión de Feruglio (10, pág. 164) es parecida: "Aunque semejantes a los glaciares de altiplano de Noruega, los campos de hielo de la Patagonia se distinguen por su mayor extensión y sobre todo por las formas de la Cordillera de relieve muy accidentado, con largas y bien destacadas cadenas, crestas y picos. El parecido es aun mayor con glaciación de la parte occidental de Spitzberg, que, al lado de glaciares de valle, comprende glaciares intermedios entre los alaskanos y el hielo regional que cubre a Groenlandia".

Afirmamos que el Moreno es un glaciar de tipo especial que no se encuadra dentro de las clasificaciones conocidas, sino presenta analogías parciales con los elementos que configura en conjunto los glaciares tipo. En efecto, según KLEBELSBERG<sup>5</sup>, la cuenca de alimentación sería del tipo de planicie (Plateaugletscher), la lengua del glaciar sería del tipo de

<sup>5</sup> KLEBELSBERG, v. R. 1948.—"Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie". Wien.

valle (Thalglletscher) y la terminación de la lengua sería del tipo acuático (Landglletscher, die im Meer oder in Seen endigen).

En general, se clasifica el Glaciar Moreno como del tipo de valle. Klebelsberg (pág. 551) considera al Glaciar Upsala, que es semejante al Moreno, como de tipo entre alpino y piemonte (Upsalagletscher geht vom alpinen zum Vorlandglletschertipus über).

#### V. LADOS NORTE Y SUR DEL GLACIAR

Las comisiones del Servicio Meteorológico Nacional desde el año 1947 hasta 1952 efectuaron reconocimientos morfológicos, periódicos, del lado norte del glaciar, llegando hasta la angostura superior del valle, o sea a 8,5 km de la orilla del lago. La descripción que se da a continuación se ha efectuado, siguiendo un orden geográfico, a partir de la orilla del lago, lugar inicial que se toma como kilómetro 0.

En el año 1947 se construyó un mojón de cemento en la extremidad de la barrera de hielo, que fué destruído en 1949, por la elevación de la masa de hielo. Esta elevación ya había sido observada por Heim (18, pág. 6) en 1946, por la presencia de árboles verdes que habían sido arrastrados por el hielo. Y años antes, HAUMAN, L. (14, pág. 259) había dado también su impresión: "Uno de los fenómenos más curiosos observados en este viaje es el íntimo contacto del ventisquero y del bosque". En los años siguientes, 1948 a 1952, se prosiguió construyendo mojones con el objeto de establecer periódicamente la posición del contacto de la barrera de hielo con la orilla del lago. Los desplazamientos registrados fueron los siguientes:

entre el 22/ 4/48 y el 15/ 2/49	avanzó .....	19 m
» » 15/ 2/49 » » 13/ 2/50	» .....	32 »
» » 13/ 2/50 » » 2/12/51	» .....	34 »
» » 2/12/51 » » 7/ 3/52	retrocedió .....	20 »

La diferencia de nivel entre abril de 1948 y febrero de 1950 fué de unos 3,5 m; además, entre las mismas fechas el avance lateral alcanzó unos 51 m. Estos cambios sólo se observan en los últimos 150 m de la parte final de la lengua del glaciar. En el resto de la misma no se han constatado avances. Estos avances laterales y aumento de nivel son producto de la acumulación de sedimentos del río subglaciar que desemboca en esa parte del lago. La morena lateral está aquí constituida por humus del bosque, a veces con interposición de arcilla.

A continuación la línea de hielo se separa de los rastros de la glaciación contemporánea. A unos 300 m la orilla desciende debido a la presencia de un arroyo que ha excavado profundamente su lecho y se interna por ese costado en la masa de hielo, formando una gruta de unos 20 m de profundidad y de 3 m de altura, que por efecto de los rayos solares toma una coloración azul.

Desde esa gruta hasta 500 m más adelante, la orilla del hielo se aparta 15 m de la línea de la glaciación actual, medidos sobre la barranca que tiene una inclinación de 30°. En esta faja de 15 m hay tres morenas. La morena superior, que es la menor de las tres, está pegada al bosque y constituida por arcilla y humus mezclados con troncos. La central es

algo mayor que la anterior y está integrada por arena gruesa y pedregullo de esquistos gris oscuro, algo verdoso. Dentro de esa morena las rocas mayores no pasan de 30 cm de diámetro. En algunos puntos llega a estar pegada a la anterior, y en otros lugares, separadas hasta 5 m. La morena inferior es la mayor y de iguales elementos que la anterior, pero en ella se encuentran bloques rocosos que alcanzan a 4 y 5 m de diámetro (Fig. 16). En el momento de la observación había dos bloques de hielo muerto de forma cónica, de unos 6 a 8 m de altura y de 10 a 12 m de diámetro en la base. No se ha podido determinar la edad de estas morenas, ni sincronizarlas con los conocidos empujes registrados en el frente del glaciar.

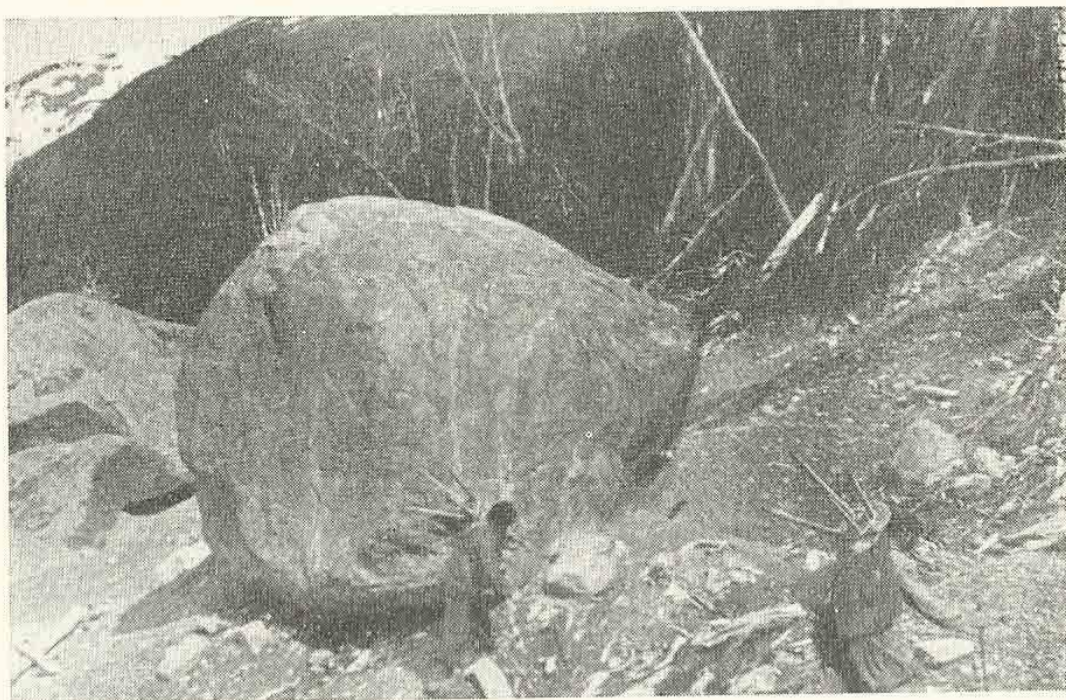


FIG. 16. — Bloque rocoso en la orilla norte del Glaciar Moreno. Noviembre de 1948.

A una distancia de unos 700 m la orilla está formada por una barranca casi vertical ( $80^\circ$ ), de roca pulida por la acción del hielo (*lamiar*), que por la ablación de contacto ha formado una grieta alargada de aproximadamente 200 m, con un ancho de 3 a 5 m y una profundidad de unos 30 m. Del fondo asciende un fragor que hace presumir la existencia de un umbral de donde caen las aguas del río subglaciar. Esta barranca forma la angostura inferior del valle y por ella pasa el último umbral del lecho, que correspondería a la orilla del lago, antes de ser invadido por la lengua del glaciar. Tal suposición se basa en que la pendiente superficial de la lengua cambia bruscamente en este lugar. Desde este punto hasta 7 km arriba la pendiente media es de 85 m/km y hacia abajo, hasta el lago, de 43 m/km.

Arriba de este umbral, que llamaremos del Este, la orilla desciende hasta alcanzar en poco trecho el nivel de una explanada ubicada entre los cerros  $\alpha$  y  $\beta$ , cuyas dimensiones aproximadas son de 150 por 700 m.

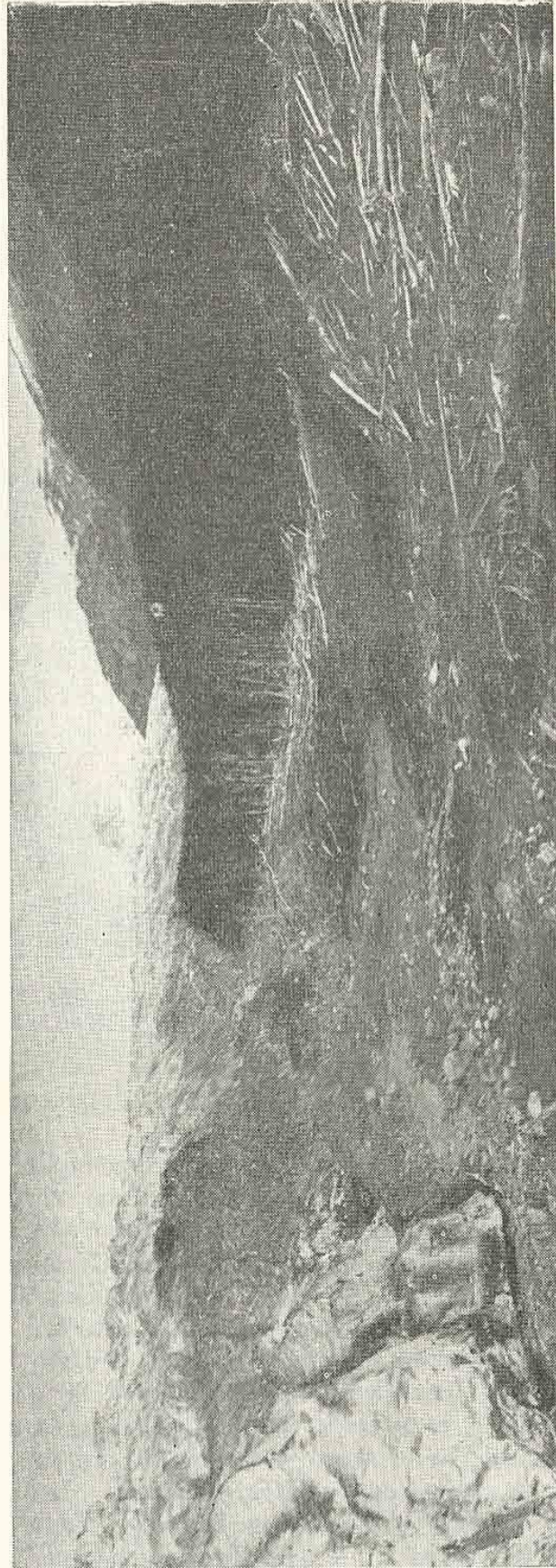


FIG. 17. — "Laguna seca" en el lado norte del Glaciar Moreno. Vista tomada hacia el oeste. Marzo de 1952.

Aparece cubierta en una tercera parte por la glaciación contemporánea, cuyos límites han quedado señalados por restos de morenas, que posteriormente fueran lavadas por las aguas del río subglaciar. Al desbordar éste de su primitivo cauce, se formó una laguna, a la cual llamaremos "Laguna Seca" (Fig. 17). Su superficie es de unas 9,5 Ha, con profundidad máxima de 20 m. Sus límites han quedado señalados por los árboles secos del bosque adyacente y una delgada capa de sedimentos limnoglaciares. La inundación debió haber durado como mínimo un mes, tiempo suficiente para secar los árboles *Nothofagus*.



FIG. 18.— Primera salida del río subglaciar en la orilla norte. Marzo de 1948.

A 2,3 km un río subglaciar sale por primera vez fuera del hielo (Fig. 18). En el primer tramo de 400 m describe numerosos meandros en terreno morénico, pantanoso. El zócalo rocoso que limita ese tramo forma una cascada de 6 m de altura. A continuación, en otros 250 m se repiten los meandros y pantanos, hasta que el río entra en una canaleta cavada en el seno de la roca viva, cuya pendiente de 280 m/km y diferencia de nivel de 22 m, origina una hermosa cascada que bautizaremos con el nombre "Huemul". A 80 m de ella el río se ve forzado a introducirse nuevamente en el hielo, debido a la presencia de un umbral que hemos llamado "Umbral Oeste". El río aparece a unos 60 m, en la parte más baja de la Laguna Seca (Fig. 19).

El caudal de este río es muy variable; después de un día caluroso (para esa zona unos 15°) es acaso veinte veces superior al de la mañana. Las lluvias con temperaturas altas o vientos calientes, como ocurrió el 17 de noviembre de 1948 en que la temperatura a las 19 horas fué de 5°2 y a las 22 horas 21°8, aumentaron el caudal unas 50 veces produciendo la inundación de la Laguna Seca. Al día siguiente, el 18

de noviembre, tenía 50 por 80 m, con profundidad media de 5 m. La culminación fué de alrededor de 2 horas, transcurridas las cuales se produjo la rotura de los elementos que obstruían los túneles internos, lo que determinó el paso brusco del agua almacenada, desagotándose la laguna en unos 10 minutos.

Desde la primera salida del río subglaciar hasta 3,8 km, lugar donde descendiendo un arroyo por entre los cerros  $\beta$  y  $\gamma$ , la forma de la orilla del glaciar es análoga a la del tramo ya descrito, que se inicia en la precitada gruta. En esta parte se observan, además de las tres morenas ya mencionadas, los rastros de otros seis empujes. Un centenar de metros más arriba hay tres grandes bloques de hielo muerto, de 4 a 6 m de altura.

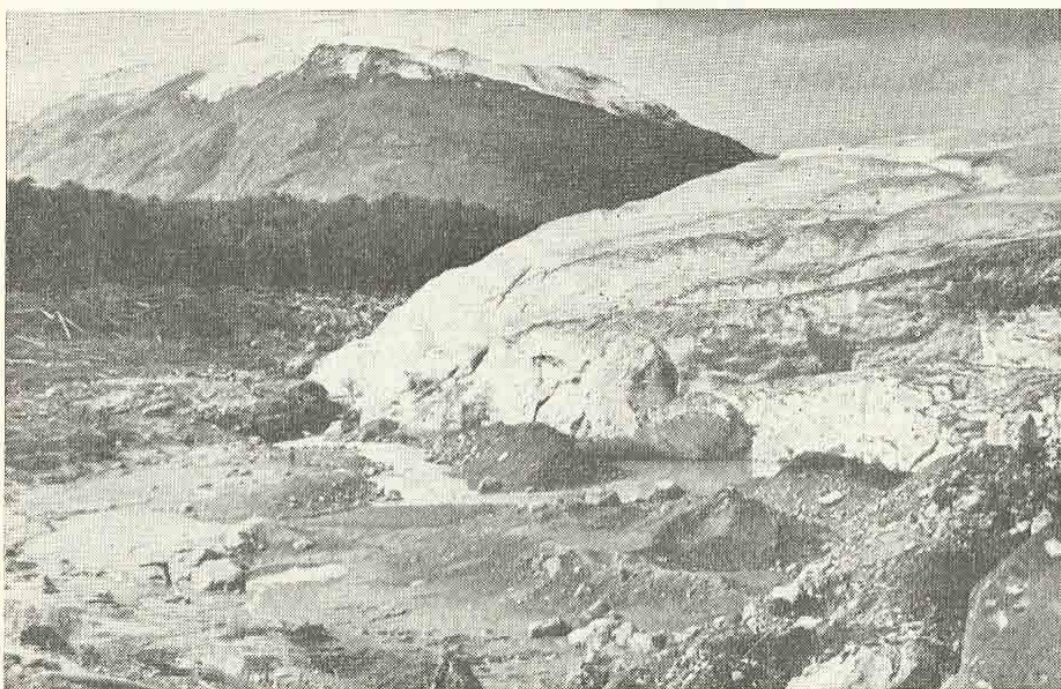


FIG. 19. — "Laguna Seca", entrada del río subglaciar. Marzo de 1952.

En el lugar situado a 3,2 km se encuentran detalles que arrojan luz sobre el comportamiento del glaciar en tiempos pasados. En efecto, una faja de terreno de 18 m de ancho, con una inclinación de  $35^\circ$ , separa al hielo de la morena más alta, que linda con el bosque. Sobre esta faja se encuentran diseminados restos morénicos habiendo lugares en donde éstos han sido cortados por algún avance del hielo, cuyo borde no asentaba sobre el terreno, sino que actuaba como una visera de la lengua. Uno de los cortes ha dejado en descubierto una superficie de 2,5 por 3 m de morena, que no fué removida. Presenta incluidos tres troncos de árboles de 30 a 40 cm de diámetro y otros menores, todos ellos en estado tal de putrefacción que pudimos disgregarlos con los dedos. Esto inclina a pensar que la edad de esta morena oscila en un siglo.

De acuerdo al rápido retroceso observado universalmente en el siglo actual, también los glaciares vecinos del Moreno dejaron una *hombreira*

de una altura de hasta 50 m. En el Glaciar Ameghino, NICHOLS, R. L. y MILLER, M. M. (26, pág. 274) calcularon la edad de la vegetación crecida sobre una de las morenas dejadas durante este retroceso, en 70-80 años. No se puede equiparar la edad de la morena que contiene troncos putrefactos con el descenso de unos 50 m del Glaciar Ameghino. Sólo se ha podido establecer que éste ha estado bajando hasta la actualidad, mientras que el Glaciar Moreno durante la última década llegó 7 m arriba de la morena en cuestión. Este es el límite máximo alcanzado por el glaciar en la época contemporánea. Se llega a esta conclusión, en base a que el bosque adyacente formado por árboles de hasta 500 años, tiene una capa de humus de 2,20 m de espesor, la que ha debido formarse en un lapso no menor de miles de años.

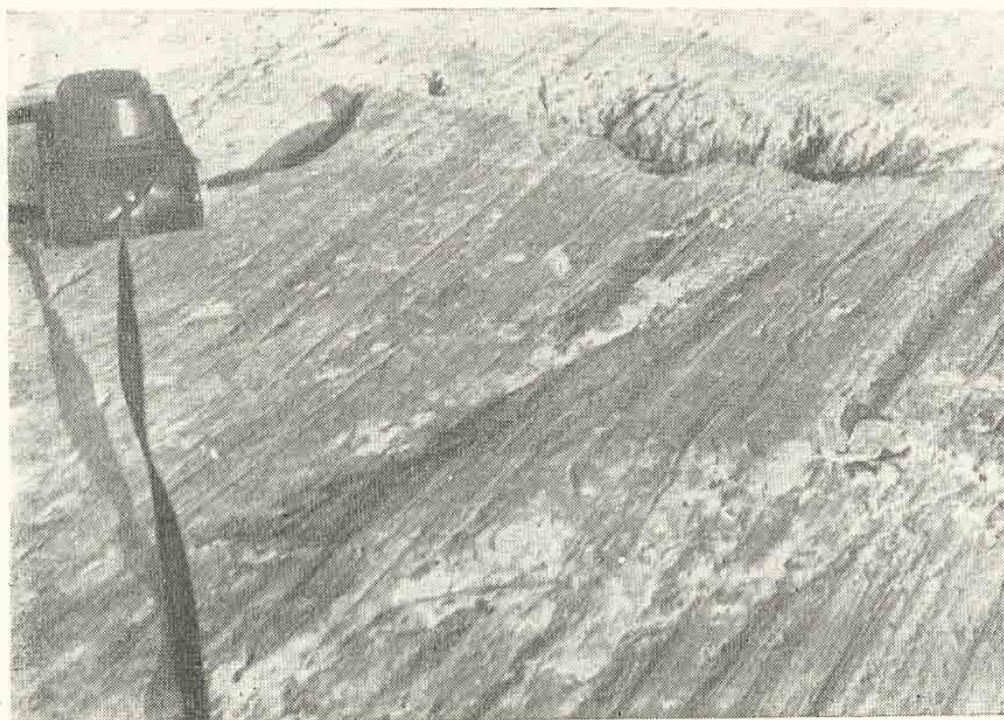


FIG. 20. — Roca aborregada con estrías. Diciembre de 1948.

Desde el Km 3,7 hasta el Km 3,75, la orilla se presenta en forma de un zócalo de rocas aborregadas, con el aborregamiento más perfecto que se encontró en la zona del glaciar, señaladas por la glaciación contemporánea con numerosas estrías (Fig. 20). Cincuenta metros más adelante y después de descender 30 m hasta un pozo, desemboca un arroyo (Fig. 21) que baja desde el pequeño glaciar suspendido ubicado en la conjunción de los cerros  $\beta$  y  $\gamma$ .

En el Km 4,55 se inicia la línea de jalones colocados transversalmente sobre la superficie de la lengua del glaciar, que en la orilla está indicada por dos mojones de cemento.

A continuación la fisonomía de la orilla cambia fundamentalmente porque los cerros  $\gamma$  y  $\delta$  bajan hasta la lengua del glaciar formando paredones verticales. Por otra parte, la orilla no es ya una línea continua, sino que



toma una forma dentada, estando las partes salientes del hielo cubiertas de material morénico (arena gruesa, gris muy oscuro). En las partes entrantes se observan algunos bloques de hielo muerto separados de la orilla actual y en las partes salientes las rocas están pulidas, aborregadas, presentando frecuentes marcas *lamiares*.

La diferencia de nivel, entre el hielo y la línea de la glaciación contemporánea, va aumentando paulatinamente desde 150 m del lago hasta la angostura superior del valle, o sea unos 8,5 km. En la última parte, esa diferencia es de unos 30 m (Fig. 22).

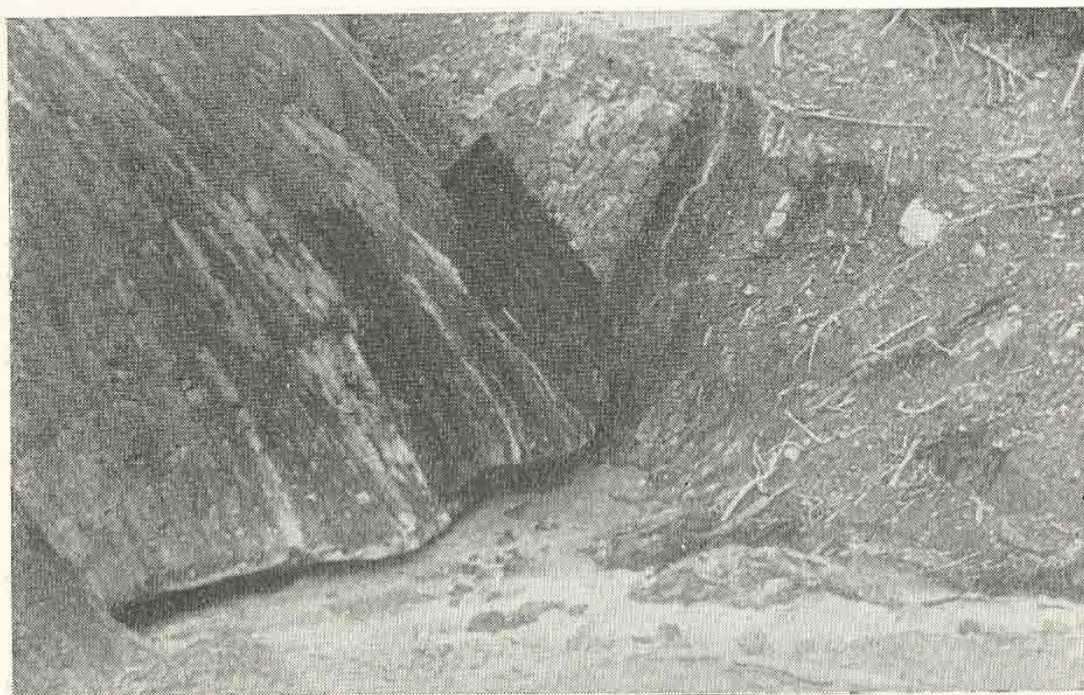


FIG. 21. — Entrada al glaciar del arroyo que corre entre los cerros  $\beta$  y  $\gamma$ . Marzo de 1948.

El avance del año 1951 no causó modificaciones substanciales en la configuración descripta. Los cambios producidos se limitan al primer tramo, hasta la gruta azul, en el que el hielo penetró algo en el bosque. En la parte restante, hasta el Km 7, que es el tramo recorrido en marzo de 1952, la orilla del hielo se encontraba a unos 10 m de la línea de la glaciación contemporánea.

En abril de 1952 se efectuó el reconocimiento por el lado sur en una longitud de 1,8 km. El contacto de hielo con la orilla del lago (Fig. 23) pasa por una barranca perpendicular al borde de hielo de 140 m de largo y de 18-22 m de alto. Superado este borde, la masa de hielo se destroza en témpanos. De ahí que no pueda observarse si existe el avance lineal como se lo registró en el contacto norte. La barranca, en un espacio de 60 m, aparece cubierta por las morenas laterales, distinguiéndose tres cintas principales, en las cuales se notan numerosos empujes, siete de ellos muy bien marcados. Todas están constituídas por el mismo material: arena gris. En este lado no se encontró el aumento de nivel de la masa de hielo que es tan característico del lado norte en sus últimos 150 m. La orilla de hielo distaba de los rastros de la glaciación contemporánea en 4-5 m de altura (Fig. 24).

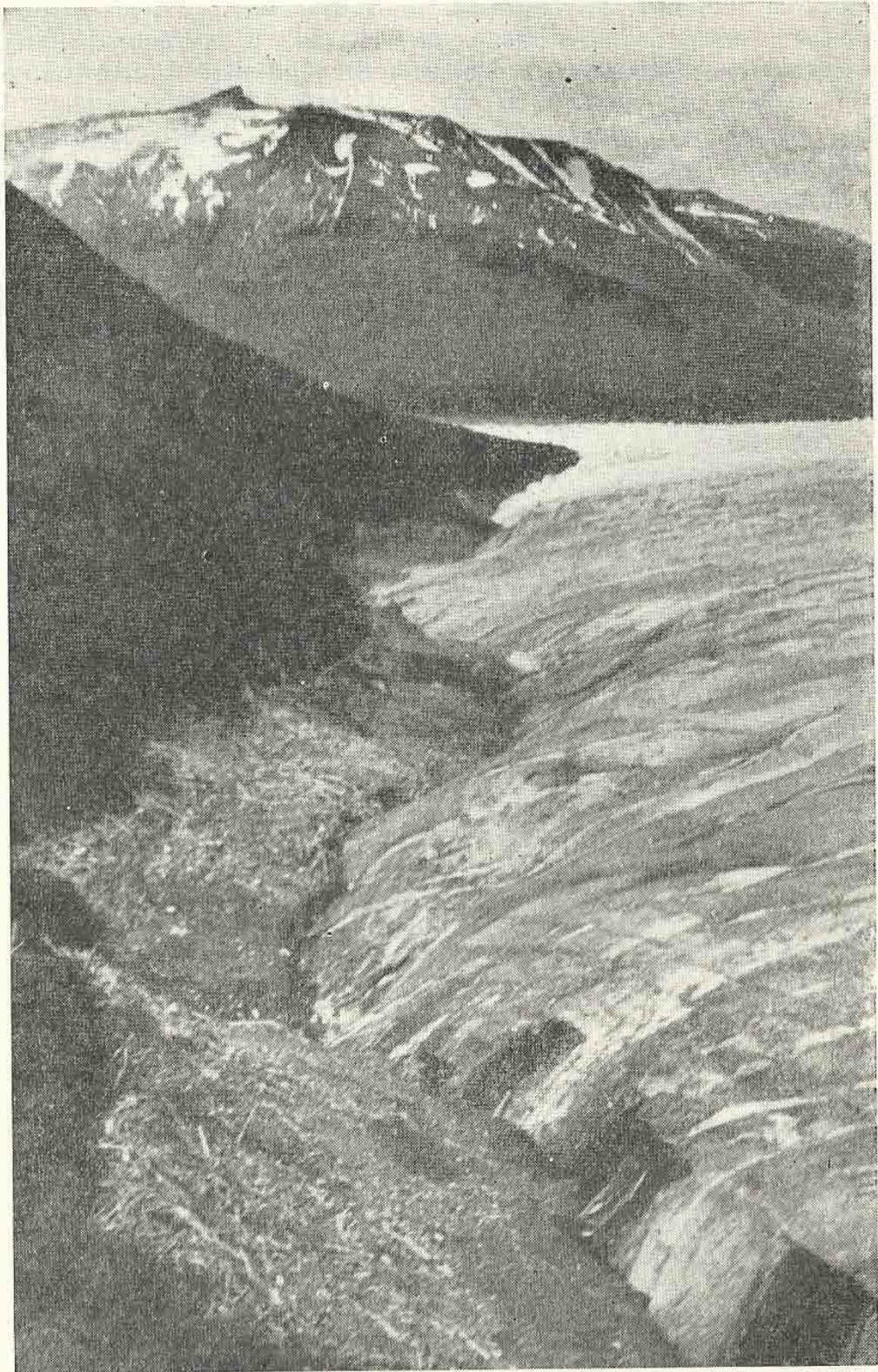


FIG. 22. — Vista general de la orilla norte del Glaciar Moreno. Marzo de 1948.

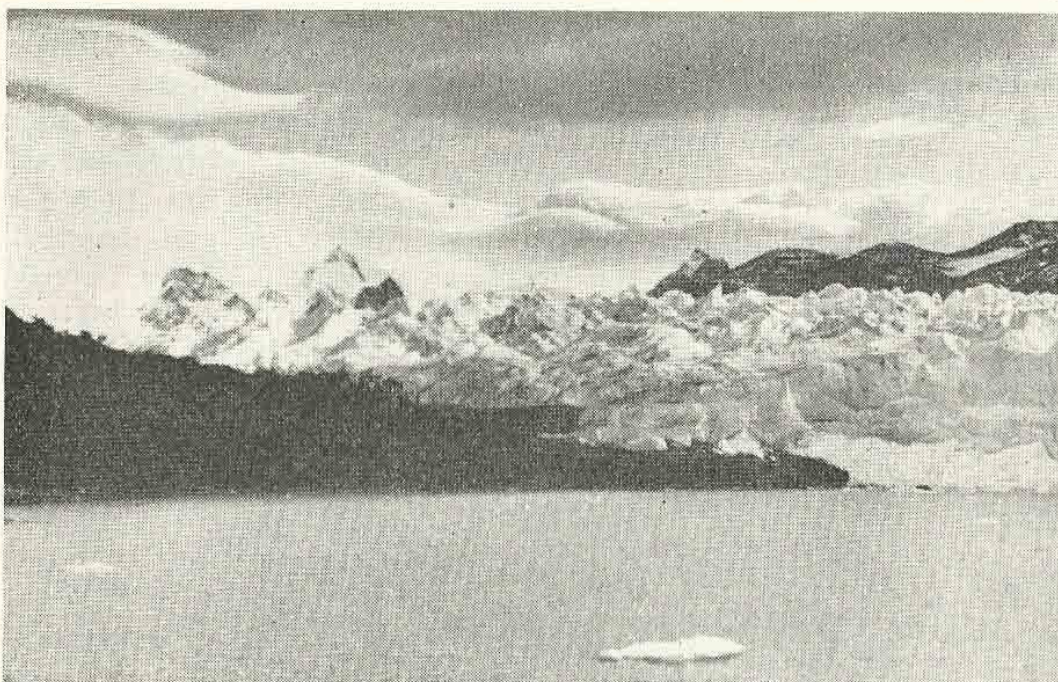


FIG. 23. — Vista parcial de la orilla sur del Glaciar Moreno. Abril de 1952.

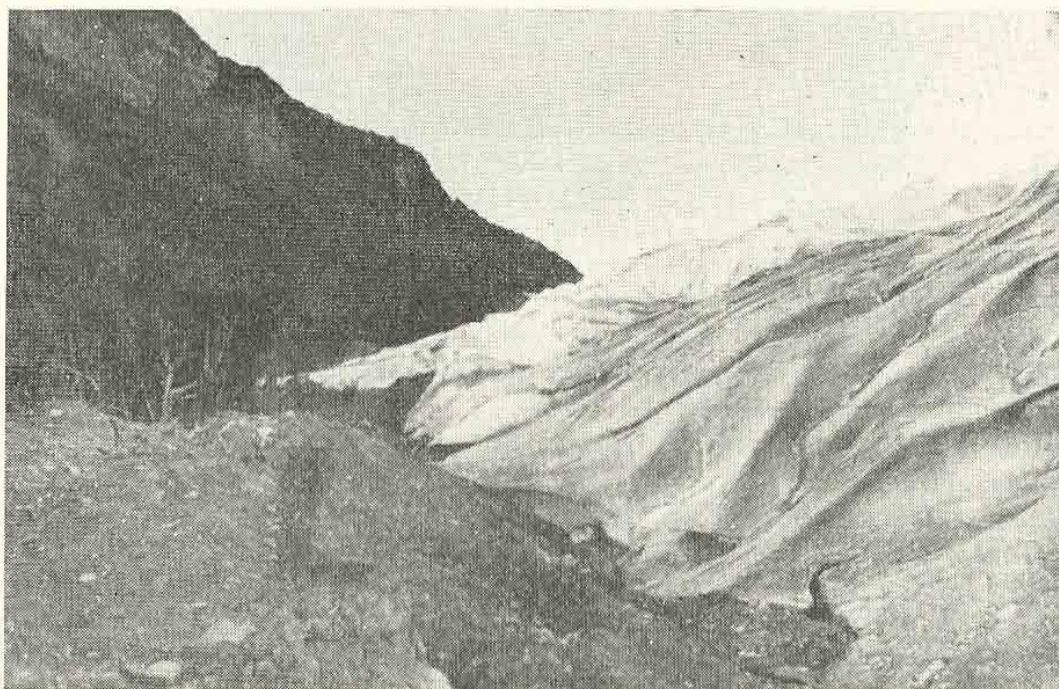


FIG. 24. — Morenas laterales en la orilla sur. Abril de 1952.

## VI. DINAMICA DEL GLACIAR

*Movimiento superficial*

Para medir el desplazamiento superficial del glaciar se jalonó, entre el 26 de noviembre y el 2 de diciembre de 1948, un perfil transversal situado a 5,47 km de la extremidad del frente (Fig. 25). Se eligió este lugar por juzgárselo el más representativo. En esta parte el desplazamiento es más uniforme por estar situado en un tramo de unos 3 km de longitud, de ancho medio casi uniforme. Por otra parte en este lugar es donde tienen menor influencia las perturbaciones producidas por las angosturas superior e inferior del valle. Además, como consecuencia de este último, la superficie se presenta más lisa y accesible.

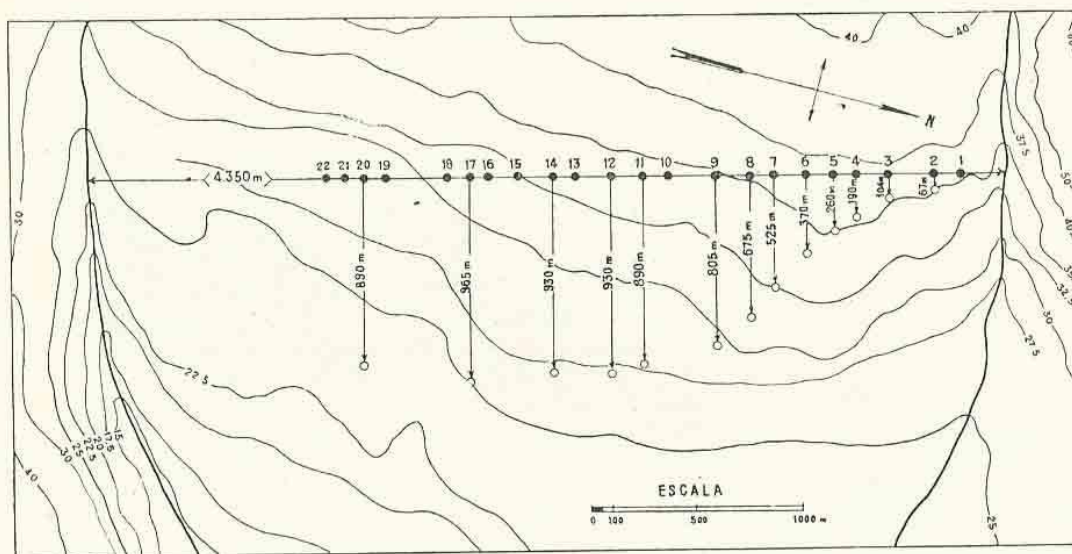


FIG. 25. — Desplazamiento promedio anual de los jalones colocados en la parte central de la lengua del Glaciar Moreno.

En este perfil, cuyo ancho es de 4,35 km, se ubicaron 22 jalones (caño de hierro galvanizado de 1" y de 1,80 m de largo) (Fig. 26). El último jalón se colocó a 3,221 km de la orilla norte; en el resto del perfil de 1,129 km, no se pudieron colocar otros debido a grandes grietas marginales.

Las primeras mediciones del desplazamiento superficial se efectuaron el 24 de marzo de 1949, es decir, a los 113 días de su emplazamiento, siendo éstas las correspondientes a la época estival. Las segundas se efectuaron el 6 de abril de 1950, o sea a los 491 días, que abarca dos veranos y un invierno. En esta última fecha se encontraron solamente 10 jalones. Los desplazamientos correspondientes a los jalones en las dos fechas indicadas están consignados en el Cuadro I.

*Movimiento del frente*

En general, todas las observaciones y descripciones del Glaciar Moreno durante 76 años (1877-1952) se refieren especialmente al ancho del canal que queda entre el frente y la orilla de la Península Magallanes

(Fig. 27 y 28). De ese período se tienen 29 datos a los que se debe asignar diferente grado de exactitud por haber sido obtenidos en la siguiente forma: 7 por levantamiento efectuado con teodolito, 2 con telémetro, 4 según deducciones hechas de fotografías, 9 calculados por técnicos (Hauthal, Quensel, Reichert y otros) y 7 en base a informaciones de pobladores de la zona.

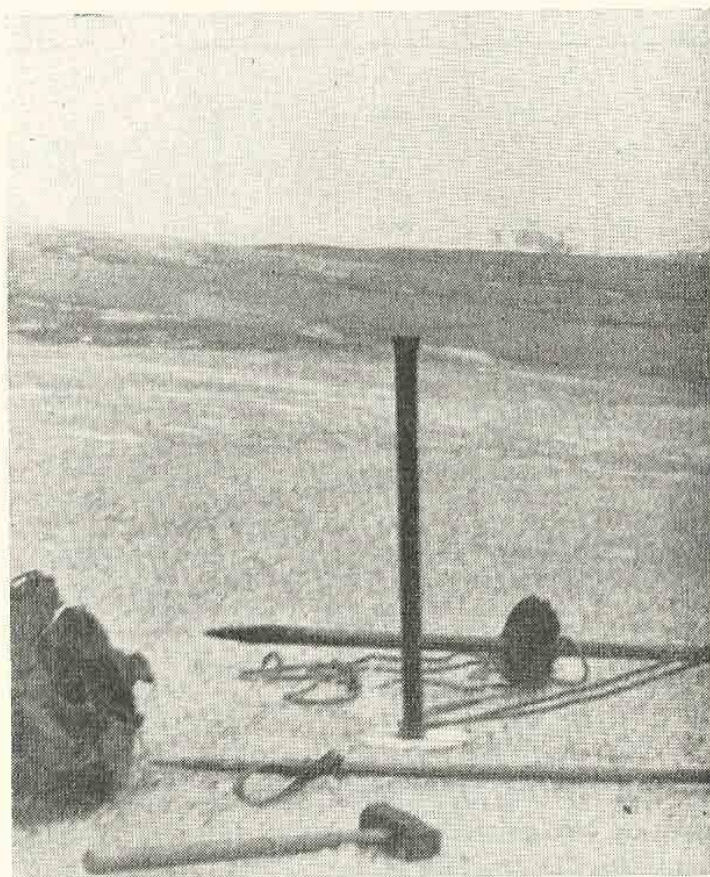


FIG. 26. — Jalones utilizados para medir el desplazamiento superficial de la lengua del glaciar.

En el gráfico cronológico (Fig. 29) se da esquemáticamente la ubicación del frente para cada una de las fechas. Se observan en él largos períodos de los cuales no se tienen datos y cuya carencia imposibilita establecer ciclos de variación.

Hasta el año 1934 los avances y retrocesos del frente del glaciar eran en muchas oportunidades de cientos de metros. En cambio en los años siguientes, de los cuales hay datos casi anualmente, el canal se cerró con mucha más frecuencia y sus aperturas estivales sólo alcanzaron a unos 50 m. Las aperturas del canal en estos últimos años obedecen al efecto de erosión del agua.

De las observaciones se deduce que el comportamiento del glaciar a través del año, en líneas generales es el siguiente: en marzo el canal alcanza su máximo ancho, que es de más de 50 m. En esa época la caída de los bloques de hielo se realiza a un promedio de unos 2 m diarios.

CUADRO I.—*Desplazamiento de los jalones sobre la superficie de la lengua del Glaciar Moreno*

Nº de jalón	Distancia entre los jalones (en metros)		Desplazamiento superficial (en metros)		
	parc.	acum.	1-12-1948 — 24-3-1949	1-12-1948 — 6-4-1950	promedio de 1 año
(Orilla norte) . . . . .	0	0			
I . . . . .	200	200	3,22	—	34,6
II . . . . .	130	330	5,84	90	67,0
III . . . . .	216	546	10,45	140	104,0
IV . . . . .	152	698	17,75	—	190,7
V . . . . .	118	816	24,10	—	258,9
VI . . . . .	125	941	34,55	500	370,0
VII . . . . .	150	1.091	49,00	—	526,4
VIII . . . . .	120	1.211	62,90	900	675,0
IX . . . . .	160	1.371	76,00	1.100	805,0
X . . . . .	220	1.591	—	—	—
XI . . . . .	125	1.716	83,00	1.200	890,0
XII . . . . .	150	1.866	—	1.250	930,0
XIII . . . . .	180	2.046	—	—	—
XIV . . . . .	100	2.146	—	1.250	930,0
XV . . . . .	175	2.321	88,00	—	945,0
XVI . . . . .	140	2.461	—	—	—
XVII . . . . .	80	2.541	—	1.300	965,0
XVIII . . . . .	100	2.641	—	—	—
XIX . . . . .	300	2.941	—	—	—
XX . . . . .	100	3.041	—	1.200	890,0
XXI . . . . .	80	3.121	—	—	—
XXII . . . . .	100	3.221	—	—	—
(Orilla sur) . . . . .	1.129	4.350			

Reconoce como causas: agrietamiento de la masa de hielo, congelación del agua dentro de las grietas, insolación, lluvias, y vientos. En abril comienza a disminuir lentamente el ancho del canal hasta cerrarse a fines de julio. La apertura del túnel, se inicia a fines de octubre.

Los años en que no se producen grandes inundaciones la diferencia del nivel de las aguas entre ambos lados de la lengua del glaciar es de pocos metros y, por consiguiente, el efecto de erosión de las mismas hace que su ancho aumente lentamente y que los niveles se equilibren recién después de unas semanas. El arco del túnel de hielo dura hasta los meses de verano. En cambio, en los años en que la diferencia de nivel es superior a 3 m entre la apertura del túnel y su ensanchamiento total sólo transcurren algunas horas.

Con respecto al cierre del canal pueden establecerse tres casos:

I. Cerrado, pero la masa de hielo no está completamente pegada a las rocas de la orilla, o existen agrietamientos internos que permiten el desagüe de Brazo Rico. (Por ejemplo: 1948, 1949 y 1950).

II. Cerrado por empuje aislado. La masa de hielo está apretada a las rocas, sin permitir el desagüe, pero no se repiten nuevos empujes y por ello durante breve tiempo la ablación del contacto da lugar a la formación de un túnel, que en poco tiempo iguala los niveles del agua a ambos lados del glaciar (por ejemplo: 1947).

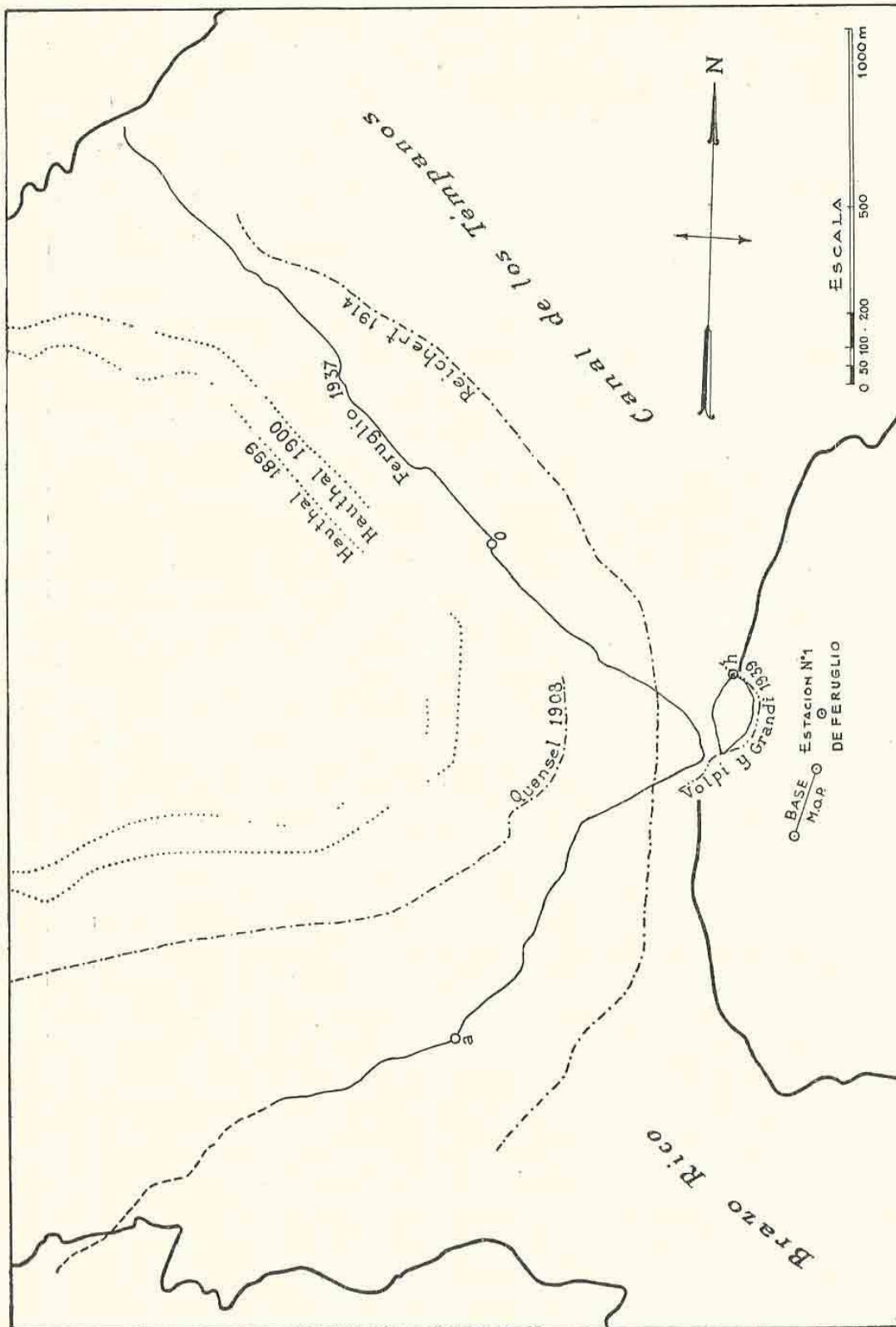


FIG. 27. — Ubicación del frente del Glaciar Moreno. *h* estación de Hauthal, Quensel y Reichert. *a* y *0*. puntos extremos visados desde la estación Nº I de Feruglio.

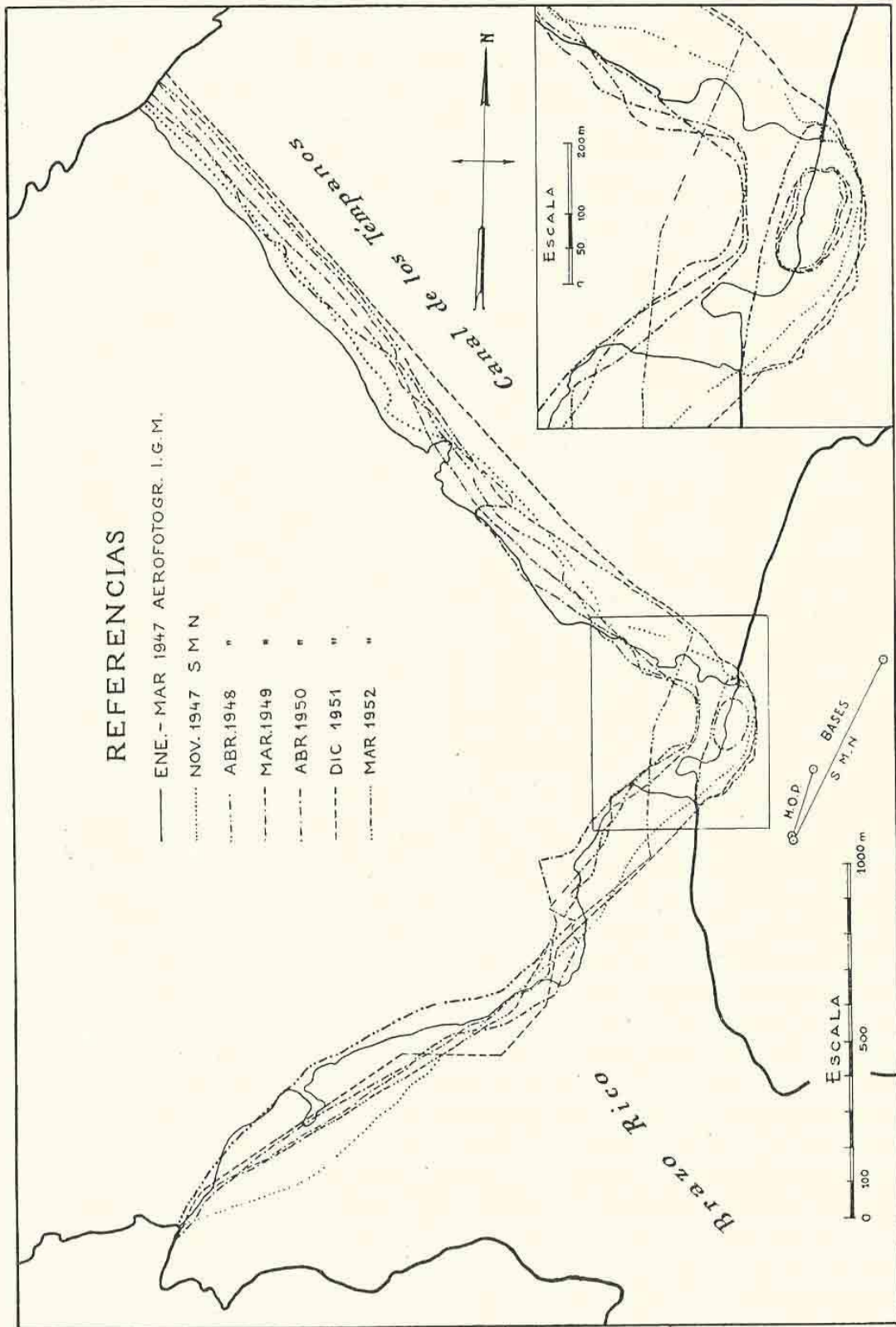


FIG. 28.— Ubicación del frente del Glaciar Moreno.



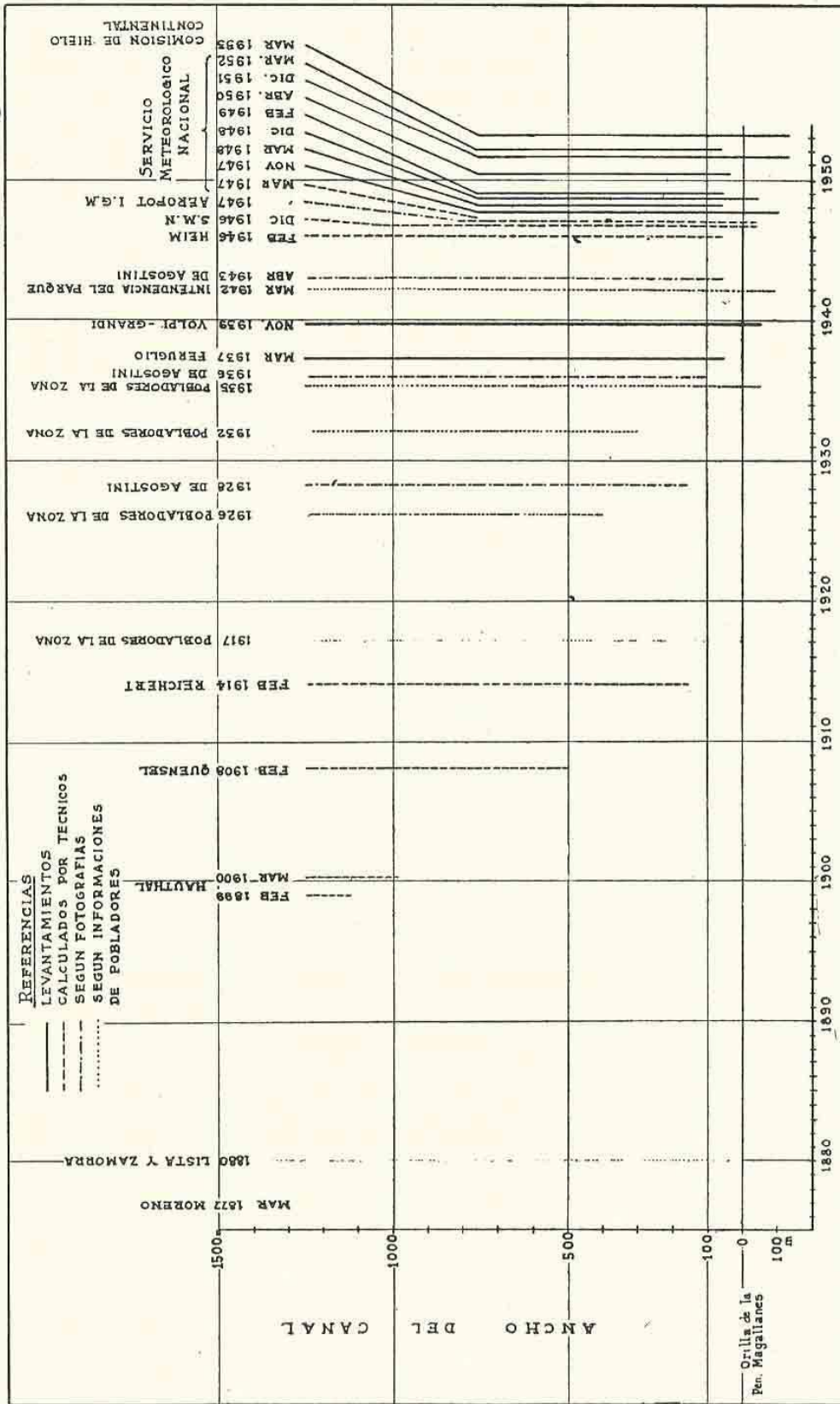


FIG. 29. — Ubicación esquemática del frente del Glaciar Moreno.

III. Cerrado por empujes continuos que impiden la formación del túnel. En los cuatro casos de las grandes inundaciones el cierre duró de 7 a 8 meses. Las aperturas se produjeron al finalizar el verano, cuando los empujes disminuyen dando tiempo a la apertura del túnel.

En cuanto a las causas del avance del Glaciar Moreno puede decirse que han sido analizadas en general por tres autores y más en particular por uno de ellos. Sus opiniones son las siguientes:

Reichert (21, pág. 134) lo considera en una forma muy general: "El movimiento de los ventisqueros que derivan de la gran sábana del interior depende únicamente de condiciones locales regidas por topografía de la región y por cantidad y acumulación de las precipitaciones atmosféricas".



FIG. 30.—Limnigrafo de Puerto Irma (Lago Argentino).

Feruglio (10, pág. 167) revisa ampliamente las "causas del gran desarrollo de los glaciares en la Cordillera Austral" sin ocuparse directamente del Glaciar Moreno.

Heim (18, pág. 10) afirma que: "... los glaciares que presentan avances deben ser influídos por causas locales. En el caso del Moreno, puede pensarse en la protección del sol por el gran dorsal en su lado norte. Por el contrario, casi toda la enorme superficie del Upsala queda expuesta al sol. Parece además que esta región más septentrional queda envuelta menos por nubes y neblinas".

Nichols y Miller (27, pág. 47) hace referencia a diferentes ponencias de autores que se han ocupado de la comparación de avances y retrocesos simultáneos de los glaciares, como los de Taku y Norris de Alaska, aunque sin entrar tampoco a considerar específicamente el caso del Moreno.

Debemos observar que, en cuanto a Heim, nuestra opinión es la siguiente:

1. La sombra del dorsal norte cubre en verano la superficie de la lengua del glaciar solamente en las últimas horas de la tarde. Por ejemplo "Laguna Seca" entra en sombras en los primeros días de febrero a las 16,30 horas.

2. El gráfico de los ángulos de los rayos solares en el perfil transversal del valle del Glaciar Moreno muestra que únicamente en la época del solsticio invernal la mitad de la lengua está a medio día en sombras. Durante el solsticio estival y dos equinoccios toda la superficie de la lengua a medio día está expuesta a la insolación.

3. El Glaciar Ameghino, que está separado del Moreno por ese dorsal, de unos 6 km de ancho, está encajonado en un valle tres veces más angosto (4,4 : 1,4 km) donde la sombra dura mucho más, pero este glaciar no está avanzando en los últimos decenios.

4. La distancia entre los Glaciares Moreno y Upsala es de 48 km, siendo la cordillera en ambos lugares de semejante configuración, no forma tan gran gradiente climático que una zona estaría "envuelta menos por nubes y neblinas" que otra, porque el predominante factor meteorológico en esa región es el fuerte y permanente viento.

#### VII. INUNDACIONES

Los avances del Glaciar Moreno que cierran el canal provocan la incomunicación de las aguas entre Brazo Rico y Canal de los Témpanos. Desde 1917 se conocen numerosos cierres, pero solamente cuatro de ellos originaron inundaciones que perjudicaron a la zona adyacente al Brazo Rico.

La primera se produjo en 1939. En esa oportunidad, para impedir que la inundación aumentara, el Ministerio de Marina hizo arrojar bombas explosivas sobre el frente sin obtener ningún resultado positivo. El Ministerio de Obras Públicas envió una comisión integrada por VOLPI, C. A. y GRANDI, A. L. (34, pág. 54), quienes efectuaron los primeros levantamientos topográficos y midieron la diferencia del nivel entre las aguas del Brazo Rico y del Canal de los Témpanos. El 30 de noviembre de 1939 era de 4,61 m. Heim (48, pág. 4) dice: "Según los datos de la Intendencia del Parque en Calafate, el nivel subió a 9 m el 25 de octubre de 1939". Comparando estos datos se podría suponer que entre octubre y noviembre el nivel de las aguas bajó 4,39 m a causa de una apertura parcial. Esa circunstancia resulta incierta; posiblemente existe error en la nivelación de octubre.

No se conoce la fecha en que se cerró el canal en el año 1939, ni la altura máxima que alcanzaron las aguas del Brazo Rico, pero, por comparación con las dos últimas inundaciones, se deduce que fué de unos 11,50 m. El canal se abrió el 17 de febrero de 1940.

La segunda inundación, la mayor de todas, se registró en 1942. Según la escala hidrométrica instalada por Volpi en la chacra "Freire", el nivel del agua subió en la siguiente forma:

entre el 16/11/41 y el 31/12/41 .....	2,39 m
» » 1/ 1/42 » » 31/ 1/42 .....	3,11 »
» » 1/ 2/42 » » 28/ 2/42 .....	2,91 »

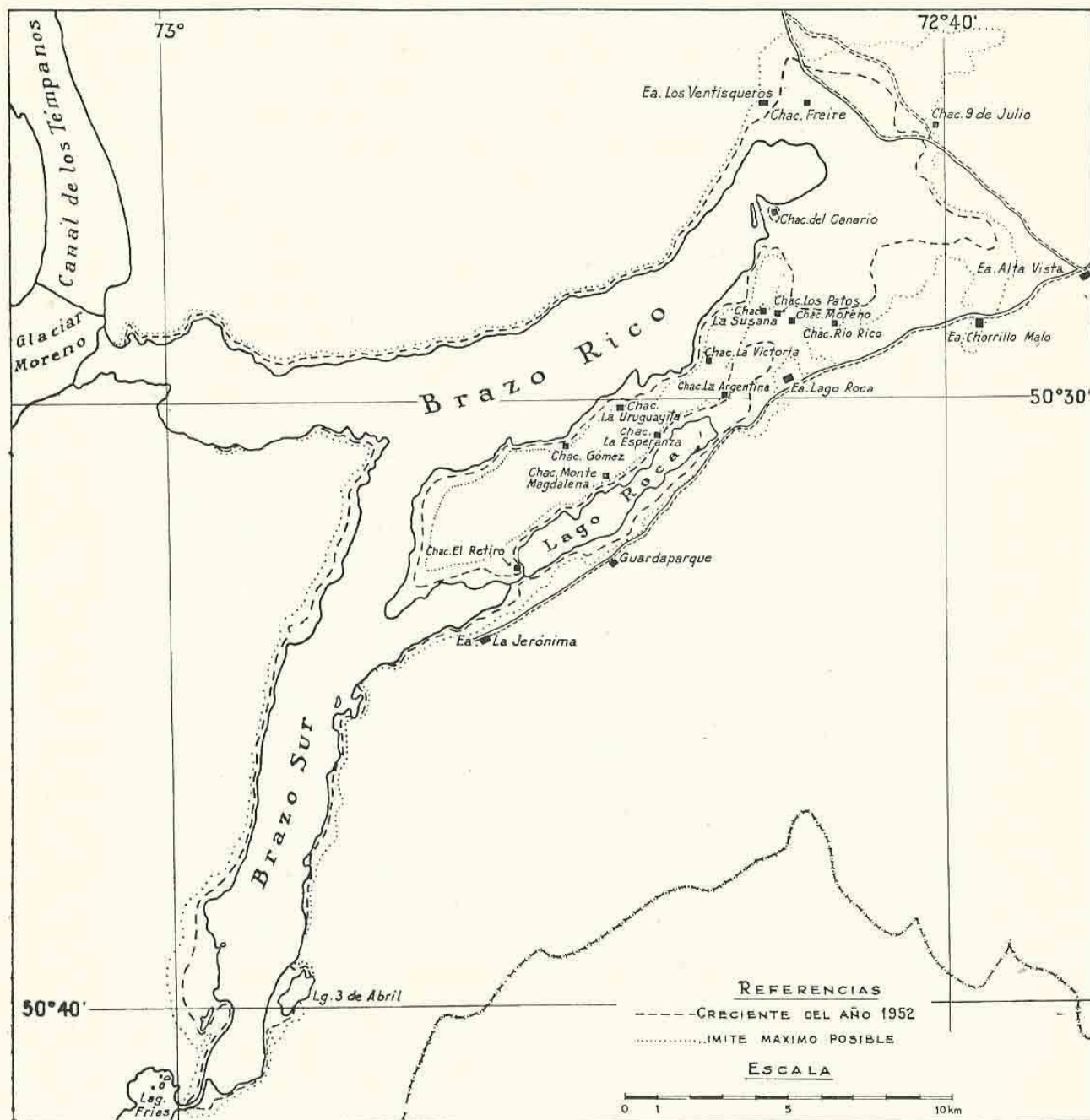


FIG. 31. — Zona inundable de los Brazos Rico y Sur y Lago Roca.

Con posterioridad a esta fecha no hay más datos. Heim (18, pág. 4) señala: "El nivel llegó a 17 m aproximadamente", sin expresar a qué escala se refiere. En 1952 una comisión del Servicio Meteorológico Nacional relacionó los rastros dejados por la inundación, indicados por los pobladores, con la escala hidrométrica de este organismo, instalada en la chacra N° 2 "Canario". Según el cálculo la altura máxima fué de 14,90 m.

La rotura de la barrera de hielo se produjo, a estar a los antecedentes registrados en el archivo del Parque Nacional "Los Glaciares", el 21 de marzo de 1942, aunque los pobladores de la zona señalan más bien el día 19.

El cierre, en 1947, produjo una inundación que no duró mucho tiempo. El 21 de noviembre una comisión del Servicio Meteorológico Nacional constató la existencia del túnel y que la diferencia del nivel entre ambos lados era de 2,61 m.

En el año 1949 se registra en la zona un fuerte aumento en las precipitaciones, que volvió a repetirse en 1950, tal como lo demuestran los siguientes valores:

	Lago Argentino	Glaciar Ameghino <sup>6</sup>
1947 .....	172,2 mm	965 mm
1948 .....	185,1 »	1.720 »
1949 .....	322,7 »	2.255 »
1950 .....	283,6 »	1.580 »
1951 .....	169,8 »	1.170 »
1952 .....	136,5 »	1.095 »

La comisión del Servicio Meteorológico Nacional, en el año 1950, observó un aumento considerable del espesor de la masa de hielo en toda la superficie de la lengua y de los glaciares tributarios. En base a ello se previó un avance extraordinario para el año próximo, el cual se cumplió efectivamente.

Según las alturas registradas en la escala hidrométrica de Brazo Rico, el nivel del lago comenzó a subir el 25 de julio de 1951, cuando lo normal es que bajara hasta el mes de septiembre. En agosto se observó un aumento de nivel que en promedio fué de 4,9 cm diarios y alcanzó el 26 de agosto un máximo de 25 cm. Desde septiembre hasta noviembre el promedio diario fué de 3,0 cm, y en los meses de verano, de 7,4 cm. La apertura del canal se produjo el 2 de marzo de 1952 a las 14,10 horas, es decir, que la inundación duró 221 días. La altura de la escala hidrométrica el 25 de julio era de 1,40 m y el 2 de marzo 12,70 m. La diferencia de 11,30 m da un promedio diario de 5,0 cm. Al abrirse el canal la masa de agua de la inundación pasó al Lago Argentino en cuatro días. En ese lapso, el Brazo Rico bajó 8,12 m y el nivel de Lago Argentino subió de 2,63 a 3,56 m, esto es, 0,93 m. El volumen de la masa de agua se calcula aproximadamente en unos 1.194 Hm<sup>3</sup>.

Según la carta del Instituto Geográfico Militar relativa al "Lago Roca" (hoja Nº 5172-8 y 14), escala 1:100.000, la superficie del Lago Rico es de 108,2 km<sup>2</sup> y la del Lago Roca de 6,4 km<sup>2</sup>. Durante la inundación el nivel del agua de Lago Rico se igualó con el de Lago Roca. La superficie cubierta por las aguas al culminar la inundación llegó a unos 181,3 km<sup>2</sup>, es decir que la zona inundada era de unos 66,7 km<sup>2</sup> (Fig. 31).

Alrededor del Lago Rico están situadas 5 estancias, 14 chacras de la Colonia Francisco P. Moreno y la casa del guardaparque. La inundación cubrió parte del suelo de cada una de dichas estancias, produciendo daños relativamente exiguos. Ningún casco fué afectado por las aguas. En cambio, las chacras sufrieron los efectos en 2.375 Ha de su total de 6.000, lo cual ocasionó pérdidas de importancia para los chacareros puesto que además de anegar sus cultivos, lavó las tierras, quitándoles las sales minerales y el humus. Una de las casas fué completamente destruída por las aguas y otras dos tuvieron que ser evacuadas.

<sup>6</sup> Datos medidos en pluviómetro-totalizador y reducidos a año civil.

En marzo de 1952 se efectuó un levantamiento taquimétrico con el objeto de establecer la cota del desagüe natural de la zona. El perfil pasa del Brazo Rico al Río Centinela por el lado sur del Cerro Frías. La cota máxima es de 30,8 m con respecto al cero del hidrómetro de Brazo Rico. Si el nivel de la inundación alcanza a esa altura, la superficie cubierta por las aguas sería de 93,6 km<sup>2</sup> y de las 20 casas de pobladores existentes, 13 quedarían inundadas.

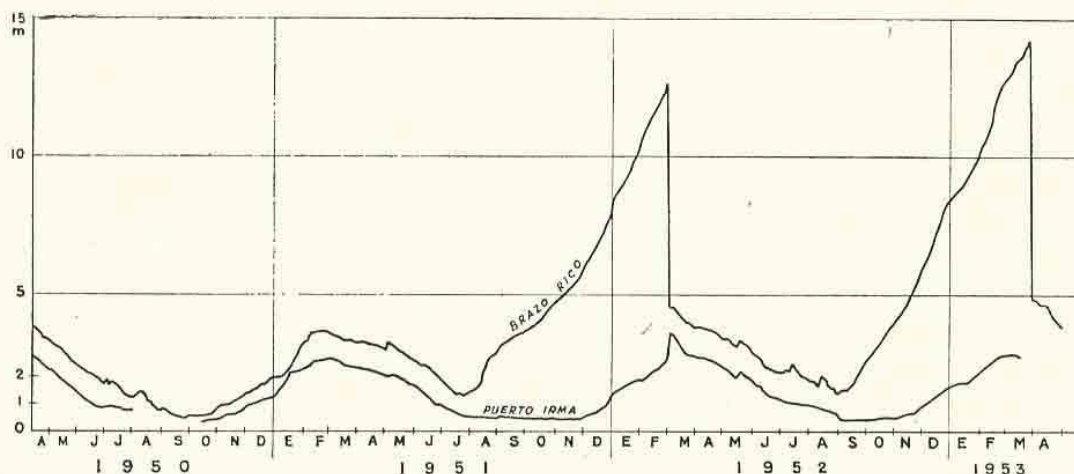


FIG. 32. — Curvas comparativas de alturas hidrométricas de Lago Argentino y Brazo Rico.

La última inundación se produjo en 1952-53. Por la altura alcanzada, es la segunda en importancia de las registradas hasta la fecha. La altura fué de 0,50 m menor que la de la inundación de 1941-42. Comenzó el 12 de septiembre de 1952, con una altura hidrométrica de 1,55 m y culminó el 30 de marzo de 1953 con 14,40 m. El aumento promedio diario durante los 199 días que duró la inundación fué de 6,4 cm, habiéndose registrado el 17 de febrero el máximo aumento diario con 28 cm. Al abrirse el túnel la masa de agua pasó al Lago Argentino en dos días, bajando su nivel 5,40 m durante el primer día y 4,25 m en el segundo.

Comparando esa inundación (Fig. 32) con la del año anterior se constata que se inició 50 días más tarde, pero también la apertura se produjo 28 días después. A pesar de que la inundación duró en su totalidad 22 días menos, sobrepasó su culminación en 1,70 m con relación a la anterior.

### VIII. CONCLUSIONES

I. Se comprueba que el Glaciar Moreno ha avanzado por lo menos en los últimos 70 años. Contrasta este fenómeno con el de la generalidad de los glaciares, los cuales, en todo el mundo y durante el siglo actual, han retrocedido. En cuanto a su comportamiento futuro no es fácil aventurar un pronóstico. El frente del glaciar, al flotar en las aguas y no encontrar resistencia, es sensible a cambios por cualquier factor que influya sobre su movimiento, y de estos factores, en la actualidad sólo se conoce —con alguna aproximación— su régimen de alimentación. Sin embargo, a nuestro juicio hay menos posibilidades de retroceso que de avance, porque las dos principales causas de retroceso del Moreno podrían

ser la disminución efectiva de las precipitaciones o la pérdida de la parte de su cuenca de alimentación a favor de uno de sus vecinos, y todo parece favorecer a este poderoso glaciar en plena actividad.

II. Según nuestra opinión existen una causa inicial que quebró el equilibrio de la masa del Glaciar Moreno, y causas posteriores que provocan los avances y retrocesos sistemáticos o esporádicos:

1. La causa inicial es la captura de la parte de la cuenca de alimentación de su vecino, el Glaciar Frías.

2. Las causas posteriores, por orden de importancia, serían las siguientes: *a)* roturas de los umbrales de su lecho; *b)* cambios de orden climático; y *c)* sismicidad de la zona.

Los argumentos de esta hipótesis están basados en las siguientes observaciones:

REFERENTE A 1. — El Glaciar Frías ha evidenciado un fuerte retroceso en una época relativamente reciente (alrededor de 7 km según las mediciones de Hauthal en 1900 y de Quensel en 1908). Conforme a las aerofotografías de 1947 y reconocimiento general efectuado en abril de 1952, este glaciar dejó los rastros de su retroceso, en altura y distancia, mucho más grandes que otros de la zona: Ameghino, Mayo, Upsala y Viedma.

La supuesta zona de captura se ubica en la parte SE de la cuenca del Glaciar Moreno, donde se observa una planicie con poca pendiente. En esa superficie hay numerosos "nunatak" y perturbaciones de la capa de nieve provocadas por los cerros y cordones sumergidos. La erosión ascendente del lado del Glaciar Moreno tuvo más fuerza y la evacuación del material detrítico fué más fácil en dirección de la ancha "Puerta Sur", por ser un tramo más corto y con mayor pendiente inicial, que el lado del Glaciar Frías, donde la lengua está encajonada en angosturas hasta de 1,1 km y que forma tres curvas muy cerradas, la última de unos 70°.

Se estima que dicha captura ocurrió en la segunda mitad del siglo pasado, porque Hauthal en 1900 encontró las morenas del Glaciar Frías completamente frescas. No hay dato alguno para correlacionar este retroceso con la posición del frente del Moreno en 1880, cuando llenaba por completo el ancho del canal.

REFERENTE A 2 *a)*. — La erosión del fondo del valle del Glaciar Moreno se encuentra en la actualidad finalizando la fase de rejuvenecimiento (DAVIS).

Dos "cúpulas" y tres umbrales visibles en la superficie de la lengua del glaciar indican que el lecho de éste no se halla todavía uniformado. Está por terminarse la unión de dos valles independientes.

Las tres cintas de las morenas laterales se presentan constituídas en algunos sectores por materiales heterogéneos. Por falta de un levantamiento minucioso geológico no es posible fijar el lugar de origen de cada una de estas morenas.

REFERENTE A 2 *b)*. — No se han podido correlacionar las variaciones climáticas registradas con el comportamiento conocido del glaciar. Las estaciones meteorológicas y pluviométricas y los pluvionivómetros-

totalizadores ofrecen un corto récord (Cerro Fitz Roy desde 1936; Lago Argentino desde 1937; otros, de 3 a 5 años, a veces interrumpidos). Asimismo, dichas estaciones están muy alejadas del Moreno (Cerro Fitz Roy al pie de la cordillera a 150 km al N y Lago Argentino, a 80 km al E) y no representan las condiciones reinantes en la cuenca del glaciar que nos ocupa. Tampoco dió resultado positivo la comparación con las estaciones que tienen récord de unos 50 años y que registran las condiciones atmosféricas generales en la Patagonia Austral (Puerto Santa Cruz, Río Gallegos, Islotes de los Evangelistas y Punta Arenas). Únicamente en un caso se supone que el aumento de las precipitaciones registradas en la zona en 1949-1950, provocó el avance del frente en 1951 y 1952 (ver capítulo "Inundaciones"). Durante los años anteriores se observaron los avances del Glaciar Moreno a pesar de que sus glaciares tributarios marcaban largas franjas de retroceso. Pero en 1951 y 1952 esos glaciares aumentaron su masa en forma tan considerable que cubrieron casi por completo esas franjas.

REFERENTE A 2 c). — A pesar de que no existen datos fehacientes sobre sismicidad de la zona del Glaciar Moreno, se sabe que esa región sufre sismos frecuentes de diferentes intensidades, los cuales podrían influir en el equilibrio de la masa de hielo constitutiva del glaciar.

III. Hay posibilidad y probabilidad de la repetición periódica de las inundaciones (hasta 15 m), mientras sigan imperando las condiciones meteorológicas y geofísicas actuales en la zona y siempre que el canal se abra al finalizar el verano. Si, por continuos empujes estivales (eventualmente de origen sísmico), no se abriera anualmente dicho canal, la inundación podría alcanzar la altura del desagüe natural (30,8 m) y cubrir la amplia zona adyacente en una extensión de 100 km<sup>2</sup>, con los consiguientes perjuicios para la vida y la economía del lugar.

IV. De todo lo expuesto surge, asimismo, que la importancia del Glaciar Moreno para la ciencia argentina y universal, y para los servicios que el Estado pueda prestar a esa región, aconsejan la continuación de observaciones sistemáticas (glaciológicas e hidrológicas) en épocas propicias.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. AMEGHINO, C. 1890. — « Exploraciones geológicas en la Patagonia ». *Bol. Inst. Geogr. Arg.* 11: 1-46. Buenos Aires.
2. AUER, V. 1950. — « Las capas volcánicas como nuevo método de cronología post-glacial en Fuegopatagonia ». Min. Agric. y Gan., D. G. Invest. Agríc., Inst. Suelos y Agrotecnia. Publ. N° 9. Buenos Aires.
3. BRUGGEN, J. 1929. — « Zur Glazialgeologie der chilenischen Anden ». *Geol. Rundschau.* 20: 1-35. Berlin.
4. CALDENIUS, C. C. 1932. — « Las glaciaciones cuaternarias en la Patagonia y Tierra del Fuego. (Una investigación regional, estratigráfica y geocronológica. Una comparación con la escala geocronológica sueca) ». Min. Agric. Nac., D. G. Minas y Geol. Publ. N° 95. 152 págs. Buenos Aires.
5. DE AGOSTINI, A. M. 1937. — « El Nuevo Parque Nacional "Los Glaciares" ». *Rev. Geogr. Amer.* 8 (48): 153-166. Buenos Aires.
6. DE AGOSTINI, A. M. 1945. — « Los Andes Patagónicos. Viajes de exploración a la Cordillera Patagónica Austral ». 2° edición. 445 págs. Buenos Aires.
7. FERUGLIO, E. 1932-35. — « Informe preliminar sobre los resultados científicos de la expedición A. De Agostini al Lago Argentino (Patagonia) ». *An. Soc. Arg. Estud. Geogr. GAEA.* 4: 116-131. Buenos Aires.



8. FERUGLIO, E. 1938. — « Variaciones del frente del Glaciar Moreno (Lago Argentino) ». *An. Soc. Arg. Estud. Geogr. GAEA*. 6: 185-192. Buenos Aires.
9. FERUGLIO, E. 1939. — « Mapa geológico de la Patagonia al sur del paralelo 42° y Tierra del Fuego ». Dir. Gral. Y. P. F. Buenos Aires.
10. FERUGLIO, E. 1944. — « Estudios geológicos y glaciológicos en la región del Lago Argentino (Patagonia). (Expedición Alberto M. De Agostini 1930-31) ». *Bol. Acad. Nac. Cienc.* 37. 208 págs. Córdoba.
11. FERUGLIO, E. 1949-50. — « Descripción geológica de la Patagonia ». Dir. Gral. Y. P. F. 3 tomos. 334, 349 y 431 págs. Buenos Aires.
12. FESTER, G. A. 1938. — « Observaciones en la Cordillera Austral ». *Rev. Minera*. 9: 97-122. Buenos Aires.
13. GROEBER, P. 1927. — « Origen de los valles transversales de la Cordillera Patagónica ». *An. Soc. Arg. Estud. Geogr. GAEA*. 2 (3): 438-450. Buenos Aires.
14. HAUMAN, L. 1920. — « Un viaje botánico al Lago Argentino (Patagonia) ». *An. Soc. Cien. Arg.* 89: 179-281. Buenos Aires.
15. HAUTHAL, R. 1904. — « Gletscherbilder aus der argentinischen Cordillere ». *Zeitschrift des Deutschen und Oesterreichischen Alpenvereins*. 35: 30-56. Innsbruck.
16. HAUTHAL, R. 1911. — « Der Bismarckgletscher, ein vorrückender Gletscher in der patagonischen Cordillere ». *Zeitschrift für Gletscherkunde*. 5: 133-143. Berlin.
17. HAUTHAL, R. 1913. — « Die interozeanische Wasserscheide in Patagonien ». *Zeitschrift für Gletscherkunde*. 7: 260-265. Berlin.
18. HEIM, A. 1946. — « Informe sobre un estudio glaciológico en el Parque Nacional los Glaciares ». Administr. Gral. Parques Nac. y Turismo. 10 pág. Buenos Aires.
19. HICKEN, C. M. 1914. — « Un viaje al Lago Argentino ». *Rev. Centro Estudiantes Ingeniería*. 15 (149). Buenos Aires.
20. IGLESIAS, A. R. 1901. — « Relevamiento hidrográfico del Río Santa Cruz. Informe general ». Min. Marina. Buenos Aires.
21. KÖLLICKER, A.; KÜHN, F.; REICHERT, F.; TOMSEN, A., y WITTE, L. 1917. — « Patagonia. Resultados de las expediciones realizadas en 1910-1916 ». Soc. Cient. Alemana. 2 tomos. Buenos Aires.
22. KÜHN, F. 1924. — « Inlandeis in der patagonischen Cordillere ». *Rev. Phoenix*. 10 (4): 200-201. Buenos Aires.
23. LISTA, R. 1896. — « Viaje á los Andes Australes ». *An. Soc. Cient. Arg.* 41: 5-35, 108-138 y 145-170. Buenos Aires.
24. MORENO, F. P. 1879. — « Viaje á la Patagonia Austral (1876-1877), emprendido bajo los auspicios del Gobierno Nacional ». 2a edición. Tomo I. 460 págs. Buenos Aires.
25. MOYANO, C. M. 1888. — « Patagonia Austral. Exploración de los ríos Gallegos, Coile, Santa Cruz y Canales del Pacífico ». *Bol. Inst. Geogr. Arg.* 8 (12): 279-292 y 9 (1, 2, 4 y 5): 307-326, 25-35, 89-107 y 113-124. Buenos Aires.
26. NICHOLS, R. L., and MILLER, M. M. 1951. — « Glacial geology of Ameghino Valley, Lago Argentino, Patagonia ». *Geographical Review*. 41 (2): 274-294. New York.
27. NICHOLS, R. L., and MILLER, M. M. 1952. — « The Moreno Glacier, Lago Argentino, Patagonia. Advancing glaciers and nearby simultaneously retreating glaciers ». *Journal of Glaciology*. 2 (11): 41-50. London.
28. QUENSEL, P. D. 1910a. — « On the influence of the ice age on the continental watershed of Patagonia ». *Bull. of the Geol. Inst. of the Univ. of Upsala*. 9: 60-92. Upsala.
29. QUENSEL, P. D. 1910b. — « Beitrag zur Geologie der patagonischen Cordillera ». *Geol. Rundschau*. 1: 297-302. Leipzig.
30. REICHERT, F. 1915. — « Neue Beobachtungen am Bismarckgletscher und am patagonischen Inlandeise ». *Zeitschrift für Gletscherkunde*. 9: 155-156. Leipzig.
31. REICHERT, F. 1917. — « Vorläufiger Bericht über das Ergebnis der Expedition nach dem sogenannten "Patagonischen Inlandeis" und dem Bismarckgletscher ». *Zeitschrift für Gletscherkunde*. 10: 225-230. Leipzig.
32. SKOTTSBERG, C. 1911. — « The wilds of Patagonia. A narrative of the swedish expedition to Patagonia, Tierra del Fuego and the Falkland Islands in 1907-1909 ». London.
33. STEFFEN, H. 1914. — « Das sogenannte patagonische Inlandeis ». *Zeitschrift für Gletscherkunde*. 8: 150-174. Berlin.
34. VOLPI, C. A., y GRANDI, A. L. 1940. — « El Ventisquero Moreno ». *Rev. Centro Arg. Ingenieros « La Ingeniería »*. 44 (783): 54-63. Buenos Aires.

551.589.5(8)

## INTERRELACIONES ENTRE ANOMALÍAS MENSUALES DE LLUVIAS, TEMPERATURA, PRESIÓN, GRADIENTES Y VARIACIONES <sup>1</sup>

Por EMILIO L. DIAZ \*

**Resumen.** — Se determinan relaciones entre las anomalías mensuales de lluvia, temperatura, presión y variables derivadas, así como el control de la frecuencia de los vientos y nubosidad sobre las anomalías de la temperatura. Se calcula una ecuación de regresión de las anomalías de lluvia en la zona agropecuaria en función de los gradientes térmicos a través de la misma y la circulación del aire al sur de dicha zona ( $r = 0,67$ ). También se analizan las lluvias mensuales en la costa austral chilena y Patagonia argentina, en función del gradiente circulatorio del Pacífico, y el efecto de este último sobre las anomalías de la temperatura. Se determina la existencia de una oscilación térmica sudamericana (dominios de correlación de signo inverso orientados en sentido norte-sur y a 2.000 millas de distancia). Se calculan las ecuaciones de autocorrelación y de correlación inversa asociada, de las variaciones de las anomalías térmicas (oscilaciones amortiguadas). El efecto de las anomalías de la nubosidad sobre las anomalías de temperatura puede representarse por medio de una hipérbola, en función de las temperaturas medias. Los excesos de lluvia en la zona agropecuaria y las anomalías positivas de los gradientes térmicos norte-sur y este-oeste van asociados a una circulación planetaria disminuía sobre América del Sur. Los gradientes barométricos intensos en el Pacífico dan lugar a una vaguada dinámica sobre territorio argentino (medias mensuales).

**Summary.** — Relations among monthly anomalies of rain, temperature, pressure and related variables are brought out; also control of temperature by wind frequency anomalies and cloudiness. A regression equation of rain monthly anomalies in the crop and cattle rising section in Argentina has been calculated as a function of temperature gradients and air circulation ( $r = 0,67$ ). Precipitation in Southern Chile and Argentine Patagonia is analyzed in regard to south Pacific barometric gradient anomalies and also temperatures as related to the latter. Existence of a South American oscillation in temperatures is revealed (areas of correlation of contrary sign laying 2.000 miles apart in a north-south direction). Formulas to express autocorrelation coefficients and correlation coefficients in associated areas of reverse sign are given (damped oscillations). Effect of cloudiness on temperature anomalies can be represented by an hyperbola as a function of mean temperatures. Excess of rain in the Argentine crop and cattle rising section and also intensified temperature gradients are linked to a decreased planetary circulation in South America. An increased gradient of pressure in the Pacific gives place to a dynamic through east of the Andes range (monthly mean values).

El presente estudio fué encarado con vistas a encontrar relaciones estadísticas formales respecto a las anomalías de las lluvias en la zona agropecuaria argentina (Entre Ríos, Santa Fe, Córdoba, Eva Perón y Buenos Aires); lluvias patagónicas y de la costa sur chilena; anomalías de la temperatura y de los gradientes térmicos; ligazón entre la temperatura, la advección del aire en superficie y la nubosidad; anoma-

\* Capitán de Navío. Jefe del Departamento Operaciones del Estado Mayor General Naval.

<sup>1</sup> Trabajo presentado el 2 de septiembre de 1953.

lías de la presión y gradientes circulatorios; propagación de las anomalías térmicas y sus variaciones, evolución y efectos de dichas anomalías y variaciones.

Es evidente que una relación estadística, aun cuando sea pequeña, cobra valor si es posible encontrar para la misma una explicación física plausible y de carácter relativamente simple. En general, es conveniente determinar ecuaciones de regresión que permitan ligar, formularmente, las anomalías o variaciones simultáneas de las diversas variables meteorológicas. Si tal cosa es posible y las deducciones que fluyen de esas ecuaciones admiten una explicación lógica, el problema se traslada a la investigación de las causas que dan lugar a esas distribuciones particulares de los elementos que conforman el complejo meteorológico.

Si bien es cierto que a los efectos de los estudios meteorológicos es necesario considerar toda la atmósfera, dado que las alteraciones que ocurren en lugares distantes pueden tener efecto sobre las variaciones que se registran en otro, no es menos exacto, también, que por lo común resulta tanto más difícil encontrar las leyes que ligan fenómenos cuanto mayor sea la distancia en el espacio y más numerosos los eslabones que configuran la relación causal mediante la cual un acontecimiento influye sobre el otro. Por ese motivo se prefirió restringir los límites de la extensión en el espacio y en el tiempo, comprendiendo así América del Sur, regiones oceánicas adyacentes y norte del continente antártico y abarcando desde dos meses antes hasta dos meses después respecto de la anomalía o variación considerada.

#### I. ANOMALIAS MENSUALES DE LAS LLUVIAS EN LA ZONA AGROPECUARIA ARGENTINA

Si se considera que la región argentina de mayor producción agropecuaria abarca Entre Ríos, sur de Santa Fe, sureste de Córdoba, noreste de Eva Perón y la mitad norte de Buenos Aires, convendrá, a los efectos de determinar las anomalías de lluvia en esa región, seleccionar un número de estaciones distribuidas convenientemente. A tal efecto se utilizaron Concordia, Córdoba, General Acha, Buenos Aires y General Lavalle.

Las anomalías de precipitación se determinaron sumando las cantidades de agua caída, en las cinco estaciones citadas y estableciéndose el porcentaje con respecto a la suma de las precipitaciones medias correspondientes a cada mes considerado. La anomalía se define calculando la diferencia entre ese porcentaje y 100. Así, por ejemplo, si en enero de 1929 la suma de las lluvias registradas en esas cinco estaciones arrojó 258 milímetros y la suma de las precipitaciones medias de enero es de 389 milímetros, la anomalía resulta ser de

$$100 \frac{258}{389} - 100 = -34\%$$

*Lluvias en los meses de octubre, desde 1896 a 1925.* — Con los datos de los meses de octubre, desde 1896 a 1925, se efectuó un análisis de carácter exploratorio, calculándose las correlaciones entre las anomalías

de lluvia y las anomalías de las temperaturas medias mensuales en diversas estaciones (ver Cuadro I).

CUADRO I. — *Correlaciones de las anomalías mensuales de las lluvias en la zona agropecuaria argentina con diversas variables*

	Oct. 1896-1925		Jul.-Dic. 1912-16; En.-Jun. 1926-30 y En. 1932 a Jun. 1934			
	Simult.	N.	2 m. ant.	1 m. ant.	Simult.	N.
An. TT en:						
Quixeramobim .....	—	—	+ 0.17	— 0.05	— 0.06	60
Cuyabá .....	—	—	— 0.01	+ 0.07	+ 0.21	60
Río de Janeiro .....	+ 0.47	30	—	—	—	—
Curitiba .....	+ 0.52	28	+ 0.19	+ 0.16	+ 0.49	90
Asunción .....	+ 0.42	24	—	—	—	—
Salta .....	+ 0.19	25	—	—	—	—
Córdoba .....	— 0.18	30	+ 0.07	+ 0.01	— 0.04	60
Buenos Aires .....	+ 0.20	30	+ 0.25	+ 0.29	+ 0.22	60
Santiago .....	— 0.26	30	—	—	—	—
Juan Fernández .....	— 0.36	21	+ 0.24	+ 0.31	+ 0.30	90
Punta Galera .....	— 0.18	27	—	—	—	—
Madryn .....	— 0.33	25	+ 0.09	+ 0.02	— 0.14	60
Santa Cruz .....	— 0.37	25	— 0.20	— 0.24	— 0.39	90
Malvinas .....	— 0.34	29	— 0.10	— 0.08	— 0.22	60
Evangelistas .....	—	—	+ 0.03	+ 0.32	+ 0.27	60
Georgia del Sur .....	—	—	+ 0.13	— 0.07	— 0.05	60
Orcadas .....	—	—	+ 0.13	+ 0.08	+ 0.02	60
An. Grd. TT entre:						
B. Aires-Córdoba .....	+ 0.62	30	+ 0.09	+ 0.14	+ 0.38	90
Curitiba-Madryn .....	+ 0.66	28	+ 0.03	+ 0.11	+ 0.44	60
Curitiba-Sta. Cruz .....	—	—	+ 0.19	+ 0.26	+ 0.52	90
B. Aires-Goya .....	+ 0.19	30	—	—	—	—
Montevideo-Córdoba .....	+ 0.47	24	—	—	—	—
R. Janeiro-Malvinas .....	+ 0.51	29	—	—	—	—
An. Grd. PP entre:						
Santiago-Evangelistas .....	+ 0.04	30	— 0.19	— 0.22	— 0.30	90
Montevideo-Malvinas .....	+ 0.17	30	— 0.06	— 0.23	— 0.35	90
Madryn-Montevideo .....	+ 0.40	20	+ 0.13	+ 0.09	+ 0.38	90
R. Janeiro-Quixeramobim ...	—	—	— 0.22	— 0.21	— 0.25	90
Montevideo-R. Janeiro .....	— 0.30	30	—	—	—	—
Córdoba-Buenos Aires .....	+ 0.32	30	—	—	—	—
Córdoba-Montevideo .....	+ 0.09	25	—	—	—	—
An. PP en:						
Quixeramobim .....	—	—	+ 0.27	+ 0.36	+ 0.24	90
Montevideo .....	—	—	— 0.02	— 0.12	— 0.31	90
Malvinas .....	—	—	+ 0.04	+ 0.15	+ 0.14	90
Orcadas .....	—	—	— 0.25	— 0.11	— 0.17	60
175 meses (1896-32)						
Persistencia:	1 m. desp.	N				
An. lluvia zona agropecuaria .	+ 0.32	175				

Pueden notarse correlaciones de cierta importancia con la temperatura: para Curitiba  $r = +0,52$ ; para Madryn,  $-0,33$ ; para Santa Cruz,  $-0,37$ . Con respecto a Buenos Aires y Córdoba se advierte que, aun

cuando ambas estaciones están próximas, presentan coeficientes de signos opuestos: Buenos Aires + 0,20 y Córdoba - 0,18.

Si los valores de las correlaciones son volcados en una carta, aparece un área positiva al oriente de Misiones, una negativa sobre la costa central y sur de la Patagonia, y una tercera, negativa, sobre el Pacífico.

La interpretación del hecho anterior, desde el punto de vista de las masas de aire, significa, teniendo en cuenta que las correlaciones positivas corresponden a excesos de lluvia, que llueve más en la zona agropecuaria cuando el aire es más caliente que lo normal al noreste de esa zona y más frío al sur y oeste de la misma, es decir, cuando las condiciones favorecen una mayor actividad frontal.

Si, además, consideramos que la isolínea de correlación 0 define la región en la cual no predomina ninguno de los tipos de anomalías térmicas, es posible concluir que, en octubre, las anomalías positivas de lluvia en la zona agropecuaria ocurren cuando la actividad frontal sobre la misma es superior a la normal y con una posición media de los frentes definida por la isolínea 0, de orientación aproximada NNO-SSE.

Dado que la actividad frontal, más que por las anomalías de las temperaturas absolutas, está definida por el gradiente térmico entre dos regiones vecinas, la carta deberá mostrar un marcado gradiente en las correlaciones a través de la zona agropecuaria, cosa que efectivamente sucede entre Curitiba y Madryn y entre Buenos Aires y Córdoba.

El cálculo de correlación entre las anomalías de lluvia y las anomalías de gradiente térmico (Cuadro I), indica:

Para An. lluvia (%) y An. Grd. TT Curit.-Mdyn. ....	$r = + 0.66$
» » » » » » » B. As.-Cba. ....	$r = + 0.62$

lo que coincide con lo antes expuesto.

Asimismo, la mayor frecuencia de frentes en la zona agropecuaria y por tanto mayores precipitaciones, debe reflejarse sobre la circulación atmosférica, razón por la cual se efectuaron correlaciones entre las anomalías de lluvia y las anomalías de gradientes barométricos indicadas en el Cuadro I. En dicha tabulación tenemos:

Para An. lluvia (%) y An. Grd. PP. Mont.-R. Jan. ....	$r = - 0.30$
» » » » » » » Mdyn.-Mont. ....	$r = + 0.40$
» » » » » » » Cba.-B. As. ....	$r = + 0.32$

Los resultados anteriores señalan que a excesos de lluvia corresponden mayor porcentaje de vientos del sector NO entre Río de Janeiro y Montevideo y mayor porcentaje de vientos del sector SE entre Madryn y Montevideo. En otras palabras, mayor actividad frontal entre el Río de la Plata y regiones adyacentes.

Si a lo anterior agregamos que el gradiente barométrico entre Córdoba y Buenos Aires es superior al normal cuando llueve más en la zona considerada, resulta de ello que en esos casos la proporción de vientos del SO entre ambas estaciones es mayor, de donde surge la conclusión de que cuando llueve en exceso en la región agropecuaria hay mayor frecuencia de circulaciones ciclónicas sobre la misma.

Lluvias en los meses de julio a diciembre de 1912 a 1916, enero a junio de 1926 a 1930 y de enero de 1932 a junio de 1934 (2). — Las conclusiones anteriores se fundan en observaciones de los meses de octubre. Con el objeto de verificar su validez se efectuaron cálculos análogos para los períodos indicados en el epígrafe, y que en total abarcan 90 meses de observaciones (ver Cuadro I).

Los resultados confirman las relaciones que sirvieron para la interpretación de los fenómenos ensayada cuando se estudió el mes de octubre. El análisis comparativo puede verse en el siguiente cuadro de valores de  $r$ :

Correl. de An. lluv. % con	Octubre 1896-1925	N	Jul.-dic. 0912-16 En.-jun. 1926-30	N	En. 1932 Jun. 1934	N	$r_m$
An. Grd. TT. Curitiba-Madryn .....	+0.66	23	+0.44	60	—	—	+0.50
An. Grd. TT. Curitiba-Santa Cruz .....	—	—	+0.59	60	+0.39	30	+0.52
An. Grd. TT. Buenos Aires Curitiba .....	+0.62	30	+0.12	60	+0.37	30	+0.31
An. Grd. PP Madryn-Montevideo .....	+0.40	20	+0.46	60	+0.21	30	+0.38
An. Grd. PP Río Janeiro-Quixeramobim .....	—	—	—0.30	60	—0.14	30	—0.25
An. Grd. PP Santa Cruz-Evangelistas .....	+0.04	30	—0.32	60	—0.25	30	—0.21
An. Grd. PP Montevideo-Malvinas .....	+0.17	30	—0.30	60	—0.45	30	—0.21

El hecho de que las anomalías de la temperatura en Santa Cruz arrojan un  $r$  más negativo que el de Madryn, sugirió la conveniencia de utilizar el gradiente térmico Curitiba-Santa Cruz, el cual, efectivamente, ofrece una correlación ligeramente más elevada con las anomalías de la lluvia, que el gradiente Curitiba-Madryn.

En lo que respecta a las anomalías del gradiente barométrico Santiago-Evangelistas y Montevideo-Malvinas, que para los meses de octubre dieron correlaciones positivas con la lluvia, el error cuadrático de  $r_m$  resulta de

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{N_t - 1}} = \frac{1 - (0.21)^2}{\sqrt{120 - 1}} = \pm 0.088$$

con una probabilidad de que esta correlación realmente exista (3) del orden del 97 %.

Si se vuelve al Cuadro I, el examen de las correlaciones respecto a los gradientes barométricos muestra valores negativos, tanto en la circulación de los alisios sudamericanos (gradiente Río de Janeiro-Quixeramobim) como para la circulación del oeste en la zona templada. Esto significa que los excesos de lluvia en la región agropecuaria van asociados a una circulación planetaria disminuída sobre la América del Sur.

En lo que respecta a la deducción efectuada, en el sentido que los excesos de precipitación debían ir ligados a una mayor actividad frontal

2 « World Weather Records », Smithsonian Institution, Vol. 79, 90 y 105.

3 « Applied General Statistics », Croxton y Cowden, pág. 875.

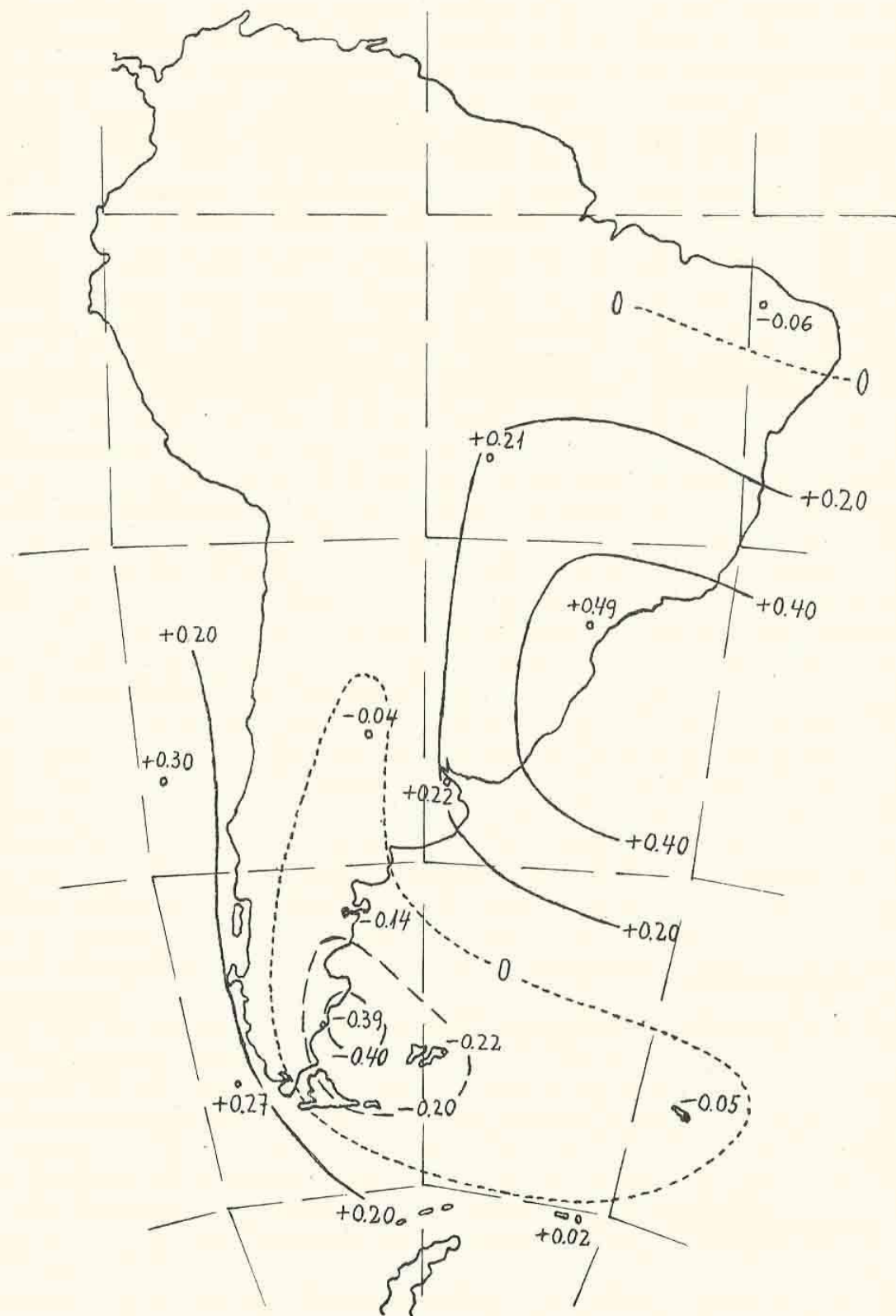


FIG. 1. — Iso líneas de correlación de An. mens. lluvia (%) Zona Agropecuaria con An. TT en diversas estaciones. (N = 60 a 90)

(frecuencia de frentes) en la zona agropecuaria, como consecuencia de las anomalías positivas de los gradientes térmicos a través de la misma, el estudio estadístico, realizado respecto a 20 meses (10 meses lluviosos y 10 secos) repartidos entre las estaciones cálida y fría, de los años 1938 a 1942 (<sup>4</sup>), proporcionó lo siguiente:

*Número promedio de días con frentes, por mes, en la zona agropecuaria argentina*

An lluvias	Fr. fríos	Fr. cal. o estac.	Total
+ 75 %	5.7	4.2	9.9
- 35 %	5.2	2.3	7.5

lo que confirma lo deducido. La diferencia es más marcada en el número de frentes calientes o estacionarios que en los frentes fríos.

En la Fig. 1 se han trazado las isolíneas de correlación entre las anomalías de lluvias y las anomalías de la temperatura.

*Las lluvias mensuales y el peso de la capa 0-3.000 metros.* — Si se tiene en cuenta que la mayoría de los fenómenos que dan origen a las lluvias ocurren en la troposfera inferior, puede, justificadamente, suponerse que existirá una relación entre las anomalías de lluvia y las anomalías de la contribución, a la presión en superficie, de las capas de aire pertenecientes a la troposfera inferior.

De entre los años 1941, 1943 y 1945 se seleccionaron 10 meses secos y 10 meses lluviosos en la provincia de Buenos Aires (en base a los datos de Capital Federal, Dolores y Mar del Plata), deduciéndose de los "Boletines Mensuales del Tiempo", publicados por el Servicio Meteorológico Nacional, las anomalías de la presión y la temperatura en las intersecciones de paralelos y meridianos, de 5 en 5 grados, los primeros, y de 10 en 10 grados los segundos.

La anomalía de la presión media mensual a 3.000 m de altura fué calculada en base a la fórmula empírica

$$\text{An. PP (3000)} = 0.69 \text{ An. PP (sup.)} + 1.1 \text{ An. TT (sup.)}$$

(presiones en milibares y temperaturas en °C).

La anomalía del peso de la capa entre 0 y 3.000 m. es, entonces,

$$\text{An. peso capa 0 — 3000} = \text{An. PP (sup.)} - \text{An. PP. (3000)}$$

de donde

$$\text{An. peso capa} = 0.31 [\text{An. PP. (sup.)} - 1.1 \text{ An. TT (sup.)}]$$

En el cuadro que sigue se dan los valores medios de dichas anomalías, para exceso y defecto de lluvias en el norte y este de Buenos Aires:

<sup>4</sup> « Anales Climatológicos », Servicio Meteorológico Nacional, y Cartas del Tiempo.



Latitud	Longitud	Exceso	Defecto	Diferencia
25°	55°	- 2.4	+ 1.5	- 3.9
25°	65°	- 0.5	+ 2.1	- 2.6
30°	50°	- 2.6	+ 0.9	- 3.5
30°	60°	- 1.6	+ 1.0	- 2.6
30°	70°	- 0.6	+ 0.9	- 1.5
35°	55°	- 1.3	+ 0.8	- 2.1
35°	65°	- 1.0	+ 0.1	- 1.1
40°	60°	- 0.3	+ 1.2	- 1.5
40°	70°	- 1.0	- 0.8	- 0.2
45°	60°	- 0.4	+ 0.7	- 1.1
45°	70°	- 0.8	- 0.4	- 0.4
50°	70°	- 1.2	- 0.3	- 0.9
An. lluvia .....		+ 74 %	- 68 %	

Si las anomalías anteriores se vuelcan en cartas, podrá verse que para el caso de exceso de lluvias el área central del aire liviano aparece ubicada al oriente de Misiones. En el caso de defecto de precipitaciones en la provincia de Buenos Aires, el núcleo del aire pesado se encuentra al norte de Salta.

El punto que ofrece la oscilación mayor en el peso de la capa 0-3000 m, entre excesos y defectos de lluvias, es el de latitud 25° S y longitud 55° W. El cálculo de correlación entre las anomalías de peso de la capa en cuestión en el punto indicado y las anomalías de lluvias en Buenos Aires, en base a los datos de 1941, 1943 y 1945 (36 meses en total) dió:

Año .....	$r = -0.57$	(N = 36)
Verano (octubre a marzo) .....	$r = -0.32$	(N = 18)
Invierno (abril a septiembre) .....	$r = -0.66$	(N = 18)

Estos resultados son coincidentes con los hallados para la relación entre las anomalías de lluvia en la zona agropecuaria y la temperatura en Curitiba, ya que en la anomalía del peso de la capa 0-3000 m la desviación de la temperatura entra con signo negativo.

*Correlaciones múltiples de las anomalías de lluvia en la zona agropecuaria.* — En lo que antecede del presente estudio se pudo deducir y verificar la relación entre las lluvias, la actividad frontal sobre la zona agropecuaria y la circulación del aire, en especial al sur de dicha región. Es concebible, entonces, que una ecuación de regresión múltiple que tenga en cuenta dichos factores, proporcionará coeficientes de correlación importantes con las anomalías de lluvias.

Cuando se tienen en cuenta los gradientes térmicos Buenos Aires-Córdoba, Curitiba-Madryn y el gradiente barométrico Madryn-Montevideo, se obtiene, utilizando las observaciones de los meses de octubre desde 1896 a 1925, y los períodos de julio a diciembre de 1912 a 1916 y de enero a junio de 1926 a 1930, la siguiente ecuación de regresión:

$$\text{Año: An. lluv. (\%)} = 17,9 X_2 + 7,9 X_3 + 9,8 X_4 \quad r_{1,234} = 0,661 \quad (N = 90)$$

donde:

- $X_2$ : An. Grd. TT B. Aires-Córdoba  
 $X_3$ : An. Grd. PP Madryn-Montevideo  
 $X_4$ : An. Grd. TT Curitiba-Madryn.

Si se utiliza el gradiente térmico Curitiba-Santa Cruz ( $X_5$ ) en lugar del Curitiba-Madryn ( $X_4$ ), la ecuación resulta (observaciones de enero de 1932 a junio de 1934 en lugar de las de los meses de octubre):

$$\text{Año: An. lluv. (\%)} = 17.4 X_2 + 9.1 X_3 + 13.0 X_5 \quad r_{1.235} = 0.672 \quad (N = 90)$$

En cuanto a la contribución de cada variable al coeficiente de determinación total ( $r_t^2$ ), se tiene

*Coefficientes de determinación parciales  
(todo el año)*

Ecuación	$r_2^2$	$r_3^2$	$r_4^2$	$r_5^2$	$r_t^2$
$f(X_2, X_3, X_4)$ .....	0.159	0.104	0.178	—	0.441
$f(X_2, X_3, X_5)$ .....	0.107	0.106	—	0.244	0.457

donde los subíndices corresponden a las variables empleadas.

El efecto de la circulación del aire al sur de la zona agropecuaria ( $X_3$ ) es similar en ambas ecuaciones y del orden del 11 %. Cuando se emplea el gradiente térmico Curitiba-Santa Cruz, la importancia relativa del gradiente Buenos Aires-Córdoba disminuye.

Con las observaciones de julio a diciembre 1912-16 y de enero a junio 1926-30, se calcularon las ecuaciones de regresión para la estación cálida (octubre a marzo) y para la fría (abril a septiembre), obteniéndose:

$$\text{Verano: An. lluv. (\%)} = 9.8 X_2 + 10.9 X_3 + 12.0 X_4 \\ r_{1.234} = 0.610 \quad (N = 30)$$

$$\text{Invierno: An. lluv. (\%)} = 36.0 X_2 + 4.5 X_3 + 6.4 X_4 \\ r_{1.234} = 0.666 \quad (N = 30)$$

con la siguiente contribución de cada variable al coeficiente de determinación total.

*Coefficientes de determinación parciales  
(verano e invierno)*

$f(X_2, X_3, X_4)$	$r_2^2$	$r_3^2$	$r_4^2$	$r_t^2$
Verano .....	0.054	0.082	0.235	0.371
Invierno .....	0.285	0.074	0.084	0.443

Puede verse que en verano las anomalías del gradiente Buenos Aires-Córdoba ( $X_2$ ) contribuyen con un 5 % a las anomalías de lluvia, mientras que en invierno esta contribución es del 28 %.

La explicación del hecho anterior podría hallarse en la distribución

de las temperaturas medias, en verano y en invierno, al este y al oeste de la zona agropecuaria. En efecto, se tiene:

*Temperaturas medias*

	Oeste Cba., H. Renan., Victor.	Este Conc., Bs. As., P. Ind.	Diferencia
Verano (octubre a marzo) ...	21°.4	20°.9	+ 0°.5
Invierno (abril a septiembre) .	11°.6	12°.9	- 1°.3

lo que indica que, en invierno, el gradiente térmico oeste-este a través de la zona agropecuaria ( $-1^{\circ},3$ ) es favorable a la frontogénesis, cosa que no ocurre en verano.

## II. ANOMALIAS MENSUALES DE LLUVIAS EN LA REGION PATAGONICA Y COSTA CHILENA

Las lluvias en la región patagónica y en la costa sur chilena están notablemente influenciadas por la existencia de la Cordillera de los Andes, que corre de norte a sur junto a la costa del Pacífico, interponiéndose a la circulación aérea que viene del oeste.

La parte oriental del extremo austral de Sud América (zona patagónica) es una región seca y de gran variabilidad en las lluvias. La costa chilena es una región húmeda que presenta menor variabilidad.

Con el objeto de definir las anomalías de las lluvias mensuales en la Patagonia, se seleccionaron tres estaciones: Neuquén, Madryn y C. Sarmiento, estableciéndose las anomalías en porcentaje, de manera similar a la utilizada para la zona agropecuaria, es decir, sumando las precipitaciones ocurridas en el mes dado en las tres estaciones y calculando la proporción con respecto a la suma de las lluvias medias correspondientes al mes en cuestión.

Para Chile se procedió análogamente, empleando las observaciones de Valdivia, I. Guafo y Evangelistas. En ambos casos el período utilizado fué el correspondiente a los meses de julio a diciembre de 1912 a 1916 y de enero a junio de 1926 a 1930, en total 60 meses.

La cordillera, como se dijo, se interpone a la circulación del oeste, que trae aire marítimo del Pacífico, originando lluvias orográficas. El cálculo de correlación entre las anomalías del gradiente barométrico Santiago-Evangelistas y Montevideo-Malvinas, con las anomalías mensuales de las precipitaciones en la Patagonia y en la costa sur chilena, arroja los siguientes resultados:

*Correlaciones entre anomalías de gradiente barométrico y las anomalías mensuales de lluvias (precedentes y siguientes)*

An. Grd. PP entre	2 m. ant.	1 m. ant.	simul.	1 m. desp.	2 m. desp.
<i>An. lluvias (%) en la Patagonia</i>					
Santiago-Evangelistas .....	- 0.37	- 0.16	- 0.32	- 0.09	- 0.13
Montevideo-Malvinas .....	- 0.22	+ 0.21	- 0.36	- 0.15	- 0.29
<i>An. lluvias (%) en la costa sur chilena</i>					
Santiago-Evangelistas .....	+ 0.04	+ 0.04	+ 0.50	- 0.11	- 0.23
N =	40	50	60	50	40

El coeficiente de correlación (para el mismo mes) entre el gradiente barométrico Santiago-Evangelistas y las lluvias en el sur de Chile es de  $+0,50$ . En otras palabras, esto significa que a mayor gradiente (mayor convergencia) corresponden excesos de lluvia, siendo cierta la recíproca. Para la Patagonia la relación es inversa ( $r = -0,32$ ), es decir, a gradientes más intensos que la normal corresponden menores precipitaciones.

La interpretación de lo anterior lleva a concluir que esa mayor convergencia origina exceso de lluvias orográficas del lado chileno y una mayor frecuencia de aire secado por calentamiento en el descenso del lado argentino. Tradúcese esto en una menor proporción de lluvias en la Patagonia.

Si la tesis anterior es correcta, deberán observarse correlaciones positivas entre las anomalías del gradiente barométrico Santiago-Evangelistas y las anomalías de la temperatura en las estaciones al oriente de los Andes. El cálculo para los meses simultáneos arroja los siguientes valores:

An. Grd. PP Sant.-Evang. con An. TT Córdoba .....	$r = +0,34$
» » » Madryn .....	$r = +0,43$
» » » Santa Cruz .....	$r = +0,34$

cosa que confirma lo deducido: a mayor gradiente de la presión en el Pacífico, mayor frecuencia de masas de aire calentado adiabáticamente del lado argentino.

Un resultado análogo, aunque de menor magnitud absoluta, debe obtenerse al correlacionar el gradiente Montevideo-Malvinas con las temperaturas de las estaciones antes indicadas. Y, en efecto, se tiene para el mismo mes:

An. Grd. PP Montev.-Malvinas con An. TT Santa Cruz .	$r = +0,24$
» » » Madryn .....	$r = +0,18$
» » » Santa Cruz .	$r = +0,07$

Si ahora consideramos la correlación entre las anomalías del gradiente meridional del Atlántico y las anomalías de las lluvias en la Patagonia, resulta:

An. Grd. PP Montev.-Malv. con An. lluvias Patagonia ...	$r = -0,36$
---	-------------

Lo anterior significa que cuando la circulación del oeste es inferior a la normal y por lo tanto la frecuencia de masas aéreas de origen marítimo Atlántico es mayor, llueve más en la Patagonia.

### III. LAS ANOMALIAS TERMICAS MENSUALES

El estudio comprende la investigación de las áreas de correlación asociadas a las anomalías de la temperatura media mensual de cuatro estaciones pilotos: Curitiba, Córdoba, Santa Cruz y Orcadas.

Se utilizaron doce estaciones, distribuidas en América del Sur y sus vecindades, las que comprendieron Georgia del Sur — o isla de San Pedro — (Arg.), Orcadas (Arg.), Evangelistas (Ch.), Malvinas (Arg.), Santa Cruz (Arg.), Madryn (Arg.), Juan Fernández (Ch.), Córdoba (Arg.), Buenos Aires (Arg.), Curitiba (Br.), Cuyabá (Br.) y Quixeramobin (Br.).

Los resultados se apoyan en observaciones de 90 meses, habiéndose determinado las correlaciones entre las anomalías mensuales de la temperatura en las estaciones pilotos con las anomalías en las estaciones citadas, desde el mes simultáneo hasta dos meses después (véase el Cuadro II).

CUADRO II. — *Coefficientes de correlación de las anomalías térmicas mensuales en Curitiba, Córdoba, Santa Cruz y Orcadas, con las anomalías térmicas siguientes en varias estaciones*

ESTACIONES	Simult.	1 m. desp.	2 m. desp.	Simult.	1 m. desp.	2 m. desp.
	<i>Curitiba</i>			<i>Córdoba</i>		
Georgia .....	-0.23	-0.08	-0.28	-0.10	+0.03	+0.15
Orcadas .....	-0.21	+0.03	-0.06	-0.31	+0.07	+0.14
Evangelistas .....	-0.04	+0.13	+0.09	-0.02	+0.10	+0.17
Malvinas .....	-0.25	-0.10	-0.02	-0.02	0.00	+0.10
Santa Cruz .....	-0.31	-0.06	-0.11	+0.07	-0.02	+0.08
Madryn .....	-0.08	-0.14	-0.12	+0.53	+0.08	+0.08
Juan Fernández .....	+0.06	-0.13	-0.11	+0.42	+0.05	+0.17
Córdoba .....	+0.17	-0.08	-0.02	+1.00	+0.22	+0.09
Buenos Aires .....	+0.30	-0.05	-0.09	+0.79	+0.22	-0.04
Curitiba .....	+1.00	+0.22	+0.17	+0.17	-0.01	-0.18
Cuyabá .....	+0.53	+0.12	+0.30	+0.44	-0.10	-0.26
Quixeramobim .....	-0.04	+0.01	+0.03	+0.04	+0.04	+0.16
	<i>Santa Cruz</i>			<i>Orcadas</i>		
Georgia .....	+0.31	+0.09	+0.12	+0.62	+0.21	-0.10
Orcadas .....	+0.18	-0.07	-0.04	+1.00	+0.20	-0.09
Evangelistas .....	+0.28	-0.15	-0.16	+0.08	+0.07	-0.05
Malvinas .....	+0.52	+0.20	-0.02	+0.44	+0.33	+0.05
Santa Cruz .....	+1.00	+0.16	+0.29	+0.19	+0.11	-0.04
Madryn .....	+0.49	+0.07	+0.29	-0.08	+0.12	0.00
Juan Fernández .....	-0.12	-0.11	-0.08	-0.12	-0.04	+0.01
Córdoba .....	+0.07	+0.12	+0.22	-0.31	+0.08	-0.03
Buenos Aires .....	+0.10	+0.07	+0.22	-0.23	+0.02	+0.07
Curitiba .....	-0.31	-0.06	-0.24	-0.21	+0.15	+0.24
Cuyabá .....	-0.26	+0.01	-0.23	-0.37	-0.04	+0.07
Quixeramobim .....	+0.02	+0.03	+0.05	-0.22	-0.18	-0.14
Nº de meses .....	90	79	68	90	79	68

Si se grafican en una carta las isolíneas de correlación (meses simultáneos), podrá notarse la existencia de áreas positivas extensas centradas en la estación piloto. En el caso de Santa Cruz, las isolíneas aparecen apretadas hacia el oeste y distanciadas hacia el este. Así se tiene que  $r(\text{S.Cz.}-\text{J.F.}) = -0,12$ ;  $r(\text{S.Cz.}-\text{Ev.}) = +0,28$ ;  $r(\text{S.Cz.}-\text{Malv.}) = +0,52$  y  $r(\text{S.Cz.}-\text{Ggia.}) = +0,31$ ; indicando que los fenómenos asociados a las anomalías térmicas en esa estación ocurren con preferencia sobre el Atlántico Sur. Para Orcadas la distribución es más regular, teniéndose  $r(\text{Orc.}-\text{Ggia.}) = +0,62$  y  $r(\text{Orc.}-\text{Malv.}) = 0,44$ .

Ligadas a las áreas de correlación positiva (anomalías térmicas que tienden a marchar en fase), las isolíneas de correlación para el mismo mes muestran dominios negativos (áreas donde las anomalías tienden a presentar fases invertidas). Estos dominios se distribuyen con orientación general norte-sur y a unas 2.000 millas de distancia entre sí, de manera tal que cuando las anomalías son positivas en el norte (Curitiba

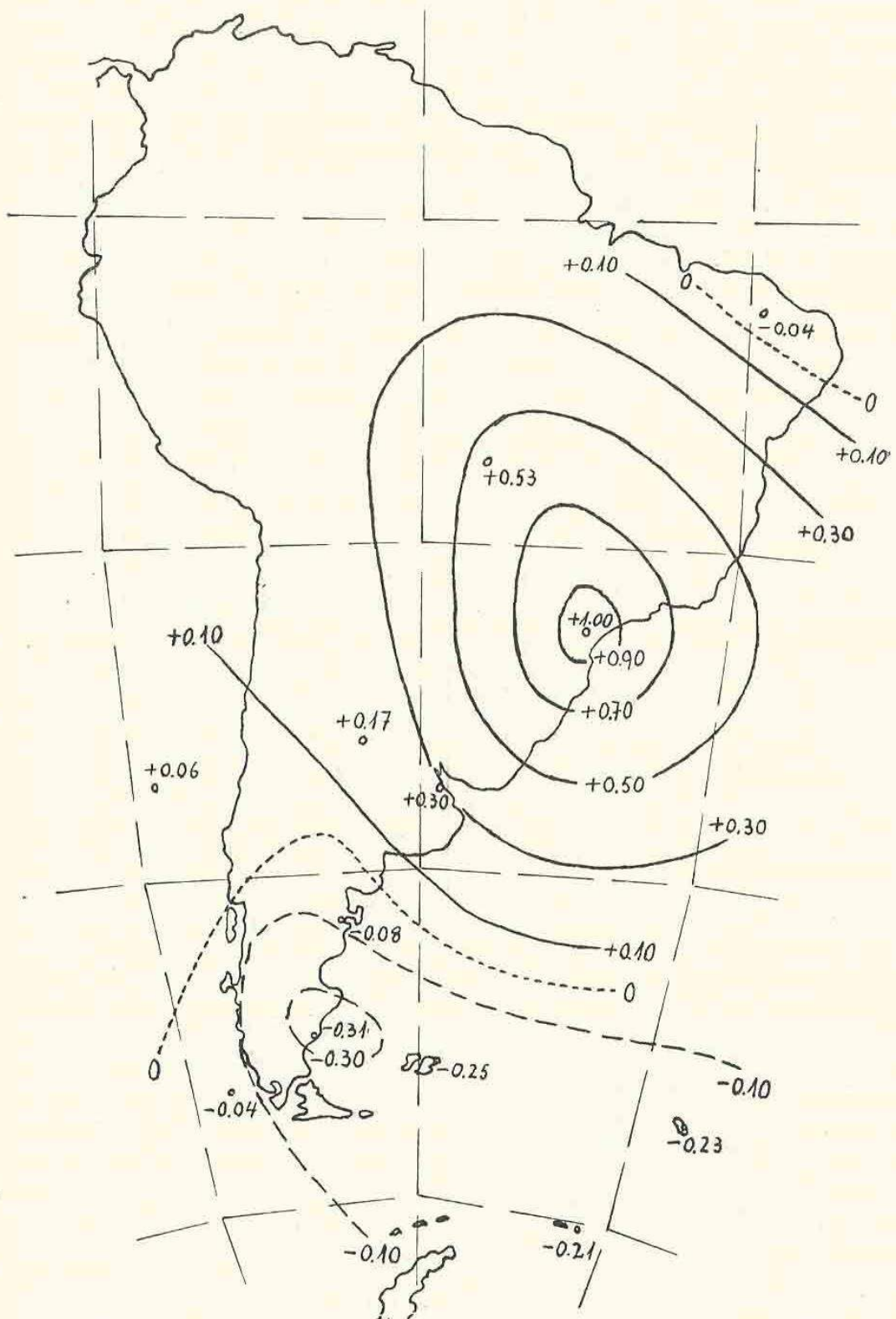


FIG. 2. — Correlaciones de An. TT en Curitiba con An. TT en diversas estaciones (mes simult. N = 90);

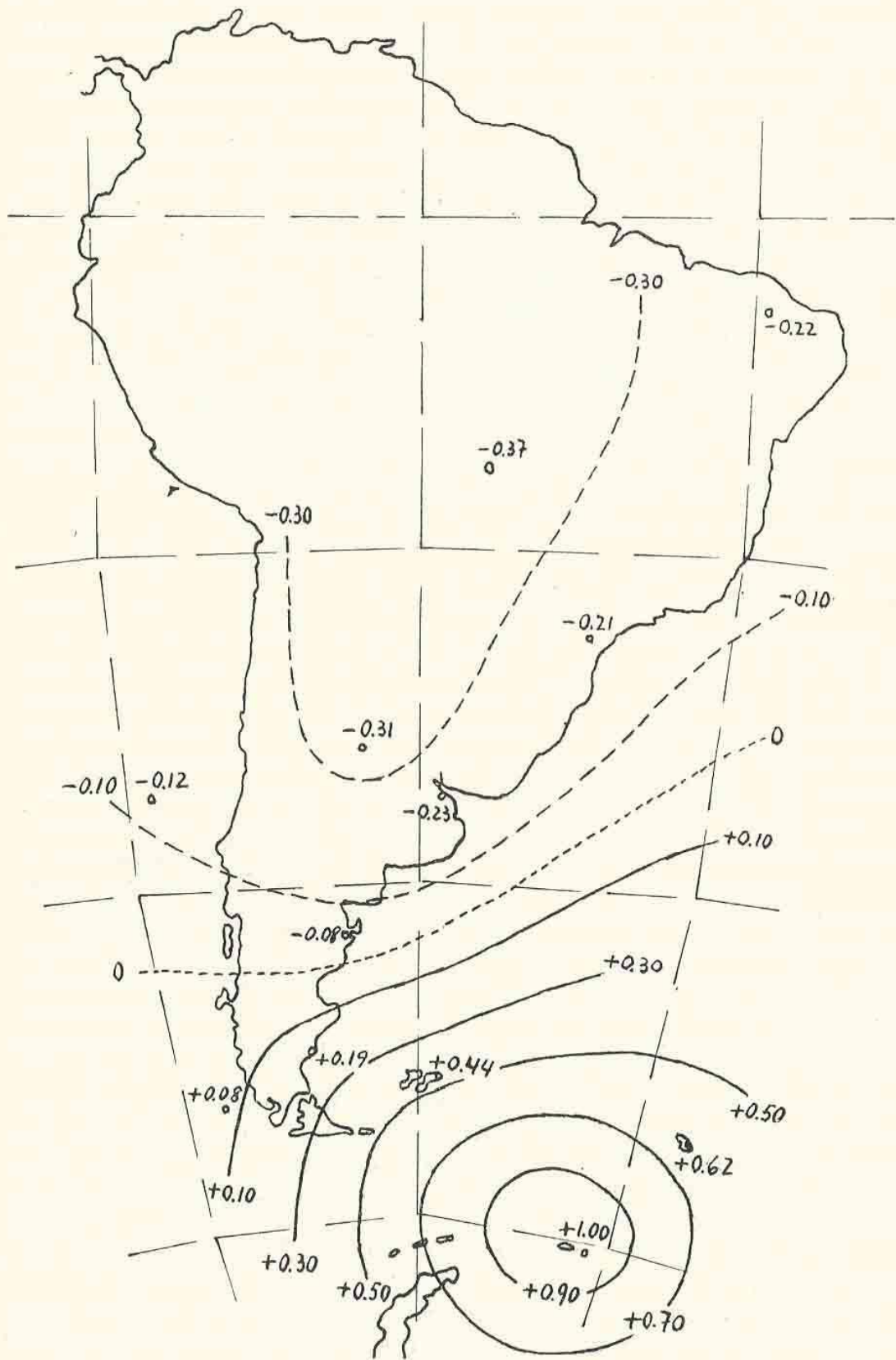


FIG. 3. — Correlaciones en Orcadas con An. TT en diversas estaciones (mes simult., N = 90).

y Córdoba) se registran anomalías térmicas negativas en el sur y, a la recíproca, a valores positivos en el sur (Santa Cruz y Orcadas) corresponden desvíos negativos en las temperaturas en el norte. En las Figs. 2 y 3 se muestran las isolíneas de correlación correspondientes a Curitiba y Orcadas como estaciones piloto.

La existencia de tales dominios negativos (anomalías de fase invertida) asociados a los dominios positivos (anomalías térmicas en fase) que corresponden a cada estación piloto, parece señalar la existencia de efectos a gran distancia, estadísticamente constantes, y que señalan un fenómeno o relación en el comportamiento de la atmósfera.

Salvo para el caso de Orcadas, los valores de los coeficientes de correlación no son suficientemente altos, para intervalos de 1 y 2 meses, como para verificar la existencia de una onda de correlación que se desplace en el espacio. El análisis de las isolíneas de correlación entre las anomalías de la temperatura en Orcadas y las anomalías en las demás estaciones, uno y dos meses después, parece revelar la existencia de una onda tal, que marcha sobre el mar con rumbo sur a norte.

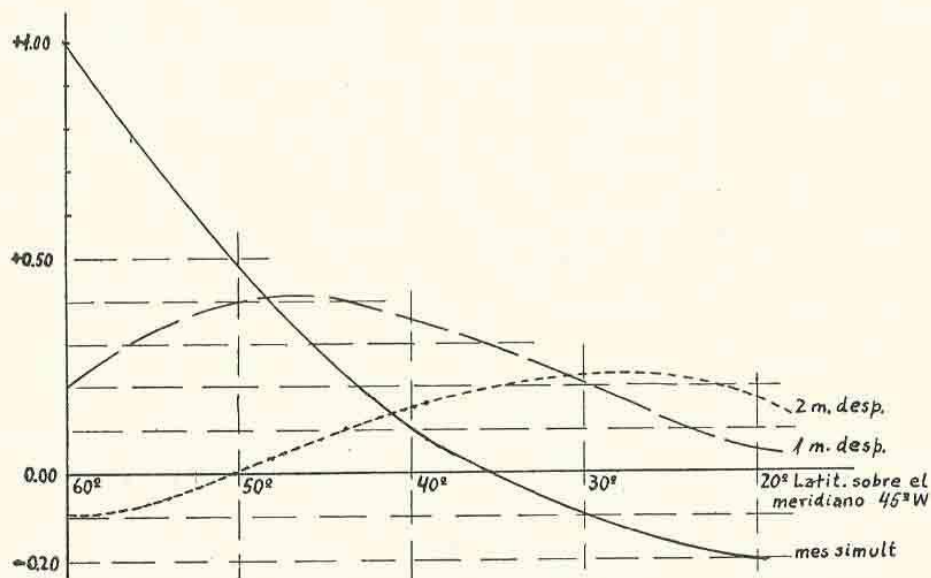


FIG. 4. — Propagación de la onda de correlación asociada a An. TT Orcadas (90 meses de observaciones).

En la Fig. 4 se han graficado los valores de  $r$  en función de la latitud, a lo largo del meridiano  $45^{\circ}\text{W}$ , para 0, 1 y 2 meses después. Las curvas muestran una cresta de la onda de correlación (con Orcadas como estación piloto) que se mueve hacia el norte amortiguándose rápidamente. El valor de  $r$  en la cresta es  $+1,00$  (latit.  $60^{\circ}\text{S}$ ) para el mes 0;  $+0,42$  un mes después (latit.  $47^{\circ}\text{S}$ ) y  $+0,22$  el mes subsiguiente (latitud  $29^{\circ}\text{S}$ ).

En lo que respecta a las autocorrelaciones, el coeficiente medio, para un mes de intervalo, es de  $+0,20$ , lo que indica que las anomalías de la temperatura de un mes dado, sólo son responsables del 4 % de la magnitud de la anomalía del mes siguiente, es decir, un efecto de persistencia pequeño. Cuando el intervalo es de dos meses,  $r = +0,12$  en promedio, lo que equivale a un efecto del 1,4 %.



*Las variaciones de las anomalías de la temperatura.* — La presencia de dominios de correlación de signo negativo, con respecto al signo correspondiente a las anomalías de las diversas estaciones piloto, indujo a suponer la existencia de una oscilación térmica en la atmósfera. De existir dicha oscilación, ella debía manifestarse también a través de la correlación entre las variaciones de las anomalías. A tal efecto se seleccionaron 120 meses de observaciones (julio de 1912 a diciembre de 1914, enero de 1925 a junio de 1927, enero de 1932 a junio de 1934 y de julio de 1937 a diciembre de 1939).

En el Cuadro III figuran los resultados del cálculo de correlación efectuado, tomando como estaciones piloto a Curitiba, Juan Fernández y Orcadas. El análisis de los valores contenidos en el cuadro indica:

a) Que la autocorrelación de las variaciones de las anomalías de las temperaturas medias mensuales en Curitiba, Juan Fernández y Orcadas arroja valores de  $r$  muy parecidos para cada intervalo de tiempo.

b) Que la distribución de los valores de  $r$ , en las autocorrelaciones señaladas, corresponde a los de una oscilación libre amortiguada.

c) Que a las áreas de correlación asociadas a cada estación piloto, corresponden áreas de correlación de signo contrario en regiones alejadas unas 2.000 millas de distancia.

d) Que el eje que une las dos áreas de referencia tiende a orientarse en sentido norte-sur (entre NNE-SSO y NNO-SSE).

En el caso de Curitiba como estación piloto, el núcleo de variaciones con signo contrario a las de Curitiba aparece centrado en el extremo austral de Sur América (con  $r = -0,33$  para Santa Cruz) y el área se extiende desde Isla Guafo hasta Georgia del Sur (San Pedro). En el mes siguiente los signos se invierten, apareciendo sobre la región de Curitiba un dominio negativo y, entre Santa Cruz y Georgia, uno positivo. En los meses siguientes los coeficientes de correlación son ya muy pequeños (ninguno excede de 0,20), pero la oposición de signos entre la zona de Curitiba y el extremo sur del continente se mantiene.

Las isocorrelaciones de  $r$ , correspondientes a Juan Fernández como estación piloto, muestran el área negativa asociada con centro entre Orcadas y Malvinas (distancia entre áreas unas 1.800 millas marinas). El núcleo correspondiente a Juan Fernández parece desplazarse lentamente hacia el este, cambiando de signo a cada mes y disminuyendo el valor absoluto de  $r$  de la manera antes indicada. En efecto, un mes después se encuentra sobre la costa chilena, a la altura de Valparaíso, con un  $r$  central de  $-0,40$  y dos meses más tarde aparece ubicado en el sur de San Luis ( $r = +0,20$ ).

Cuando se analiza la marcha de las líneas de isocorrelación ligadas a Orcadas, el área negativa se forma entre la costa chilena y Juan Fernández, con un  $r$  central del orden de  $-0,45$ .

Los fenómenos anteriores definen lo que podemos llamar la "oscilación térmica sudamericana", expresando bajo esta locución el efecto inverso que producen, sobre las variaciones de las anomalías térmicas mensuales en la zona circumpolar, los fenómenos que dan lugar a las variaciones de temperatura en la región subtropical, y recíprocamente.

El cálculo de la autocorrelación de las variaciones mencionadas en las

CUADRO III.— *Coficientes de correlación entre las Variaciones de las Anomalías Térmicas mensuales en Curitiba, Juan Fernández y Orcadas y las Variaciones de las Anomalías Térmicas siguientes en varias estaciones.*

Estaciones	ESTACIONES PILOTO											
	Curitiba				Juan Fernández				Orcadas			
	Simult.	1 mes después	2 meses después	3 meses después	Simult.	1 mes después	2 meses después	3 meses después	Simult.	1 mes después	2 meses después	3 meses después
Georgia .....	-0.25	+0.18	-0.03	-0.05	-0.35	+0.23	-0.09	+0.13	+0.64	-0.10	-0.17	-0.11
Orcadas .....	-0.21	+0.12	+0.02	-0.12	-0.42	+0.21	+0.08	-0.01	+1.00	-0.32	-0.27	+0.07
Santa Cruz .....	-0.33	+0.13	+0.06	-0.08	-0.10	+0.07	+0.01	+0.05	+0.35	-0.15	+0.01	-0.08
Isla Guafo .....	-0.27	-0.08	+0.15	-0.03	+0.31	-0.18	+0.09	-0.05	-0.26	+0.11	-0.11	+0.08
J. Fernández .....	+0.04	-0.03	+0.03	-0.14	+1.00	-0.39	-0.03	+0.01	-0.42	+0.11	+0.03	+0.05
Córdoba .....	+0.23	-0.22	-0.01	+0.04	+0.41	-0.27	+0.18	-0.11	-0.33	+0.14	+0.05	+0.04
Curitiba .....	+1.00	-0.42	-0.18	+0.17	+0.04	+0.02	-0.05	+0.10	-0.21	+0.13	+0.06	-0.05
N .....	116	112	108	104	116	112	108	104	116	112	108	104

estaciones pilotos (Curitiba, Juan Fernández y Orcadas) fué extendido hasta un intervalo de 7 meses en adelante, obteniéndose los resultados que se dan a continuación ( $r_M$  es el valor medio de los tres coeficientes de correlación y  $N$  el número total de meses utilizados para determinar  $r_M$ ).

*Autocorrelación de las variaciones de las anomalías de las temperaturas medias mensuales*

$t$ (meses)	Curitiba $r$	J. Fernández $r$	Orcadas $r$	$r_M$	$N$
0	+ 1.00	+ 1.00	+ 1.00	+ 1.00	348
1	- 0.42	- 0.39	- 0.32	- 0.38	336
2	- 0.18	- 0.03	- 0.27	- 0.16	324
3	+ 0.17	+ 0.01	+ 0.07	+ 0.08	312
4	- 0.07	+ 0.06	+ 0.13	+ 0.04	300
5	+ 0.09	- 0.16	- 0.13	- 0.07	288
6	- 0.14	+ 0.03	- 0.05	- 0.05	276
7	+ 0.13	+ 0.05	+ 0.10	+ 0.09	264

En la Fig. 5 se han representado los valores individuales de  $r$  y la curva correspondiente a  $r_M$ . De su examen se deduce:

- a) Una oscilación amortiguada inicial que desaparece entre dos y tres meses después del mes 0.
- b) Una oscilación periódica que se manifiesta con mayor claridad desde el tercer mes en adelante.

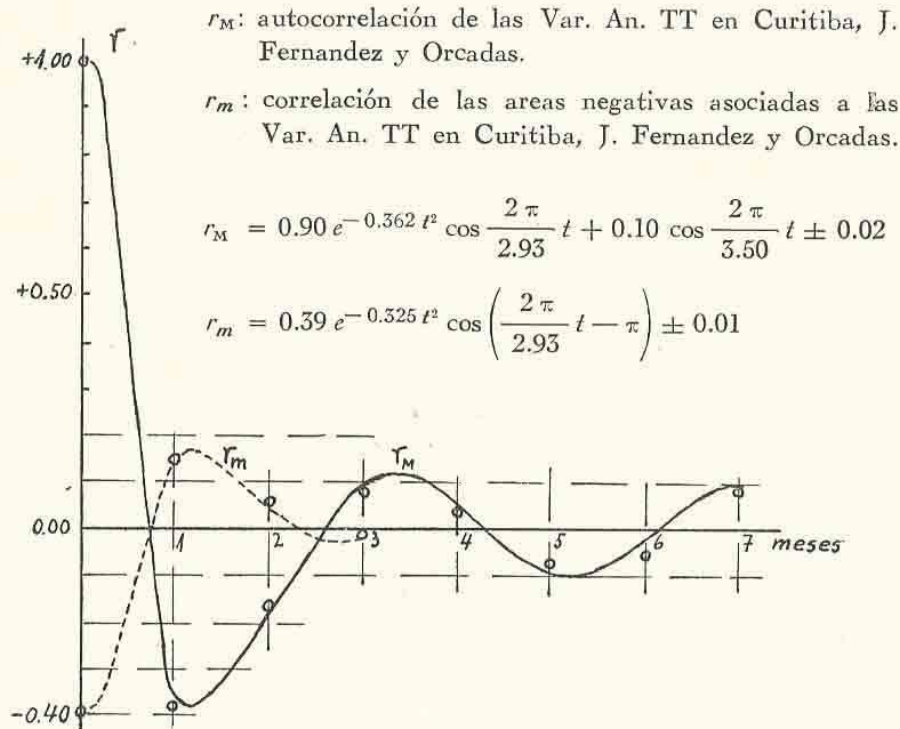


FIG. 5.

La oscilación mencionada en b) podría ser propia de la circulación atmosférica general. Su período es de unos 3,5 meses ( $w_2 = 103^\circ$ ) y su elongación de 0,10, siendo su intervalo de fase 0 cuando  $t = 0$  y representable por una función cosenoidal.

La oscilación amortiguada resulta también cosenoidal y, en el exponente de la parte exponencial, debe intervenir el cuadrado del tiempo, dada la propiedad de simetría de las autocorrelaciones con respecto al tiempo 0 (los valores de  $r$  son iguales, para un intervalo dado, cuando se correlaciona con las observaciones precedentes o siguientes).

En resumen, la expresión de  $r$  es del tipo:

$$r_M = a \cdot e^{bt^2} \cos \omega_1 t + c \cdot \cos \omega_2 t$$

Como  $c$  y  $\omega_2$  pueden deducirse fácilmente del examen del gráfico, podemos hacer

$$r_M - c \cdot \cos \omega_2 t = r'_M = a \cdot e^{bt^2} \cos \omega_1 t$$

y mediante la representación de  $r_M$  en función de  $t$ , se deduce que el período de la oscilación amortiguada es de 2,93 meses, es decir  $\omega_1 = 123^\circ$ , cuando  $t = 0$  es  $r'_M = 0,90 = a$ .

Tomando logaritmos queda

$$\lg r'_M = \lg a + b \cdot t^2 \lg e + \lg \cos \omega_1 t$$

y utilizando para el cálculo de  $b$  los valores de  $r$  correspondientes a los meses 0, 1 y 2, ya que desde el tercer mes en adelante el efecto de la onda amortiguada es despreciable, se obtiene un valor medio de

$$b = -0.362$$

con lo que la ecuación queda

$$r_M = 0.90 e^{-0.362 t^2} \cos \frac{2\pi}{2.93} t + 0.10 \cos \frac{2\pi}{3.50} t$$

( $t$  en meses), cuyo error medio es de  $\pm 0,02$ .

En la ecuación anterior, el segundo miembro representa una oscilación libre de las variaciones de las anomalías térmicas mensuales, aparentemente propia de la atmósfera (la probabilidad de que realmente exista una correlación entre los meses 0 y 7 es del 85 %). Su influencia en el coeficiente de autocorrelación, en las elongaciones máximas y mínimas (0,10) significa que su máxima contribución a las variaciones de las anomalías es del 1 %.

El primer término representa el efecto medio ligado a los fenómenos que dan origen a las variaciones particulares de las anomalías de la temperatura. En concreto, significa que en el 62 % de los casos ( $r = -0,36$ ) a una variación determinada de la anomalía sigue, un mes después, una variación de signo contrario y que este último signo persiste en las variaciones de dos meses más tarde con una probabilidad del 55 %. El primer término indica, además, la presunción de que los fenómenos que son causantes de las variaciones de la temperatura sufren un amortiguamiento exponencial.

En lo que se refiere a las áreas de correlación negativa (variaciones térmicas de signo opuesto) asociadas a las variaciones de las estaciones piloto, se seleccionaron las tres estaciones que arrojaban coeficientes ne-

gativos de mayor magnitud, promediándose sus valores a objeto de tener la representación media de la marcha de  $r$  en el tiempo. En el Cuadro que sigue se da el detalle de lo expuesto.

*Coefficientes de correlación entre Var. An. TT en las estaciones piloto y las Var. An. TT en las estaciones más próximas a las áreas negativas asociadas*

$t$ (meses)	Curitiba-S. Cruz	Orcad-J. Fern.	J. Fern.-Orcadas	$r_m$	N
0	— 0.33	— 0.42	— 0.42	— 0.39	348
1	+ 0.13	+ 0.11	+ 0.21	+ 0.15	336
2	+ 0.06	+ 0.03	+ 0.08	+ 0.06	324
3	— 0.08	+ 0.05	— 0.01	— 0.01	312

Graficando los valores de  $r_m$  en función de  $t$  (Fig. 5), se obtiene una oscilación amortiguada de período  $T = 2,93$  meses.

La expresión formular de  $r_m$  es

$$r_m = 0.39 e^{-0.325 t^2} \cos \left( \frac{2\pi}{2.93} t - \pi \right)$$

con un error medio, respecto a los  $r_m$  observados, de  $\pm 0,01$ .

Cuando se comparan los valores del decremento en ambas ecuaciones de regresión, puede notarse que son muy parecidos. Para la expresión de  $r_M$  se tiene  $-0,362$  y para  $r_m$  es  $-0,325$ . Además, los períodos de la onda amortiguada son iguales, 2,93 meses, estando la única diferencia en el coeficiente  $a$ , que es 0,90 para  $r_M$  y 0,39 para  $r_m$ .

El cálculo de correlación entre (valores observados):

$$r_m \text{ y } r'_M = r_M - 0.10 \cos \frac{2\pi}{3.50} t$$

arroja un valor de  $-0,998$ , hecho que señala una ligazón directa inversa y un vínculo rígido entre ambas curvas de valores de  $r$ .

Los resultados anteriores permiten ensayar la siguiente interpretación: los fenómenos que dan lugar a variaciones en las anomalías térmicas mensuales en la región sudamericana subtropical (o subpolar) producen, las dos terceras partes de las veces variaciones inversas en la zona subpolar (o subtropical) sudamericana, amortiguándose estos efectos exponencialmente con el cuadrado del tiempo, de manera tal que se extinguen entre dos y tres meses después.

*Las anomalías térmicas mensuales en relación con la frecuencia de los vientos y la nubosidad.* — De entre los diversos factores que pueden modificar las anomalías de las temperaturas medias mensuales se consideraron, para su estudio, dos de ellos, las anomalías de la frecuencia de las direcciones de los vientos y las de la nubosidad. En el primer caso, la frecuencia de advecciones en superficie de aire proveniente de zonas más, o menos frías, significa, en el promedio mensual, una anomalía térmica. En el segundo caso, la mayor o menor nubosidad con respecto

CUADRO IV<sub>3</sub> — Cuadro analítico de las ecuaciones de regresión de las anomalías de las temperaturas medias mensuales en función de las anomalías de la frecuencia de los vientos de los cuadrantes del sur y de la nubosidad (3 observaciones diarias)  
(An.  $TT = a \cdot An. Fr. Vtos. cuads. S. + b \cdot An. Nub.$ )

Estación	Latit.	Epoca	a	b	$r_a^2$	$r_b^2$	$r_t^2$	r	TT <sub>m</sub>	Fr. m. vtos. cuads. S	Nub. m	Alt. s/n mar	N
Rivadavia .....	24°	Verano .....	-0.127	-0.114	0.421	0.046	0.467	0.68	27° 0	39	4.4	207	30
Formosa .....	26°	Verano .....	-0.015	-0.452	0.042	0.130	0.172	0.42	26° 0	42	4.4	65	30
Córdoba .....	31°	Verano .....	-0.058	-0.462	0.214	0.130	0.344	0.59	21° 7	31	4.7	426	30
		Invierno .....	-0.033	-0.100	0.070	0.009	0.079	0.28	13° 6	30	5.2		30
Chos Malal .....	37°	Verano .....	+0.026	-0.753	0.014	0.279	0.293	0.54	17° 9	21	3.9	819	30
		Invierno .....	+0.007	+0.012	0.001	0.000	0.001	0.02	7° 9	12	5.4		30
Balcarce .....	38°	Verano .....	-0.126	-0.232	0.450	0.069	0.519	0.72	18° 0	40	5.1	113	30
		Invierno .....	-0.098	+0.230	0.309	0.037	0.346	0.59	9° 9	41	6.0		30
Santa Cruz .....	50°	Verano .....	-0.047	+0.126	0.030	0.000	0.030	0.17	12° 5	46	6.2	11	30
		Invierno .....	-0.148	+0.552	0.412	0.004	0.416	0.65	4° 4	38	6.0		30
Orcadas .....	61°	Verano .....	-0.084	+0.536	0.481	0.033	0.514	0.72	— 0° 9	38	9.2	5	30
		Invierno .....	-0.242	+2.210	0.481	0.123	0.604	0.78	— 9° 4	42	8.5		30
Little America ....	79°	Verano .....	-0.323	+2.270	0.072	0.456	0.528	0.73	— 16° 4	59	6.9	9	12
		Invierno .....	+0.175	+4.380	— 0.058	0.912	0.854	0.93	— 33° 5	68	5.4		12

a la normal, altera el balance de insolación, de radiación desde la base de las nubes y de irradiación desde el suelo.

Con los valores extractados de los "Anales Climatológicos" publicados por el Servicio Meteorológico Nacional, se efectuó un cálculo previo de ecuaciones de regresión lineal para Córdoba, Santa Cruz y Orcadas,

$$X_1 = a X_2 + b X_3$$

donde

$X_1$ : anomalía térmica mensual

$X_2$ : anomalía mensual de la frecuencia de los vientos provenientes de los cuadrantes del sur (tres observaciones diarias)

$X_3$ : anomalía de la nubosidad media mensual.

El valor de  $X_2$  fué determinado de la siguiente manera:

$$X_2 = \frac{1}{2} n_E + n_{SE} + n_S + n_{SO} + \frac{1}{2} n_O$$

donde  $n$ : número de veces en que el viento sopló de la dirección indicada en el subíndice.

Los períodos utilizados para el cálculo de las ecuaciones de regresión cubren desde enero de 1928 a junio de 1930 y desde julio de 1934 a diciembre de 1936, clasificando el año en las dos instancias, verano (de octubre a marzo) e invierno (de abril a septiembre). Cada ecuación de regresión fué calculada en base a 30 meses de observaciones.

Del estudio de las ecuaciones calculadas para las tres estaciones citadas (Cuadro IV) se determinó:

a) Que el término en  $X_2$  (advección del aire en superficie) era el de mayor contribución a las anomalías térmicas mensuales (a mayor frecuencia de vientos provenientes de los cuadrantes del sur, menor temperatura).

b) Que el coeficiente  $b$  del término en  $X_3$  (anomalía de la nubosidad media mensual) es negativo cuando las temperaturas medias son elevadas, y positivo cuando éstas son bajas. En Orcadas, en invierno, cuando las islas quedan dentro del hielo marino del mar de Weddell,  $b = +2,21$ .

El fenómeno anterior, en primer análisis sugiere:

1. Que el efecto de las anomalías de la nubosidad sobre el balance radiativo de insolación, radiación hacia tierra desde la base de las nubes e irradiación del suelo al espacio, depende de la temperatura media en superficie. Cuando la temperatura media es alta, la menor insolación, por exceso de nubosidad, no es compensada por la mayor radiación desde la base de las nubes y la temperatura tiende a presentar anomalías negativas. Cuando las temperaturas medias son bajas, una mayor nubosidad (y por lo tanto, mayor cantidad de radiación proveniente de la base de las nubes) produce, a pesar del defecto de insolación, anomalías positivas en la temperatura.

2. El análisis de los valores de  $r_n^2$  (contribución de la nubosidad a las anomalías de la temperatura), especialmente para Orcadas que du-

rante el invierno queda dentro del mar helado, induce a suponer, como es lógico, que la calidad del suelo y situación topográfica relativa del lugar ejercen influencia sobre los valores del coeficiente  $b$  (efecto de la nubosidad).

Si se grafican los valores de  $b$  de invierno y verano de las tres estaciones nombradas, se obtiene una distribución de los puntos que aparenta una curva exponencial. En dicha curva es  $b = 0$  cuando  $TT_m = 13^\circ\text{C}$ ; es decir, que cuando  $TT_m > 13^\circ$  un aumento de nubosidad se traduce en tendencia a anomalías térmicas negativas, y cuando  $TT_m < 13^\circ$  ocurre el caso inverso, de anomalías positivas.

Lo anunciado anteriormente implicaba que para estaciones cuyas temperaturas medias de verano e invierno excedieran o quedaran debajo, respectivamente, de  $13^\circ$ , debía verificarse un cambio de signo en el coeficiente  $b$ .

El cálculo fué completado ampliando el número de estaciones utilizadas, incluyendo estaciones de diferentes características topográficas y otras en la circunstancia señalada en el párrafo anterior.

El Cuadro IV contiene el resumen de los cálculos efectuados (algunas de las regresiones fueron calculadas en base al período enero de 1931 a diciembre de 1935, 30 meses de observaciones por ecuación). Para Little América (Antártida) se utilizaron los registros de las expediciones del Almirante Byrd de 1929 y 1934 (12 meses de observaciones por ecuación), extraídos del Supplement N° 41 to the *Monthly Weather Review*, U. S. Weather Bureau, 1939.

Puede observarse que para aquellos lugares en que  $TT_m > 13^\circ\text{C}$  en verano y  $TT_m < 13^\circ$  en invierno, el coeficiente  $b$  cambia de signo. Se tiene así que en

Chos Malal, en verano:	$TT_m = 17^\circ.9$	y	$b = -0.753$
»	»	»	invierno: $TT_m = 7^\circ.9$
Balcarce, »	verano:	$TT_m = 18^\circ.0$	y $b = -0.232$
»	»	invierno:	$TT_m = 9^\circ.9$ y $b = +0.230$

En cuanto a los coeficientes  $a$  (efecto de la advección en superficie), con la excepción de Chos Malal y de Little América en invierno, una mayor frecuencia de vientos de los cuadrantes del sur se traduce en una tendencia a anomalías térmicas negativas, como es lógico esperar en el hemisferio sur. En lo que respecta a Chos Malal, puede presumirse que la conformación orográfica en sus proximidades es tal que conduce a obtener anomalías positivas asociadas a mayor frecuencia de vientos del sur. Puede notarse, además, en este caso, que la contribución de la frecuencia de los vientos a las desviaciones de la temperatura media mensual es pequeña (1,4 % en verano y 0,1 % en invierno).

En lo que se refiere a Little América la situación es distinta pues la contribución de la advección en superficie resulta negativa ( $-5,8\%$ ), o en otras palabras, un coeficiente de correlación parcial imaginario. Puede atribuirse ello a que el cálculo de correlación múltiple determina los coeficientes que dan el mejor ajuste, independientemente de las relaciones causales de los agentes físicos.



Cabe considerar, además, que hemos elegido los dos cuadrantes del sur (SO y SE) como representativos de la advección de aire frío. Es posible que para determinadas estaciones no sea éste el caso y que pudieran obtenerse mejores correspondencias utilizando otros cuadrantes.

Volviendo a los efectos de la nubosidad, la curva exponencial calculada para  $b$  en base a las observaciones de Córdoba, Santa Cruz y Orcadas, da valores de  $b$  demasiado grandes cuando las  $TT_m$  son muy bajas. En consecuencia, se determinó, utilizando el total de estaciones que figuran en el Cuadro IV, una nueva ecuación de tipo hiperbólico que presenta buenos ajustes entre  $-40^\circ\text{C}$  y  $+30^\circ\text{C}$ :

$$b = \frac{33.5 + TT_m}{-9.75 - 0.084 TT_m} + 4.38$$

la cual ha sido representada en la Fig. 6, junto con los valores individuales de  $b$  que sirvieron para calcularla.

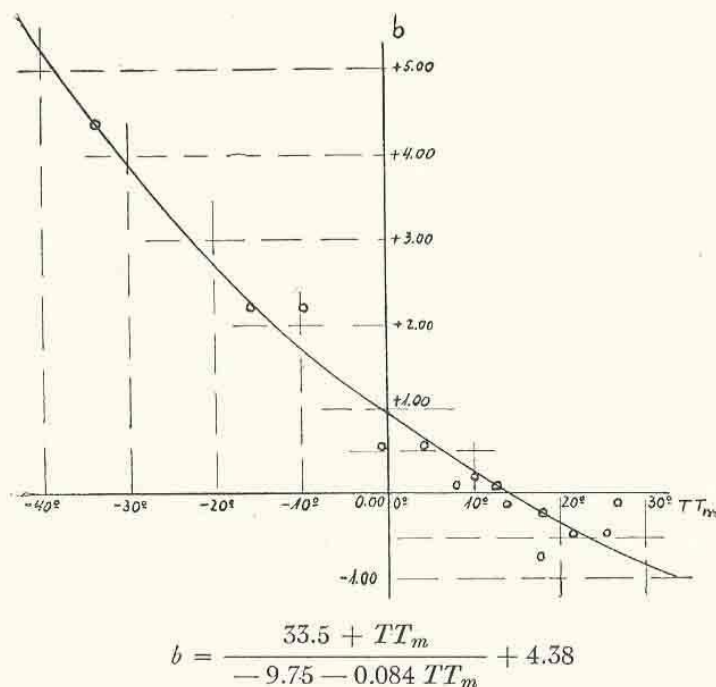


FIG. 6. — Valores del coeficiente  $b$  en función de la  $TT_m$ .

Puede notarse que  $b = 0$  cuando  $TT_m = 14,5^\circ$ , siendo interesante advertir que este valor de  $TT_m$  es muy próximo <sup>(5)</sup> al de la temperatura media de la superficie de la Tierra ( $14^\circ$ ).

La media de los coeficientes de determinación parciales, correspondientes al término en anomalías de la nubosidad es

$$r_b^2 \text{ (medio)} = 0.16 \quad \text{y} \quad r_b = 0.40$$

es decir que las anomalías de la nubosidad son responsables, en término medio, de un 16 % de las anomalías de la temperatura (si se excluye a Little América, el valor resulta de un 7 %).

<sup>5</sup>BARRY, BOLLAY y BEERS. — « Handbook of Meteorology », 1945, pág. 933.

En lo que respecta a las anomalías de la frecuencia de los vientos (advección en superficie), el coeficiente medio de determinación parcial es

$$r_a^2 (\text{medio}) = 0.20 \quad \text{y} \quad r_a = 0.45$$

de donde resulta que las anomalías de la advección en superficie contribuyen en un 20 % a las anomalías de la temperatura.

El coeficiente medio de determinación total es 0,37 y  $r_t = 0,61$ . En consecuencia se deduce que, en promedio, el 37 % de las desviaciones de la temperatura media mensual puede ser 'explicado' por las anomalías de advección y de nubosidad. El resto, un 63 %, es atribuible a otras causas.

*Las anomalías de la temperatura y las anomalías de la presión y de gradiente barométrico.* — Se seleccionaron cuatro estaciones, para las cuales se calcularon las anomalías de la presión (julio a diciembre de 1912 a 1916 y enero a junio de 1926 a 1930, 60 meses en total), ubicadas en zonas representativas de la circulación planetaria en América del Sur: Quixeramobim en la región ecuatorial, Montevideo en el borde del anticiclón permanente del Atlántico, Malvinas próxima al lecho de los ciclones circumpolares y Orcadas en la región antártica.

Las anomalías mensuales de la temperatura en Curitiba, Córdoba, Santa Cruz y Orcadas, fueron correlacionadas con las desviaciones de la presión en las estaciones indicadas en el párrafo anterior, desde dos meses antes hasta dos meses después respecto de la fecha de las anomalías térmicas (ver Cuadro V).

CUADRO V. — *Coefficientes de correlación de las anomalías de las temperaturas medias mensuales con las anomalías de la presión precedentes y siguientes en varias estaciones*

An. PP en	Intervalo	Anomalía TT en:							
		Curitiba	N	Córdoba	N	S. Cruz	N	Orcadas	N
Quixeramobim .	2 m. ant.	+0.13	68	-0.06	68	-0.06	68	+0.07	40
	1 m. ant.	+0.07	79	-0.20	79	-0.02	79	+0.19	50
	Simult.	+0.18	90	-0.02	90	+0.10	90	+0.12	60
	1 m. desp.	+0.08	79	-0.15	79	+0.17	79	+0.17	50
	2 m. desp.	+0.05	68	-0.07	68	+0.14	68	+0.26	40
Montevideo ...	2 m. ant.	+0.02	40	+0.13	40	-0.07	40	-0.15	68
	1 m. ant.	+0.06	50	+0.16	50	-0.04	50	-0.13	79
	Simult.	-0.53	60	-0.25	60	+0.16	60	+0.20	90
	1 m. desp.	+0.03	50	-0.11	50	-0.16	50	-0.26	79
	2 m. desp.	-0.24	40	-0.10	40	+0.21	40	+0.04	68
Malvinas .....	2 m. ant.	+0.05	40	-0.04	40	-0.15	40	-0.14	68
	1 m. ant.	+0.20	50	+0.06	50	-0.21	50	-0.04	79
	Simult.	-0.12	60	-0.33	60	+0.01	60	+0.35	90
	1 m. desp.	+0.05	50	-0.13	50	-0.22	50	-0.15	79
	2 m. desp.	+0.15	40	-0.10	40	-0.05	40	-0.04	68
Orcadas .....	2 m. ant.	+0.04	40	0.00	68	+0.03	40	-0.11	40
	1 m. ant.	-0.15	50	+0.21	79	+0.24	50	-0.05	50
	Simult.	-0.14	60	-0.10	90	+0.16	60	+0.14	60
	1 m. desp.	-0.08	50	-0.04	79	+0.04	50	-0.24	50
	2 m. desp.	+0.24	40	-0.08	68	-0.01	40	-0.23	40

Cuando los cálculos dieron coeficientes iguales o mayores de 0,30 en valor absoluto, se verificaron los cómputos con el período enero de 1932 a junio de 1934. Salvo para ciertos casos de observaciones simultáneas, en general los valores de los coeficientes son demasiado pequeños como para justificar relaciones causales directas.

En cuanto a la correlación de valores simultáneos, ella acusa el efecto lógico de relaciones físicas en el sentido siguiente:

a) Cuando las presiones son superiores a la normal en estaciones que se encuentran al norte, las anomalías de la temperatura son positivas en las estaciones ubicadas al sur (mayor frecuencia de advecciones de masas de aire más caliente). Se tiene así que

Correl. An. PP Mont.-An. TT S. Cruz .....  $r = +0.16$   
 » » » Malv.-An. TT. Orc. ....  $r = +0.35$

b) Cuando las presiones son superiores a la normal en estaciones que se encuentran al sur, las anomalías de la temperatura son negativas en las estaciones ubicadas al norte (mayor frecuencia de advecciones de aire más frío). En efecto,

Correl. An. PP Mont.-An. TT Curit. ....  $r = -0.53$   
 » » » Mont.-An. TT Córdoba .....  $r = -0.25$   
 » » » Malv.-An. TT Córdoba .....  $r = -0.33$

Los cómputos anotados resultan coincidentes con las correlaciones determinadas en el acápite anterior, entre las anomalías de la temperatura y las anomalías de la frecuencia de los vientos de los cuadrantes del sur.

CUADRO VI.— Coeficientes de correlación de las anomalías de las temperaturas medias mensuales con las anomalías de gradiente barométrico precedentes y siguientes entre varias estaciones

An. Grd. PP entre	Intervalo	Anomalía TT en							
		Curitiba	N	Córdoba	N	S. Cruz	N	Orcadas	N
R. Jan.-Quixer..	2 m. ant.	-0.22	68	+0.09	40	+0.09	68	+0.08	40
	1 m. ant.	-0.10	79	+0.17	50	-0.14	79	-0.10	50
	Simult.	-0.55	90	+0.07	60	+0.19	90	+0.16	60
	1 m. desp.	-0.17	79	+0.06	50	-0.08	79	-0.08	50
	2 m. desp.	-0.37	68	+0.06	40	+0.10	68	-0.02	40
Montev.-Malv..	2 m. ant.	-0.07	68	+0.06	40	+0.11	40	+0.07	68
	1 m. ant.	-0.14	79	+0.02	50	+0.21	50	-0.03	79
	Simult.	-0.05	90	+0.24	60	+0.07	60	-0.29	90
	1 m. desp.	-0.02	79	+0.09	50	+0.17	50	+0.03	79
	2 m. desp.	-0.13	68	+0.06	40	+0.17	40	+0.07	68
Sant.-Evang. ...	2 m. ant.	-0.17	40	+0.02	68	+0.17	68	+0.21	40
	1 m. ant.	0.00	50	+0.08	79	+0.20	79	-0.13	50
	Simult.	-0.08	60	+0.34	90	+0.34	90	-0.04	60
	1 m. desp.	-0.20	50	-0.08	79	+0.28	79	+0.19	50
	2 m. desp.	-0.02	40	+0.07	68	+0.12	68	-0.21	40
Guafo-Mdyn. ...	2 m. ant.	—	—	+0.30	68	+0.15	68	—	—
	1 m. ant.	—	—	-0.08	79	+0.19	79	—	—
	Simult.	—	—	+0.01	90	+0.31	90	—	—
	1 m. desp.	—	—	+0.10	79	+0.27	79	—	—
	2 m. desp.	—	—	+0.09	68	+0.41	68	—	—

En lo que respecta al análisis de las anomalías térmicas en relación con las de los gradientes barométricos, como medio definidor de la circulación planetaria, se siguió un procedimiento similar. Las anomalías de las temperaturas medias mensuales en las estaciones ya mencionadas fueron correlacionadas con las anomalías de gradientes barométricos Río de Janeiro-Quixeramobim ( alisios sobre la costa sudamericana), Santiago-Evangelistas (circulación del oeste en la costa del Pacífico) y Montevideo-Malvinas (circulación del oeste en el Atlántico), volcándose sus resultados en el Cuadro VI.

Análogamente al caso de las presiones, las correlaciones superiores a 0,30 en valor absoluto, fueron verificadas con las observaciones del período enero de 1932 a junio de 1934 y han sido incluidas en el Cuadro VI.

En lo que se refiere a las correlaciones correspondientes a meses simultáneos, se verifica que las temperaturas altas en Curitiba van ligadas a una circulación disminuída ( $r = -0,55$ ) en los alisios sudamericanos, o sea un porcentaje de vientos de los sectores del oeste mayor que el normal. Esto implica mayor frecuencia de aire proveniente del interior del continente. El cuadro que sigue muestra las circunstancias relativas de temperatura, latitud y altura sobre el nivel del mar, de algunas estaciones con respecto a Curitiba:

	Corumbá			Asunción			Curitiba		
	TT <sub>m</sub>	Latit.	Altit.	TT <sub>m</sub>	Latit.	Altit.	TT <sub>m</sub>	Latit.	Alt.
Verano (oct.-marzo).	26,7	19°	145	27,5	25°	64	18,6	25°	908
Invierno (abril-sep.)	23,4			21,0			14,2		

Para Córdoba y Santa Cruz se tienen correlaciones positivas entre las anomalías de la temperatura y los gradientes que definen la circulación del oeste, tanto en el Pacífico como en el Atlántico. Esto es especialmente cierto para el gradiente Santiago-Evangelistas, que da  $r = +0,34$  tanto para Córdoba como para Santa Cruz. En el primer caso, Córdoba, ello es atribuible a una mayor frecuencia de vientos del norte como resultado de un gradiente meridional intenso, y para Santa Cruz, como consecuencia de una mayor frecuencia de masas secadas y calentadas por descenso al oriente de los Andes.

Para Orcadas, la correlación de las temperaturas con el gradiente Montevideo-Malvinas ofrece un valor negativo,  $r = -0,29$ , lo que induce a concluir que una actividad intensificada de los ciclones polares provoca, en Orcadas, una mayor proporción de vientos de los cuadrantes del sur.

El examen de los coeficientes de correlación del Cuadro VI, para las anomalías de los gradientes que siguen a las anomalías de la temperatura, no arroja valores de consideración, salvo para el caso de Curitiba, que tiene un  $r = -0,37$  en su ligazón con las anomalías del gradiente Río de Janeiro-Quixeramobim dos meses después. La probabilidad de que esta correlación exista en la realidad es mayor del 99 % ; es decir, que a temperaturas superiores a la normal en Curitiba siguen, general-

mente, dos meses después, gradientes barométricos disminuídos entre Río de Janeiro y Quixeramobim.

Si se observan los signos de los coeficientes de correlación de las anomalías térmicas en Curitiba y en Santa Cruz con los tres gradientes barométricos empleados (meses simultáneos), podrá notarse que estos signos están en oposición: positivos para Santa Cruz y negativos para Curitiba. Esto tiende a mostrar, bajo un nuevo aspecto, el fenómeno que habíamos observado y estudiado antes, de oposición en las anomalías de la temperatura en las estaciones nombradas.

En el Cuadro VI aparecen también las correlaciones entre las anomalías térmicas en Córdoba y Santa Cruz con el gradiente barométrico Isla Guafo-Madryn, que define la circulación del aire desde el sur sobre la Cordillera y Patagonia Central. Puede advertirse que, para meses simultáneos, se tiene un coeficiente  $r = +0,31$  con respecto a las temperaturas en Santa Cruz. Esto aparentemente señalaría una contradicción, ya que asociaría un mayor flujo de aire del sur a temperaturas más altas que la normal.

El hecho anterior sugiere que, análogamente a los resultados que se obtuvieron en un trabajo anterior (<sup>6</sup>), una intensificación de la circulación del oeste sobre la costa del Pacífico, en las medias mensuales, conduce también a la intensificación de la vaguada dinámica sobre la Patagonia y, hallándose Santa Cruz al oriente de esta vaguada, el resultado es un mayor flujo de aire desde los sectores del norte sobre dicha estación, y por lo tanto, temperatura media más elevada.

A efectos de comprobar lo dicho se realizaron dos cálculos de correlación, uno entre An. Grd. *PP* Guafo-Madryn y las An. *TT* Madryn, que dió  $r = +0,16$ , lo que tiende a confirmar el resultado obtenido con respecto a Santa Cruz, y el otro, entre An. Grd. *PP* Santiago-Evangelistas y An. Grd. *PP* Guafo-Madryn, con  $r = +0,48$ , que asocia los grandes gradientes meridionales en la costa del Pacífico con gradientes positivos transversales a la Patagonia, o sea presiones bajas al oriente de los Andes. Tales resultados confirmarían la hipótesis enunciada y explicarían la asociación de temperaturas más altas que la normal en la patagónica a gradientes positivos transversales a la misma (mayor flujo de aire desde el sur).

En efecto, según se verá más adelante, el gráfico (Fig. 9) de las anomalías medias de la presión en la zona austral de Sud América, correspondiente a 16 casos (1932 a 1938) de intensos gradientes barométricos mensuales entre Santiago y Evangelistas (An. Grd. medio = + 5,7 mb.), muestra una vaguada sobre territorio argentino, cuyo eje pasa un poco al oriente de Córdoba, a unos 100 km al oeste de Trelew y a unos 200 km a occidente de Santa Cruz. Significa ello una mayor frecuencia de vientos del NO sobre Madryn y Santa Cruz, especialmente en este último lugar. La anomalía del gradiente medio Guafo-Madryn resulta de + 0,8 mb.

<sup>6</sup> DÍAZ, EMILIO L. — «El efecto dinámico de la Cordillera de los Andes y el aislamiento de la acción perturbadora regional y superior». METEOROS, III, Nº 1, enero-marzo, 1953, págs. 7 a 30.

IV. — LAS ANOMALIAS DE LOS GRADIENTES TERMICOS MENSUALES  
CURITIBA-MADRYN Y BUENOS AIRES-CORDOBA

Las anomalías de los gradientes térmicos mensuales entre las estaciones indicadas en el título, fueron correlacionadas con las anomalías de la temperatura (desde dos meses antes) en una serie de estaciones sudamericanas, con las anomalías de la presión en Quixeramobim, Montevideo, Malvinas y Orcadas (desde dos meses antes hasta dos meses después) y con las anomalías de los gradientes circulatorios de los alisios, y del oeste en el Atlántico y en el Pacífico (iguales intervalos que para la presión).

El interés de este estudio radica, entre otros aspectos, en el hecho de ser los gradientes referidos factores importantes en el control de las lluvias sobre la zona agropecuaria argentina y, asimismo, en el de permitir definir anomalías en la distribución de las temperaturas en Sud América, susceptibles de arrojar luz sobre los fenómenos asociados a la circulación atmosférica.

*Las anomalías de los gradientes térmicos y de las temperaturas.* — El Cuadro VII ofrece los resultados de los cálculos de correlación, habiéndose graficado en las Figs. 7 y 8 las isolíneas correspondientes a meses simultáneos.

CUADRO VII. — *Coefficientes de correlación de las anomalías mensuales de los gradientes térmicos Curitiba-Madryn y Buenos Aires-Córdoba con las anomalías de temperatura precedentes en varias estaciones.*

Estaciones	An. Grd. TT Curit.-Madryn			An. Grd. TT Bs. As.-Cba.		
	2 m. ant.	1 m. ant.	Simult.	2 m. ant.	1 m. ant.	Simult.
Georgia .....	+ 0.06	+ 0.07	- 0.17	+ 0.01	- 0.28	- 0.18
Orcadas .....	+ 0.19	+ 0.09	- 0.12	+ 0.22	- 0.03	+ 0.15
Evangelistas .....	- 0.12	+ 0.14	- 0.24	- 0.03	+ 0.08	+ 0.30
Malvinas .....	- 0.30	0.00	- 0.57	- 0.06	- 0.10	+ 0.03
Santa Cruz .....	- 0.40	- 0.07	- 0.65	- 0.16	- 0.20	- 0.13
Madryn .....	- 0.19	- 0.07	- 0.81	- 0.05	+ 0.07	- 0.02
J. Fernández .....	+ 0.01	- 0.09	- 0.26	+ 0.25	+ 0.39	+ 0.23
Córdoba .....	- 0.19	- 0.14	- 0.31	- 0.19	- 0.09	- 0.43
Buenos Aires .....	- 0.05	- 0.07	- 0.26	- 0.08	+ 0.20	+ 0.22
Curitiba .....	+ 0.20	+ 0.17	+ 0.77	- 0.02	+ 0.10	+ 0.16
Cuyabá .....	+ 0.22	- 0.01	+ 0.32	- 0.27	- 0.14	- 0.12
Quixeramobim .....	+ 0.22	+ 0.07	+ 0.07	+ 0.09	- 0.20	- 0.23
An. Grd. TT Buenos Aires-Curitiba .....	+ 0.21	+ 0.11	+ 0.11	+ 0.16	+ 0.40	+ 1.00
An. Grd. TT Curitiba-Madryn .....	+ 0.26	+ 0.15	+ 1.00	+ 0.02	+ 0.01	+ 0.11
N .....	40	50	60	40	50	60

En lo que atañe a las áreas de correlación asociadas a las anomalías del gradiente Curitiba-Madryn, la Fig. 7 ilustra dos amplios dominios, uno negativo con centro en el Golfo de San Jorge ( $r$  menor de  $-0,80$ ), que extiende su influencia sobre toda la República y en ambos océanos, hasta más allá de Juan Fernández en el Pacífico y hasta Georgia del

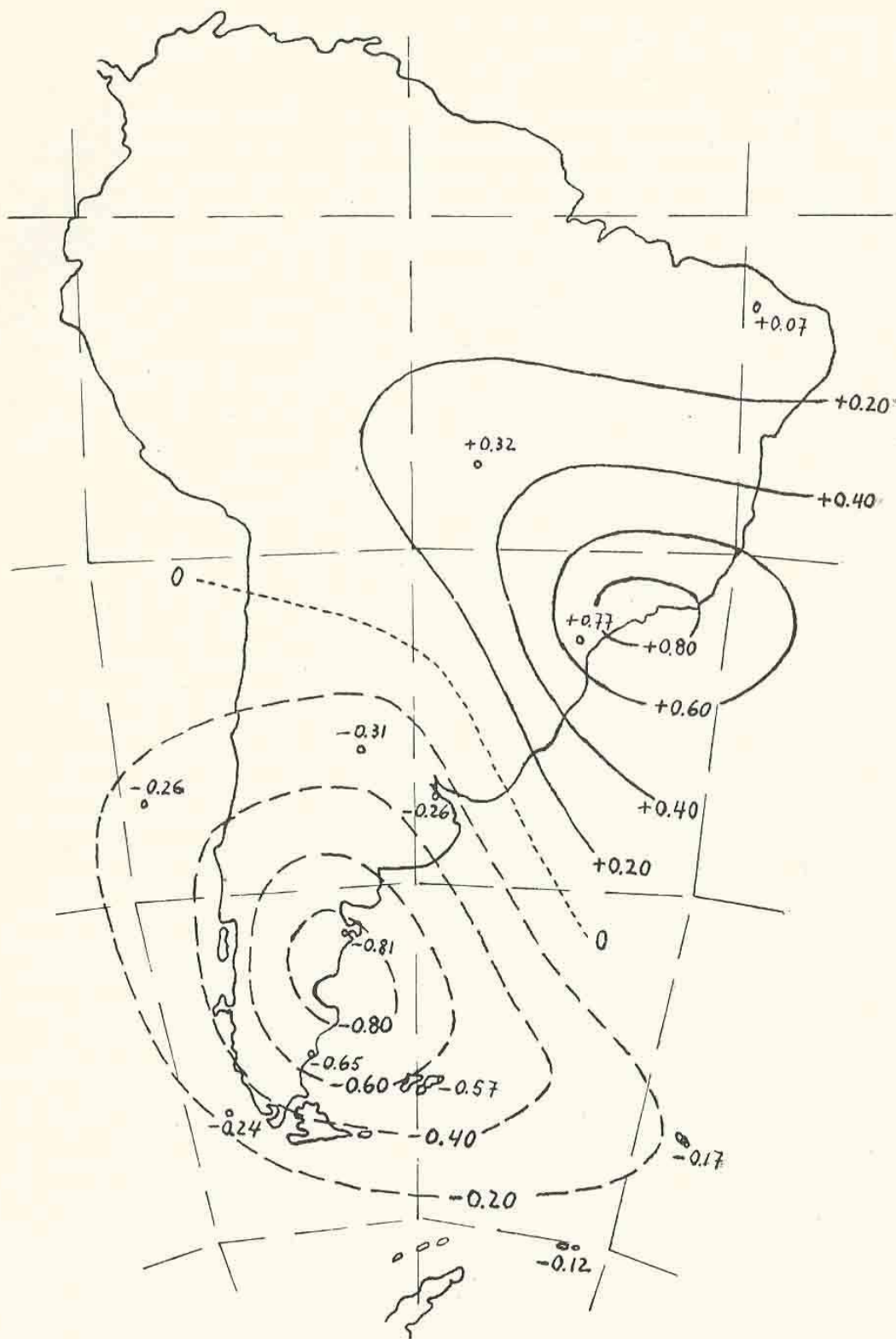


FIG. 7. — Correlaciones de An. Grd. TT Curitiba-Madryn con An. TT en diversas estaciones (mes simult. N = 60).

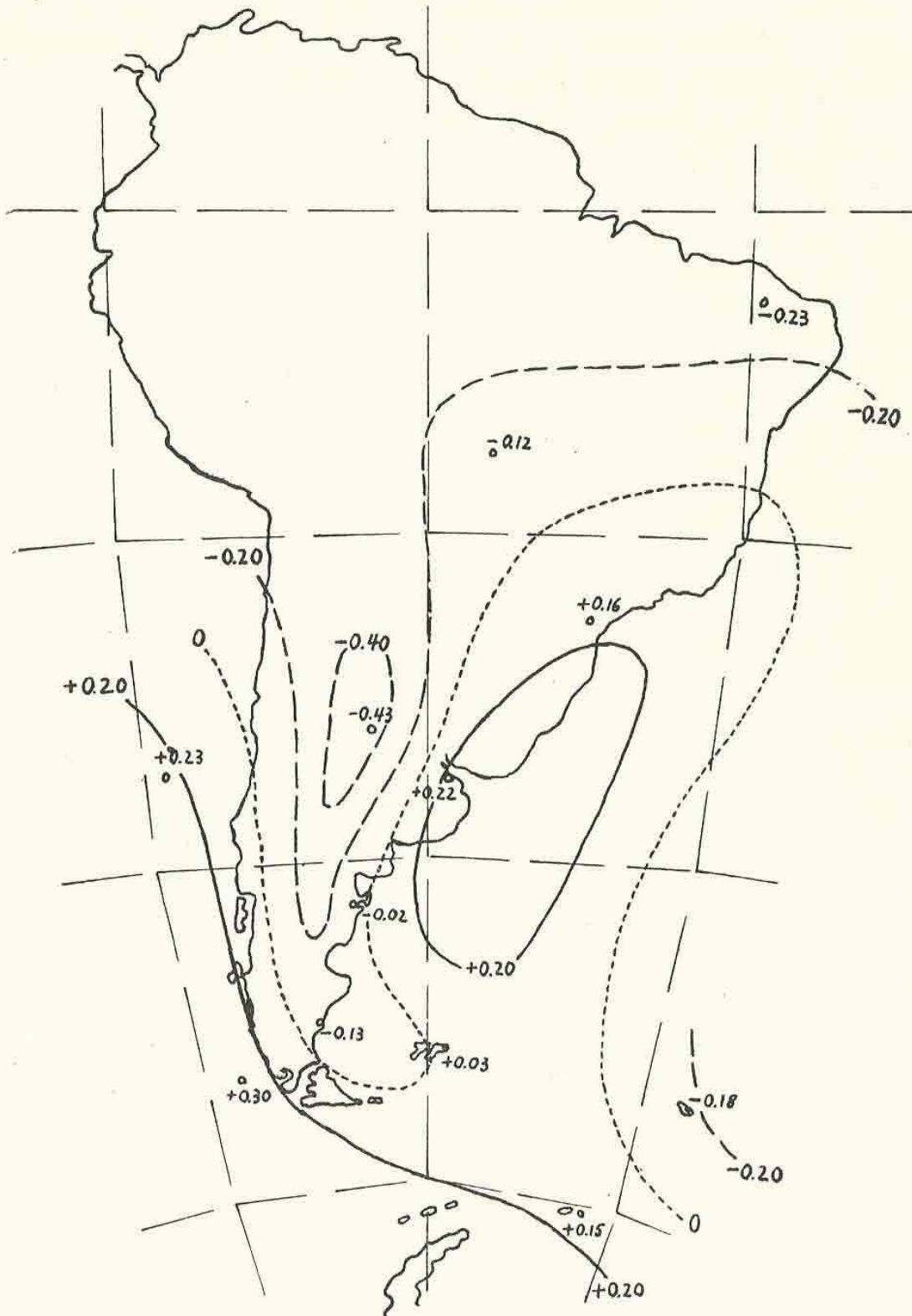


FIG. 8. — Correlaciones de An. Grd. TT Buenos Aires-Córdoba con An. TT en diversas estaciones (mes simult. N = 60).



Sur y Orcadas en el Atlántico, y un área positiva ( $r$  aproximadamente igual a  $+0,80$ ), centrada algo al oeste de Río de Janeiro y que domina el Brasil.

La correlación con las anomalías de los dos meses precedentes presenta una morfología parecida en la distribución de los dominios de correlación, aunque con valores absolutos de  $r$  sensiblemente inferiores al caso de simultaneidad. Desde el punto de vista del campo correlatorio, la ligazón simultánea de las anomalías de la temperatura con las del gradiente térmico aparece como una intensificación de una situación preexistente. Por otra parte, las autocorrelaciones de las anomalías del gradiente térmico resultan positivas.

Las isolíneas de correlación de la Fig. 8, que corresponden al gradiente térmico Buenos Aires-Córdoba, señalan, para el mismo mes, un dominio negativo con centro en la región mediterránea argentina ( $r = -0,45$ ), mientras que en ambos océanos aparecen áreas de correlación positiva. Las cartas correspondientes a intervalos de uno y dos meses de anticipación, en las anomalías de la temperatura, indican morfologías parecidas a la de simultaneidad.

Si se comparan las Figs. 7 y 8 con la Fig. 1, que muestra las isolíneas de correlación ligadas a las anomalías de lluvias en la zona agropecuaria, se advierte que ésta es una composición de las Figs. 7 y 8. A excesos de lluvias corresponden temperaturas superiores a la normal en el Pacífico y en el Atlántico (al norte de los  $40^{\circ}$  S), como para el caso de gradientes térmicos Buenos Aires-Córdoba positivos. Además, se tienen en la Patagonia y Océano Atlántico Sur temperaturas inferiores a la media, y superiores a la normal en el Brasil oriental, como en el caso de los gradientes positivos entre Curitiba y Madryn.

*Las anomalías de los gradientes de temperatura y las anomalías de los gradientes circulatorios y de la presión.* — En el Cuadro VIII se dan las correlaciones entre las anomalías de los gradientes térmicos y las desviaciones de los gradientes barométricos y de la presión, desde dos meses antes hasta dos meses después, respecto de los gradientes térmicos.

Dicho cuadro muestra que las anomalías positivas van acompañadas de gradientes circulatorios inferiores a lo normal (valores de  $r$  negativos), o en otras palabras, acompañados de presiones comparativamente altas en las regiones ecuatorial y circumpolar, dado que la zona de referencia es la cintura anticiclónica subtropical.

Si se analizan los resultados en conjunto surge:

a) Que la correlación negativa ( $-0,43$ ) entre el gradiente térmico Curitiba-Madryn y el gradiente barométrico Río de Janeiro-Quixeramobim, más que a presiones altas en Quixeramobim se debe a un debilitamiento del anticiclón del Atlántico (con An. *PP* Mont.  $r = -0,29$ ).

b) Criterio análogo vale para la relación entre An. Grd. *TT* Curitiba-Madryn con An. Grd. *PP* Montevideo-Malvinas ( $r = -0,19$ ), ya que la correlación con An. *PP* Montevideo es  $-0,29$  y con An. *PP* Malvinas  $+0,01$ .

En cuanto al gradiente térmico Buenos Aires-Córdoba, aun cuando también está ligado inversamente a la circulación atmosférica ( $r$  negativos), la situación es diferente a la del caso anterior:

CUADRO VIII. — Coeficientes de correlación de las anomalías de los gradientes térmicos mensuales Curitiba-Madryn y Buenos Aires-Córdoba con las anomalías de los gradientes barométricos y de la presión precedentes y siguientes entre y en diversas estaciones.

An. Grd. PP	Anomalías gradientes TT				Anomalías PP	Anomalías gradientes TT				Intervalo (meses)
	Curit.-Madryn.	N	B. Aires-Córd.	N		Curit.-Mdyn.	N	B. Aires-Córd.	N	
R. Jan.-Quixeram...	-0.20	68	-0.10	68	+0.03	68	+0.12	68	2 m. ant.	
	-0.05	79	-0.19	79	0.00	79	+0.42	79	1 m. ant.	
	-0.43	90	-0.28	90	-0.02	90	+0.33	90	Simult.	
	-0.05	79	-0.30	79	+0.02	79	+0.29	79	1 m. desp.	
	-0.22	68	-0.40	68	+0.01	68	+0.56	68	2 m. desp.	
Montev.-Malvinas ..	-0.18	68	-0.14	68	-0.04	68	0.00	40	2 m. ant.	
	-0.08	79	-0.01	79	-0.01	79	-0.12	50	1 m. ant.	
	-0.19	90	-0.41	90	-0.29	90	+0.02	60	Simult.	
	-0.03	79	-0.04	79	+0.05	79	-0.11	50	1 m. desp.	
	-0.16	68	+0.03	68	-0.07	68	-0.06	40	2 m. desp.	
Santiago-Evangel. ...	-0.23	68	-0.13	68	+0.13	40	+0.16	68	2 m. ant.	
	-0.04	79	+0.06	79	+0.15	50	-0.07	79	1 m. ant.	
	-0.33	90	-0.12	90	+0.01	60	+0.57	90	Simult.	
	-0.13	79	+0.02	79	+0.15	50	+0.03	79	1 m. desp.	
	-0.12	68	-0.06	68	+0.14	40	-0.03	68	2 m. desp.	
					+0.07	68	-0.10	40	2 m. ant.	
					-0.19	79	-0.12	50	1 m. ant.	
					+0.02	90	+0.24	60	Simult.	
					-0.02	79	-0.04	50	1 m. desp.	
					+0.24	68	-0.23	40	2 m. desp.	

a) La correlación negativa ( $r = -0,28$ ) entre An. Grd. *TT* Buenos Aires-Córdoba y An. Grd. *PP* Río de Janeiro-Quixeramobim, no es afectada por la intensidad del anticiclón del Atlántico (la correlación con An. *PP* Montevideo es de  $+0,02$ ), sino por las anomalías de la presión en la zona ecuatorial ( $r = +0,33$  para Quixeramobim).

b) Similarmente, el  $r = -0,41$  entre An. Grd. *TT* Buenas Aires-Córdoba y An. Grd. *PP* Montevideo-Malvinas responde a las desviaciones de la presión en Malvinas ( $r = +0,37$ ).

La intensificación de los gradientes térmicos, asociada a una disminución de la circulación atmosférica, es un resultado lógico a esperar, ya que al decrecer el intercambio de aire las diferencias de temperaturas tienden a ser más marcadas. Las comprobaciones anteriores pueden sintetizarse así:

*La intensificación de los gradientes térmicos va asociada a una disminución de la circulación atmosférica en América del Sur. En el caso del gradiente latitudinal (Curitiba-Madryn), ello obedece principalmente a un debilitamiento del anticiclón del Atlántico, y en el caso del gradiente mediterráneo argentino (Buenos Aires-Córdoba), la razón radica en el registro de presiones superiores a la normal en la zona ecuatorial y en el lecho de los ciclones circumpolares.*

Con respecto al gradiente barométrico del Pacífico, la ligazón es de  $-0,33$  para Curitiba-Madryn y de  $-0,12$  para Buenos Aires-Córdoba.

El Cuadro VIII señala una correlación de cierta consideración ( $r = -0,40$ ) entre An. Gr. *TT* B. Aires - Córdoba y An. Grd. *PP* R. Janeiro - Quixeramobim dos meses después ( $N = 68$ ), lo que coincide con la correlación con A. *PP*. Quixeramobim (también dos meses después) que da  $r = +0,36$  ( $N = 68$ ). Esto revelaría la existencia de un cierto vínculo entre el gradiente térmico mediterráneo y las anomalías de la presión posteriores, en la zona ecuatorial y circulación de los alisios sudamericanos. La probabilidad de que tal correlación exista realmente es del 99 %.

#### V. VARIABLES DEPENDIENTES DEL CAMPO BAROMETRICO

Esta parte del estudio fué encarada con vistas a determinar relaciones útiles para la interpretación de los resultados anteriores. Se efectuaron cálculos de correlación entre los valores mensuales de las anomalías de la presión en Quixeramobim, Montevideo, Malvinas y Orcadas; entre las variaciones de dichas anomalías y entre las anomalías de los gradientes barométricos (circulatorios) Río de Janeiro-Quixeramobim, Montevideo-Malvinas y Santiago-Evangelistas. Los resultados se consignan en el Cuadro IX.

También fueron motivo de análisis 16 casos de grandes gradientes barométricos entre Santiago y Evangelistas, registrados entre 1932 y 1938, con objeto de determinar el efecto dinámico de la cadena andina sobre las anomalías mensuales de la presión en territorio argentino.

*Las anomalías mensuales de la presión.* — Los valores de An. *PP* Quixeramobim se correlacionaron con las correspondiente An. *PP* en

Montevideo, Malvinas y Orcadas (Cuadro IX), desde dos meses antes hasta dos meses después.

Puede verse que las magnitudes de los coeficientes de correlación no son importantes; sólo se advierte una tendencia a anomalías barométricas en oposición en la zona circumpolar, con  $r = -0,16$  en Orcadas (probabilidad de existencia de la correlación 80 %).

CUADRO IX. — Correlaciones de variables dependientes de la presión  
(Valores mensuales)

	An. PP Quixer. con An. PP					Var. An. PP Quixer. con Var. An. PP			
	Quix.	Mont.	Malv.	Orc.	N	Mont.	Malv.	Orc.	N
2 m. ant. ...	—	+0.11	+0.19	-0.09	68	—	—	—	—
1 m. ant. ...	—	+0.03	+0.07	-0.08	79	-0.11	-0.08	+0.14	68
Simult. ....	+1.00	+0.10	+0.07	-0.16	90	+0.12	-0.09	-0.29	79
1 m. desp. ...	+0.56	+0.02	+0.17	+0.04	79	-0.03	+0.19	+0.29	68
2 m. desp. ...	+0.51	-0.05	+0.03	-0.10	68	-0.11	-0.15	-0.08	57

	An. Grd. PP R. Jan.-Quixer. con An. Grd. PP				An. Grd. PP Mont.-Malv. con An. Grd. PP			An. Grd. PP Sant.-Ev. con An. Grd. PP	
	R. Jan.-Quix.	Mont.-Malv.	Sant.-Ev.	N	Mont.-Malv.	Sant.-Ev.	N	Gfo.-Mdyn.	N
2 m. ant. ....	—	+0.20	+0.06	68	—	+0.10	68	+0.23	40
1 m. ant. ....	—	+0.09	+0.14	79	—	+0.02	79	+0.10	50
Simult. ....	+1.00	+0.12	+0.03	90	+1.00	+0.49	90	+0.48	60
1 m. desp. ....	+0.22	+0.09	+0.25	79	-0.06	-0.05	79	+0.34	50
2 m. desp. ....	—	+0.05	+0.09	68	—	+0.32	68	+0.29	40

En lo que respecta a la persistencia de las anomalías barométricas en Quixeramobin (zona ecuatorial), el cálculo arroja valores de  $r$  de interés, +0,56 para intervalos de mes a mes y de +0,51 para dos meses de intervalo.

Considerados en conjunto, los coeficientes tienden a mostrar anomalías del mismo signo al norte de los 53°S, desde dos meses antes hasta dos meses después, y de signo contrario al sur de los 60°S.

*Variaciones de las anomalías de la presión.* — Las variaciones de las anomalías de la presión correspondientes a 90 meses de observaciones, registradas en las estaciones ya mencionadas, fueron correlacionadas desde un mes antes hasta dos meses después, utilizando a Quixeramobin, en la región ecuatorial como estación piloto.

Los resultados se incluyen en el cuadro referido. Ninguno de los valores de los coeficientes es suficientemente alto como para justificar relaciones directas, ni tampoco una propagación en sentido norte-sur de las variaciones. Las correlaciones entre las variaciones en Quixeramobim y en Orcadas indican:

$$\begin{array}{ll}
 r \text{ (mes simult.)} & \dots\dots\dots -0.29 \\
 r \text{ (un mes después)} & \dots\dots\dots +0.29
 \end{array}$$

con una probabilidad de existencia de las correlaciones del 99 %.

La interpretación de esos resultados, considerando una ausencia de relación directa y la no existencia de propagación, llevaría a suponer que los fenómenos causantes de una determinada variación de la anomalía de la presión en la zona ecuatorial sudamericana, se ligan a una redistribución tal de las masas aéreas que ocasiona, generalmente, una variación de signo opuesto en la presión de la región circumpolar. En el mes siguiente, tal serie de fenómenos da lugar a una oscilación, en la región citada, del mismo signo que la registrada en la zona ecuatorial. La idea que sugerirían las correlaciones es la de un trabajo en conjunto de la atmósfera.

Las variaciones anteriores también se manifiestan, aunque con valores de  $r$  más pequeños, en la zona de Malvinas.

*Las anomalías de los gradientes barométricos.* — En el cuadro precitado se indican los correspondientes coeficientes de correlación entre las anomalías de los gradientes barométricos.

Los valores asociados con el gradiente de los alisios sudamericanos (Río de Janeiro - Quixeramobin) no indican relaciones directas. Señalan que un mayor gradiente circulatorio de los alisios tiende a ir acompañado de circulaciones del oeste más intensas que lo normal (desde dos meses antes hasta dos meses después) en la zona templada, con un pico de poca importancia ( $r = +0,25$ ) para un mes más tarde en el gradiente del Pacífico.

La persistencia, mes a mes, del gradiente de los alisios da  $r = +0,22$ . En cambio, no hay persistencia para el gradiente del Pacífico ( $r = -0,06$ ) ni tampoco para el del Atlántico (Montevideo - Malvinas) con  $r = +0,02$ .

La correlación entre los gradientes del oeste, para el mismo mes, resulta de  $+0,49$ . El cómputo muestra un valor de  $r = +0,32$  para la correlación de Montevideo - Malvinas con Santiago - Evangelistas dos meses más tarde. La probabilidad de esta correlación es de 99 %, y señalaría la posibilidad de una ligazón a través del tiempo entre ambos gradientes. El efecto anterior se manifiesta también con respecto a las lluvias en la Patagonia, donde An. Grd. PP Mont. - Malv. con An. lluv. da  $r = -0,36$  para observaciones del mismo mes y  $-0,29$  para dos meses después.

En lo que respecta a la correspondencia entre el gradiente del Pacífico y el transversal a la Patagonia (I. Guafo - Madryn) es  $r = +0,48$  y define la existencia de un efecto dinámico de la Cordillera de los Andes.

*Las grandes anomalías positivas del gradiente barométrico del Pacífico.* — En el trabajo anterior ya mencionado (METEOROS, III, Nº 1, enero-marzo de 1953) nos hemos dedicado al análisis del efecto dinámico de la Cordillera de los Andes sobre la circulación del oeste, definida por los valores diarios del gradiente Valparaíso - Guafo, con vistas a investigar la aparición de vaguadas dinámicas causadas por anomalías positivas del gradiente referido.

En lo que va del presente trabajo, en el orden de las anomalías mensuales, ya hemos citado la correlación positiva entre el gradiente barométrico del Pacífico (Santiago - Evangelistas) y las anomalías de la

temperatura en las estaciones de la costa atlántica, la correlación inversa con las lluvias patagónicas y la correlación positiva con el gradiente transversal (I. Guafo - Madryn).

Las dos primeras correlaciones,  $-0,32$  para las lluvias y  $+0,34$  para An. TT S. Cruz, señalan la mayor frecuencia de aire secado y calentado para descenso adiabático al oriente de los Andes, cuando el gradiente barométrico de Pacífico es superior al normal. La tercera correlación indica la formación de una depresión dinámica en los casos de anomalías positivas en el gradiente ( $r = +0,48$ ).

El cálculo anterior fué complementado mediante la determinación de las anomalías medias mensuales de la presión, asociadas a grandes anomalías positivas del gradiente del Pacífico. Se seleccionaron 16 casos de este tipo, ocurridos entre 1932 y 1938, haciéndose los promedios de las anomalías barométricas registradas en diversas estaciones (ver Cuadro X) desde dos meses antes hasta dos meses después.

CUADRO X.— *Anomalías medias mensuales de la presión asociadas a intensos gradientes barométricos entre Santiago y Evangelistas.*  
(16 casos, 1932 a 1938, mbs.)

	2 m. ant.	1 m. ant.	Simult.	1 m. desp.	2 m. desp.
An. Grd. PP entre:					
Santiago-Evangelistas .....	+ 1.2	- 1.7	+ 5.8	- 0.7	+ 1.0
Mar del Plata-Malvinas .....	+ 0.8	- 1.3	+ 2.3	+ 1.4	- 0.2
I. Guafo-Madryn .....	+ 0.7	- 0.5	+ 0.8	+ 0.6	- 0.1
An. PP en:					
Santiago .....	+ 0.1	+ 0.3	+ 0.2	+ 0.1	- 0.1
Córdoba .....	- 0.2	+ 0.4	- 0.9	+ 0.5	- 0.6
Cipolletí .....	- 0.3	+ 0.7	- 1.2	+ 0.5	- 0.5
Bahía Blanca .....	- 0.8	+ 0.5	- 1.6	+ 0.1	- 0.8
Mar del Plata .....	- 0.4	+ 0.8	- 1.1	+ 0.7	- 0.5
I. Guafo .....	- 0.1	+ 0.6	- 1.8	+ 1.2	- 0.4
Madryn .....	- 0.8	+ 1.1	- 2.6	+ 0.6	- 0.3
C. Sarmiento .....	- 0.5	+ 1.4	- 3.2	+ 0.5	- 0.7
Evangelistas .....	- 1.1	+ 2.0	- 5.5	+ 0.7	- 1.1
Santa Cruz .....	- 0.1	+ 2.3	- 4.0	+ 0.3	- 0.3
Malvinas .....	- 1.2	+ 2.1	- 3.4	- 0.7	- 0.3

En la Fig. 9 se han trazado las isoanomalías de la presión ligadas a una anomalía media del gradiente del Pacífico de  $+5,8$  mb. Dichas isoanomalías se disponen según una vaguada cuyo eje pasa ligeramente al este de Córdoba, orientado hacia el SSO, pasando al oeste de Madryn y de Santa Cruz.

Esta distribución de las isolíneas indica componentes NO del viento sobre Madryn y Santa Cruz, justificando así las correlaciones positivas entre el gradiente del Pacífico y las anomalías de la temperatura en los lugares citados, así como con el gradiente I. Guafo - Madryn.

La circunstancia de haber obtenido correlaciones positivas entre An. Grd. PP Guafo - Madryn y las anomalías de la temperatura en la Patagonia, cuando lo lógico hubiera sido esperar correlaciones negativas, indicaría que las anomalías de dicho gradiente están principalmente ligadas al efecto dinámico de la Cordillera sobre el gradiente del Pacífico.

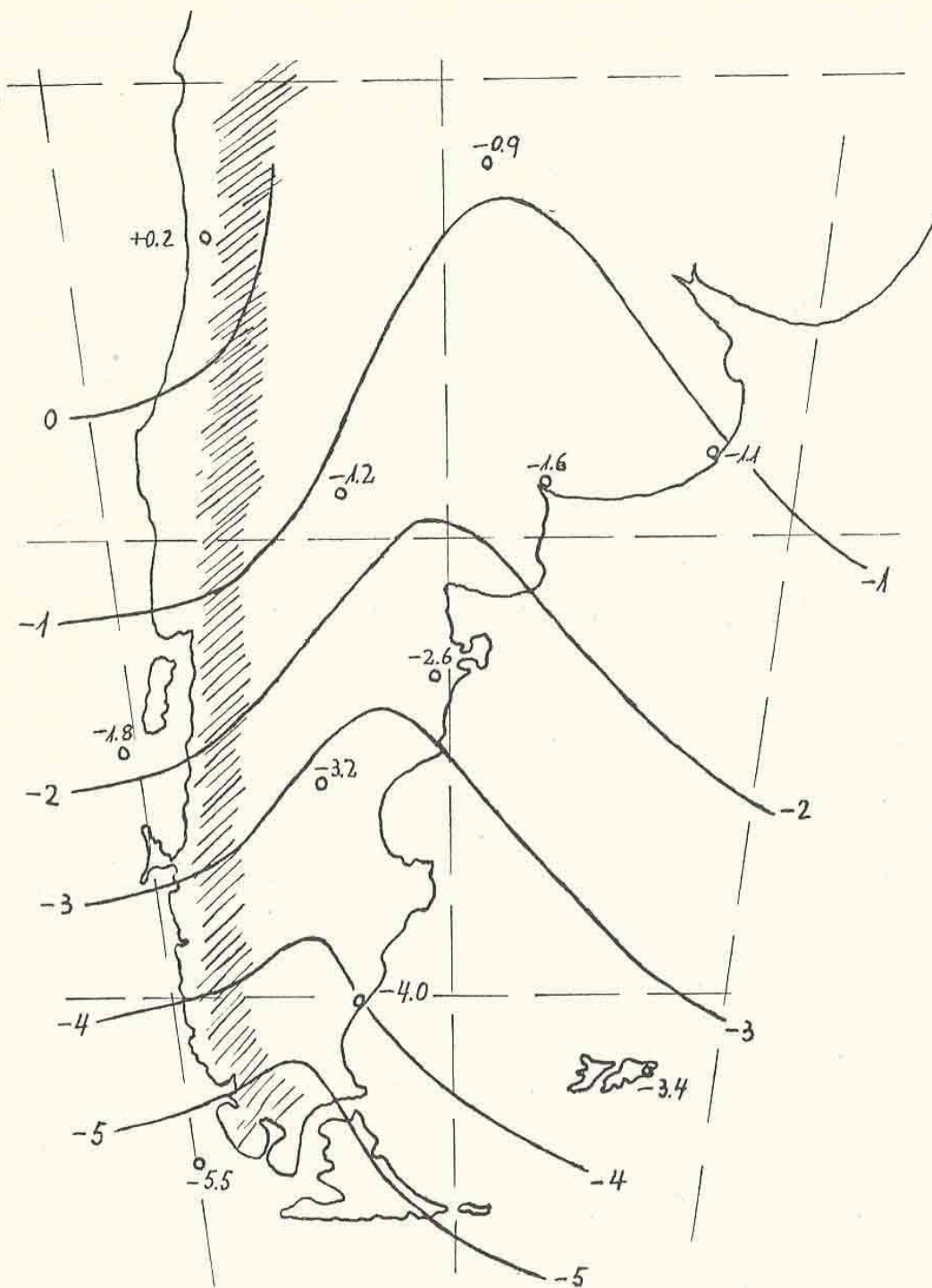


FIG. 9. — Anomalías de la presión media mensual asociadas a grandes An. Grd. PP Santiago-Evangelistas (16 casos, 1932-38, mbs.).

El cuadro X revela, al comparar los signos de las An. Gr. PP Santiago - Evangelistas (desde dos meses antes hasta dos meses después), que invariablemente la anomalías medias de la presión tienen signo contrario al oriente de los Andes.

La correspondencia entre An. Grd. PP Santiago - Evangelistas y las An. PP Madryn es la siguiente (valores medios en milibares):

An. Grd. PP Sant.-Evang.	An. PP Mdyn.	Nº casos
+ 7.9	— 3.1	6
+ 4.6	— 2.2	13
+ 2.4	— 0.8	18
+ 0.2	+ 0.5	21
— 2.5	+ 0.3	16
— 4.6	+ 1.3	10
— 6.5	+ 2.8	5

cuya ecuación de regresión lineal es

$$\text{An. PP Mdyn.} = -0.392 \text{ An. Grd. PP Sant.-Evang.}$$

## VI. CONCLUSIONES

El trabajo realizado conduce a las siguientes afirmaciones:

a) Existe una relación entre las anomalías de las lluvias en la zona agropecuaria argentina y la distribución de las anomalías de la temperatura en América del Sur. Los excesos de lluvia van asociados a temperaturas superiores a la normal en el sur del Brasil y océano Pacífico y a temperaturas inferiores a la media en Santa Cruz y aguas atlánticas adyacentes. La recíproca es cierta.

b) Los excesos de lluvia, en la zona considerada, van asociados a una tendencia a circulación ciclónica del aire en torno a la misma. Las lluvias escasas se asocian a una mayor frecuencia de circulaciones anticiclónicas.

c) Asimismo, dichas anomalías de las lluvias están ligadas en forma inversa a los gradientes circulatorios planetarios en Sud América (alios y vientos del oeste en las latitudes templadas del Atlántico y Pacífico). Los excesos de precipitación corresponden a circulaciones menos activas que lo normal, y viceversa.

d) Las lluvias abundantes se vinculan a una mayor frecuencia de días con frentes sobre la zona agropecuaria y los defectos a una menor frecuencia de frentes. La diferencia es más marcada para frentes calientes y estacionarios.

e) Los apartamientos de las lluvias en la región agropecuaria, con respecto a la normal, varían inversamente con las anomalías del peso de la capa atmosférica, entre 0 y 3000 m, sobre el territorio de Misiones y regiones próximas ( $r = -0,57$ ).

f) Si se utilizan las anomalías de los gradientes térmicos a través de la zona referida, como definidores de la mayor o menor actividad frontal y las anomalías del gradiente barométrico al sur de la misma,



como indicador de la circulación del aire, el mejor ajuste se obtiene con una correlación múltiple de las anomalías de lluvia en función de las anomalías de gradiente térmico Curitiba-Santa Cruz y Buenos Aires-Córdoba y del gradiente barométrico Madryn-Montevideo ( $r = + 0,67$ ).

g) Las anomalías de precipitación en la costa sur chilena y en la Patagonia argentina están ligadas a las anomalías del gradiente circulatorio del oeste, en forma directa para la costa chilena ( $r = + 0,50$ ) y en forma inversa para la Patagonia ( $r = - 0,32$  y  $- 0,36$ ). Esta relación surge como consecuencia de la mayor o menor convergencia de aire del Pacífico sobre la Cordillera de los Andes y de la menor o mayor frecuencia de masas aéreas provenientes del Atlántico sobre la Patagonia.

h) El estudio del campo de las anomalías de la temperatura en América del Sur revela la existencia de una "oscilación térmica sudamericana". Cuando las anomalías son positivas en el sur, las anomalías en la zona subtropical tienden a ser negativas, y viceversa. La distancia entre los núcleos de correlación es del orden de las 2000 millas, y su orientación general, norte-sur.

i) El análisis de las correlaciones en el tiempo respecto de las anomalías de la temperatura, revela la existencia de una onda de correlación que se desplaza de sur a norte a lo largo del meridiano  $45^{\circ}W$ , amortiguándose con bastante rapidez. La velocidad de desplazamiento es de unos  $15^{\circ}$  de latitud por mes.

j) Las variaciones de las anomalías de la temperatura también denuncian la existencia de la "oscilación térmica sudamericana", siendo la distancia entre los dominios de signo inverso, como en el caso de las anomalías, del orden de las 2000 millas y su orientación comprendida entre NNE-SSO y NNO-SSE.

k) Tanto la autocorrelación de las variaciones mencionadas como los coeficientes de las áreas de signo inverso, pueden representarse por una onda amortiguada de igual período (2,93 meses) y parecido decremento. En el caso de la autocorrelación debe sumarse, además, una oscilación libre no amortiguada de 3,5 meses de período. La correlación entre los coeficientes de autocorrelación y los coeficientes de las áreas de signo inverso arroja un  $r = - 0,998$ , lo que indica un vínculo rígido entre ambos campos de correlación.

l) El análisis de las anomalías de la temperatura respecto a las anomalías de la frecuencia del viento de los cuadrantes del sur y las anomalías de la nubosidad, revela que, salvo casos especiales, a mayor frecuencia de vientos del sur corresponden temperaturas menores, y recíprocamente. El efecto de la nubosidad se señala en el inciso siguiente.

m) El efecto de las anomalías de la nubosidad sobre la temperatura puede representarse por una hipérbola que corta al eje de las temperaturas en los  $14^{\circ}C$ , de manera tal que cuando la temperatura media del lugar es mayor de  $14^{\circ}$ , un aumento de nubosidad produce una disminución de temperatura; para temperaturas medias inferiores a  $14^{\circ}$  un aumento de nubosidad ocasiona anomalías positivas (para Little América, Antártida, en invierno, con  $TT_m = - 33,5^{\circ}C$  un exceso de un décimo respecto de la nubosidad normal origina una anomalía de  $+ 4,4^{\circ}$ ).

n) En término medio, la frecuencia de los vientos y la nubosidad son causantes del 37 % de la magnitud de las anomalías de la temperatura (la frecuencia de los vientos de un 21 % y la nubosidad de un 16 %).

o) En la relación entre las anomalías de la temperatura y la presión, se verifica que las temperaturas son superiores a la normal cuando las presiones son más altas que la media al norte de la estación considerada. Igual efecto se observa cuando las presiones están en defecto al sur del lugar en cuestión.

p) En el sur del Brasil, las altas temperaturas corresponden a gradientes circulatorios de los alisios menores que lo normal. En la Patagonia y Argentina Central, las altas temperaturas coinciden con gradientes circulatorios del oeste intensos. Para la zona antártica norte las temperaturas bajas se ligan a gradientes circulatorios fuertes en el Atlántico, cosa que implica mayor advección de aire desde el sur.

q) Los gradientes térmicos positivos Curitiba - Madryn van asociados a anomalías positivas de la temperatura en el este del Brasil y a anomalías negativas en la parte austral de Sud América y aguas adyacentes. Los gradientes positivos Buenos Aires - Córdoba se ligan a anomalías térmicas negativas en el centro argentino y a desviaciones en exceso en los océanos Atlántico y Pacífico.

r) Los gradientes de temperatura más intensos que lo normal corresponden a circulaciones atmosféricas disminuídas en América del Sur. En el caso del gradiente norte-sur ello obedece a un debilitamiento del anticiclón del Atlántico y, en el caso del gradiente este-oeste, esto se relaciona con presiones superiores a la media en las regiones ecuatorial y circumpolar.

s) Con respecto a las anomalías de la presión, se observa una cierta tendencia a oposición entre la zona ecuatorial y la vecina a Orcadas. Las variaciones de las anomalías acusan mejor esa oposición para meses simultáneos y muestran, para un mes después, una correlación positiva entre las variaciones de las anomalías de la presión en Quixeramobim y las de Orcadas ( $r = +0,29$ ).

t) No se observa una propagación en las variaciones de las anomalías barométricas, sino más bien un trabajo en conjunto de la atmósfera que produce las correlaciones indicadas.

u) El gradiente barométrico del Atlántico y del Pacífico acusan una dependencia de cierta consideración entre sus anomalías ( $r = +0,49$ ).

v) De manera análoga se observa una correlación de  $+0,48$  entre las anomalías del gradiente del Pacífico y el gradiente barométrico transversal de la Patagonia. Unido ello al hecho de que hay correlación positiva entre el gradiente Guafo - Madryn y las temperaturas al oriente de la Patagonia, se concluye que el gradiente transversal es generalmente consecuencia del efecto dinámico de los Andes.

w) El análisis de una serie de casos de grandes anomalías mensuales positivas del gradiente barométrico del Pacífico, revela la producción de una vaguada dinámica al este de los Andes, orientada NNE-SSO, y cuyo eje demora al oeste de la costa atlántica.

551.586:663.1 (82)

## MAPA FENOLÓGICO DEL MAÍZ EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

POR ANTONIO JUAN PASCALE \*

**Resumen.** — Con el método del promedio de observaciones fenológicas proporcionadas por la red de corresponsales honorarios del Servicio de Fenología del Departamento de Agrometeorología, durante los años agrícolas 1947-48, 1948-49, 1949-50, 1950-51 y 1951-52, se confeccionaron las cartas fenológicas del maíz en la República Argentina con las isofenas de siembra, floración masculina y comienzo de maduración.

**Summary.** — Corn phenological charts in Argentine Republic with isophenes of sowing, tasselling and ripening were prepared. The applied method was the average from phenological observations provided by the honorary correspondent network belonging to the Phenological Service of Agrometeorological Department, during the agricultural years 1947-48, 1948-49, 1949-50, 1950-51 and 1951-52.

### INTRODUCCIÓN

Como ciencia que estudia las influencias de los factores meteorológicos sobre los seres vivos en general, la Bioclimatología presenta posibilidades muy amplias para las investigaciones climáticas relacionadas con la evolución de los organismos, sea contribuyendo al análisis de la fisiología de los mismos, sea en la problemática de su explotación.

La Bioclimatología Agrícola, por su parte, aplicada a las especies vegetales de interés económico, persigue como principal finalidad el conocimiento de los elementos del tiempo que influyen en su crecimiento y desarrollo, así como la indagación de las variaciones que se producen en el ciclo vegetativo de las mismas, cuando su explotación se realiza en regiones de modalidades climáticas diferentes.

Cuanto más importante económicamente es un vegetal, tanto más necesario es conocer sus caracteres y las posibles variaciones que se producirán al vegetar en un clima que no satisfaga plenamente a sus exigencias, a fin de valorar la conveniencia relativa de su cultivo.

Surge de lo expuesto que las especies interesantes para la economía de un país, han de suscitar la máxima atención científica con vistas a su conocimiento integral. De ahí que el trigo, el maíz, la vid, el manzano, sean, entre otras, las especies más estudiadas bioclimáticamente.

En una región dada, el ciclo vegetativo de una determinada planta sigue en general un ritmo bien definido. Las diferentes fases de la vegetación se producen siempre sensiblemente en las mismas fechas de cada año, pudiendo esta sucesión de momentos alterarse, dentro de ciertos límites, de acuerdo a las condiciones del tiempo prevalente en el lugar considerado, capaces de influir en el rendimiento.

\* Ingeniero Agrónomo. Jefe de la División Control Funcional de Estaciones Agrometeorológicas, del Servicio Meteorológico Nacional.

Interesa sobremanera en las plantas perennes, el saber las fechas en que se dan aquellas fases críticas en las que un factor climático puede comprometer el rendimiento, como ocurre con las heladas en el momento del cuajamiento del fruto, en las especies subtropicales; o respecto de la exigencia en frío para aquéllas que exigen inviernos con temperaturas relativamente bajas.

Al cultivar las plantas anuales se presentan problemas similares, aunque con las diferencias derivadas de la peculiaridad de sembrarse todos los años y de producirse anualmente un solo ciclo vegetativo. Asume importancia capital, en este caso, la elección acertada de la fecha de siembra, para que luego de efectuada la misma, las condiciones climáticas que actúen sobre el vegetal sean las más adecuadas al normal cumplimiento del ciclo vegetativo. Si la fecha de siembra es la correcta, las fases subsiguientes no sufrirán desmedro, salvo en lo relativo a la incidencia de factores adversos propios de una situación geográfica determinada.

En un trabajo anterior (PASCALE, 1952) se encaró el estudio del mapa fenológico del trigo en la República Argentina, dándose preferente atención a la fecha correcta de siembra, ya que las otras fases de este cultivo derivan de dicho momento inicial.

En el cultivo del maíz, cuyo mapa fenológico es objeto de este trabajo, también la fecha de siembra juega un papel relevante, aunque no idéntico en todos sus aspectos al caso del trigo, como lo veremos más adelante. Aquí, además de la carta de siembra, presentamos la de floración masculina y la de comienzo de maduración, a fin de completar con estas dos fases el análisis fenológico del maíz en la República Argentina.

#### MATERIAL Y MÉTODO

El conocimiento del área de cultivo de una especie se puede tener por distintas vías. De todas, sin embargo, la de las encuestas parece ser la más rápida y segura, siempre que se cuente con una cantidad de corresponsales que respondan anualmente en fichas, susceptibles de ser depuradas.

Es el método que hemos seguido, en virtud de la red de corresponsales honorarios de que dispone el Servicio de Fenología, dependiente del Departamento de Agrometeorología. Abarca este análisis el promedio de los datos registrados durante los períodos agrícolas de 1947-48, 1948-49, 1949-50, 1950-51 y 1951-52.

Se promediaron los datos fenológicos de siembra, aparición de la inflorescencia masculina y comienzo del amarilleo de la chala, de cada año, correspondientes a las fichas de corresponsales ubicados en un grado geográfico de superficie, es decir, un rectángulo que tiene por lados la longitud de un grado de latitud por un grado de longitud.

Obtúvose luego la fecha media de cada fase al promediar los cinco años analizados, asentándose ese valor en el centro del mencionado grado geográfico. Se procedió de la misma manera con todos los puntos para trazarse, acto seguido, las isolíneas del 1, 11 y 21 de cada mes, de acuerdo con los valores promedios obtenidos.

No es otro el método, pues, que el aplicado en el trabajo del mapa fenológico del trigo, con la diferencia de no haberse efectuado en este caso la discriminación varietal, ya que en el maíz no se encuentran, como en el trigo, diferencias notables que aconsejen distinguirlo en variedades tempranas y tardías. En el trigo, las características bioclimáticas de las variedades primaverales e invernales difieren tanto que no es posible agruparlas en una sola carta, tanto más si se tiene en cuenta que las fechas de siembra para una misma localidad son muy distintas.

En cambio, en el maíz no se pueden diferenciar las variedades por la fecha de siembra, y sólo en algunas muy precoces se obtiene el beneficio de la maduración más temprana con una posible cosecha anticipada, pero esta es una fase que no consideraremos pues no se obtendría una fecha real, dado que los agricultores no realizan la cosecha en el momento de la maduración dejando el producto en el campo para su desecado natural y efectuarla de acuerdo a la disponibilidad de mano de obra.

Este mismo método de encuestas fué el utilizado por BURGOS (1946), para la confección de las cartas de plantación de papas en la región pampeana. Para mayores datos metodológicos y bibliográficos nos remitimos a nuestro trabajo antedicho sobre el trigo.

#### CARTA DE SIEMBRA

La siembra del maíz en la República Argentina cubre desde principios de agosto, en el norte de la provincia de Corrientes, hasta comienzos de noviembre, en el sud de la provincia de Buenos Aires.

Un período de tres meses de siembras a través de una región tan amplia, exige, sin duda, una explicación detallada de las causas que influyen en el escalonamiento que se observa en la Fig. 1.

Primeramente, ha de considerarse que el maíz es una especie sensible a las bajas temperaturas, perjudicándolo las heladas durante todo su ciclo, por lo que éste debe hallarse encuadrado en el período libre de heladas de la región. La siembra debe realizarse en fechas posteriores a la última helada de primavera. No es otro el criterio seguido en EE. UU., donde la fecha de la última helada vendría a coincidir en los mapas con la de la siembra del maíz (KINCER, 1919).

Aplicando este principio a la región maicera argentina, se comprueba que las líneas correspondientes a la fecha media de la última helada, prácticamente se superponen a las isolíneas de la Fig. 1, pero con un desplazamiento de aproximadamente un mes. Es decir, que la siembra del maíz se realiza con posterioridad de 20 a 30 días a la fecha media de la última helada.

Ello se explica por el peligro de heladas subsiguientes a la fecha media, que se puede cuantificar por la desviación típica, y que es de más o menos 20 a 30 días según la localidad. En cambio, en EE. UU., el peligro de las heladas posteriores a la fecha media del último registro es bastante menor, pues la desviación es de 10 a 15 días como máximo, REED (1917).

También por esto se explica que la temperatura media del aire en el momento de la siembra sea más baja en la región maicera norteameri-

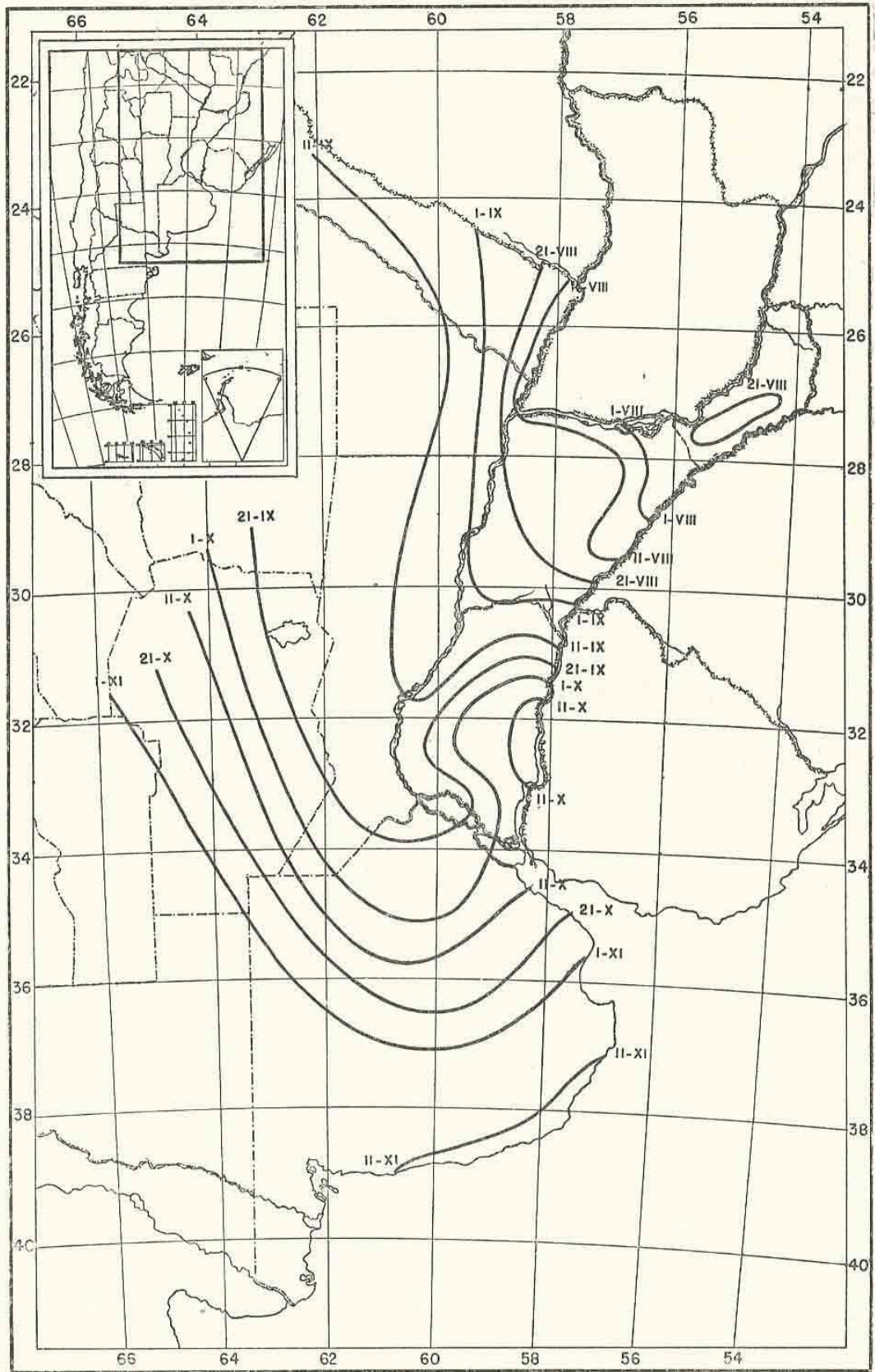


FIG. 1. — Isofenas de siembra.

cana que en la nuestra. En el hemisferio norte, en efecto, las siembras se realizan con una temperatura entre  $12,0^{\circ}$  y  $14,0^{\circ}\text{C}$ , KINCER (1919), en tanto que en la Argentina lo son entre  $14,0^{\circ}$  y  $16,0^{\circ}$ . Vale decir, que ha de esperarse una temperatura más elevada para efectuar la siembra, pues el peligro de las heladas tardías es mayor.

En verdad, el gran volumen de la producción maicera de la República Argentina lo aporta la región que comprende parte de las provincias de Santa Fe, Córdoba, Buenos Aires y Entre Ríos, siendo de mucha menor importancia el resto de la región marcada en la Fig. 1 y que sólo se consigna con isóneas por el valor que puede tener el maíz como cultivo local o para la producción de dos cosechas, muy importante en los trabajos fitotécnicos.

Es en la provincia de Corrientes donde comienzan más temprano las siembras de maíz. Llama, empero, la atención que con un peligro de heladas semejante las siembras en la parte oriental se efectúan con un mes de anticipación respecto a las de las localidades situadas en la costa del río Paraná. La explicación es sencilla; mientras en el mes de agosto, en la costa del río Uruguay se cuenta con precipitaciones entre 60 y 80 mm, este valor sólo se alcanza en la costa del Paraná en el mes de septiembre, pues en agosto sólo llueven de 20 a 40 mm. Y sin humedad en el suelo no es posible realizar siembras fructíferas. De ahí que a pesar de las temperaturas adecuadas exista una diferencia de un mes en cuanto al comienzo de las siembras en ambas costas de la provincia de Corrientes.

En la gobernación de Formosa y al este de la provincia Presidente Perón, también se inician temprano las siembras, produciéndose un atraso en las fechas en razón directa a la disminución de las precipitaciones a medida que se avanza hacia el oeste.

En toda la región norte, por tener mayor disponibilidad térmica y un período vegetativo más dilatado que el resto del país, es posible la realización de una segunda siembra, con la ventaja de subsanar la pérdida de la primera u obtener el beneficio de dos cosechas anuales. Esta segunda siembra comienza en el mes de enero y el maíz llega a cumplir perfectamente su ciclo.

La región de mayor densidad de tierra dedicada al cultivo del maíz es el centro sur de la provincia de Santa Fe y norte de la provincia de Buenos Aires, para la cual la fecha normal de siembras se da entre el 11 y el 21 de septiembre, y entre ésta y el 1º de octubre, respectivamente. Es interesante consignar que estas fechas resultan invariables a través de los años, pues en esta región no existen accidentes geográficos capaces de influir marcadamente. La fecha media de las últimas heladas se ubica entre el 21 de agosto y el 11 de septiembre.

Hacia el sur de esta región debe atrasarse el comienzo de las siembras por razones de disponibilidad térmica, lo cual apareja el inconveniente de que la fase crítica de la floración coincida con la sequía estival de enero y el cultivo sea aleatorio. Si se atrasaran las siembras para sortear la dificultad, se caería en la de las heladas tempranas, que no permitiría la maduración del maíz, PAPADAKIS (1952). En realidad, esta región ofrece un período vegetativo muy corto para las variedades de maíz actualmente en cultivo.

Las provincias de Córdoba y Entre Ríos poseen accidentes geográficos, elevaciones del terreno y red hidrográfica, que determinan una orientación particular de las isolíneas, tendiendo a hacerlas paralelas a los meridianos de longitud. Esto explica, especialmente en la provincia de Entre Ríos, las aparentes irregularidades en las isofenas de siembra.

En el resto del país se efectúan siembras de maíz en forma muy localizada en todos aquellos lugares que disponen de cierta temperatura en verano y de agua para riego, indispensables para pasar exitosamente el período crítico.

#### CARTA DE FLORACIÓN MASCULINA

Efectuada la siembra —fase crítica en el cultivo del maíz, especialmente por el peligro de las heladas— el momento posterior más importante del ciclo vegetativo es la floración.

De acuerdo con BURGOS (1952), las especies vegetales anuales pueden clasificarse según que su ciclo vegetativo coincida o no con el período anual de variación de la temperatura y la luz, obteniéndose los grupos de atermocíclicas o paratermocíclicas y afotocíclicas o parafotocíclicas, respectivamente. El maíz es una especie representativa de las atermocíclicas y afotocíclicas; en otras palabras, su ciclo se cumple solamente en la termofase positiva del termoperíodo anual y sus tejidos activos a la luz se muestran sólo en una de las fases del período de variación anual del día. Es el caso contrario del trigo invernal, especie paratermocíclica y parafotocíclica, cuyo ciclo vegetativo coincide parcialmente con las termofases positiva y negativa del termoperíodo anual pero sin completarlo, y que presenta tejidos activos a la luz en las dos fases del período de variación anual de la duración del día, sin llegar a completarlo.

Por lo dicho, las temperaturas en aumento favorecen el desarrollo en el maíz, habiéndose demostrado que florece y madura más rápidamente con temperaturas medias alrededor de 25,0°C, produciéndose un retardo cada vez mayor a medida que disminuye esa temperatura. Por otra parte, no es posible el cultivo del maíz cuando la temperatura media del verano es inferior a 19,0°C, o cuando la temperatura media nocturna de esa estación es inferior a 13,0°C, YEARBOOK OF AGRICULTURE (1941).

Si bien la planta de maíz requiere abundante luminosidad, las distintas líneas se han adaptado a las diferentes longitudes del día de las regiones en que crecen. Esto indica que es una especie que no reacciona tan manifiestamente, como otras plantas, a las variaciones fotoperiódicas, pero se ha comprobado que variedades adaptadas a días largos de verano, cuando se siembran más hacia el ecuador, adelantan la floración y el comienzo de la maduración, y contrariamente, las variedades de bajas latitudes, alargan su ciclo cuando se siembran en regiones de verano de días largos.

Esta es la razón por la cual las segundas siembras, que se efectúan en algunas regiones de nuestro país, tienen una floración en un menor número de días, pues el fotoperíodo va decreciendo. Es obvio que un menor número de días para completar el ciclo significa menor peso de la materia elaborada por la planta, pero ello resulta despreciable cuando, con una



segunda cosecha, se logra compensar lo perdido en la primera siembra, deficiente por un motivo cualquiera.

La región maicera argentina goza de adecuadas condiciones de temperatura en el verano para que se cumpla el ciclo vegetativo en forma satisfactoria. En efecto, las floraciones se producen en cada localidad con temperaturas medias que oscilan entre 20,0° y 21,0°C en el sur de la provincia de Buenos Aires y casi 25,0°C en la gobernación de Formosa, siendo habitual en el resto de la región maicera la temperatura media de 23,0°C para el momento en que se produce la aparición de la inflorescencia masculina.

Temperaturas medias mayores de 25,0°C en el instante de la floración se pueden encontrar en la región marginal para el cultivo del maíz, por ejemplo, en el oeste de la provincia de Buenos Aires y en la provincia Eva Perón, pero de ordinario estas temperaturas van acompañadas por intensas sequías que hacen fracasar las cosechas. Con temperaturas inferiores a 20,0°C se puede producir la floración, pero casi siempre las plantas no pueden concluir su ciclo por falta de temperaturas elevadas y heladas tempranas, como acontece en las siembras del sudeste de la provincia de Buenos Aires.

Respecto a la longitud del día, que incide en el momento de la floración del maíz en la región maicera argentina, va desde algo más de 14 horas en el norte de la provincia de Corrientes hasta casi 15 horas 30 minutos en el sur de la provincia de Buenos Aires. La longitud del día en el momento de la floración en la región óptima del cultivo, o sea el sur de Santa Fe, es de 15 horas.

Como se ve, las variaciones en la longitud del día en el momento de la floración, según las regiones, no son muy amplias, por lo que es difícil encontrar variaciones en el ciclo vegetativo de los cultivos provenientes de semillas de lugares distantes. Además, los semilleros se encuentran generalmente en las zonas de cultivo. Sólo es importante tener en cuenta la duración del día cuando se realizan trabajos fitotécnicos y quiere ganarse un año en las selecciones obteniendo dos cosechas, pues en este caso se realiza una segunda siembra en el año, en regiones tales como Formosa, bastante distantes del lugar de las experiencias y con fotoperíodos diferentes en el momento que puede tener influencia sobre la semilla.

Si bien el factor temperatura es importante, y eventualmente puede serlo también la longitud del día en la expresión de la fase floración, el factor agua es el de mayor valor cuando se trata de la floración y posterior maduración, o sea, el rendimiento del cultivo.

En efecto, la floración en el maíz es un período crítico netamente diferenciado. El maíz, al contrario del sorgo, es una especie que no espera condiciones propicias para florecer; cuando las condiciones térmicas son adecuadas aparece la inflorescencia masculina, y, si las disponibilidades hídricas del suelo son escasas, se produce una pobre fecundación de estigmas y el rendimiento es muy reducido. Los estudios realizados por AZZI (1938) demuestran que los subperíodos de aparición de la inflorescencia masculina hasta la fecundación y de ésta hasta el final de la maduración lechosa, forman un período crítico bien marcado para el factor humedad.

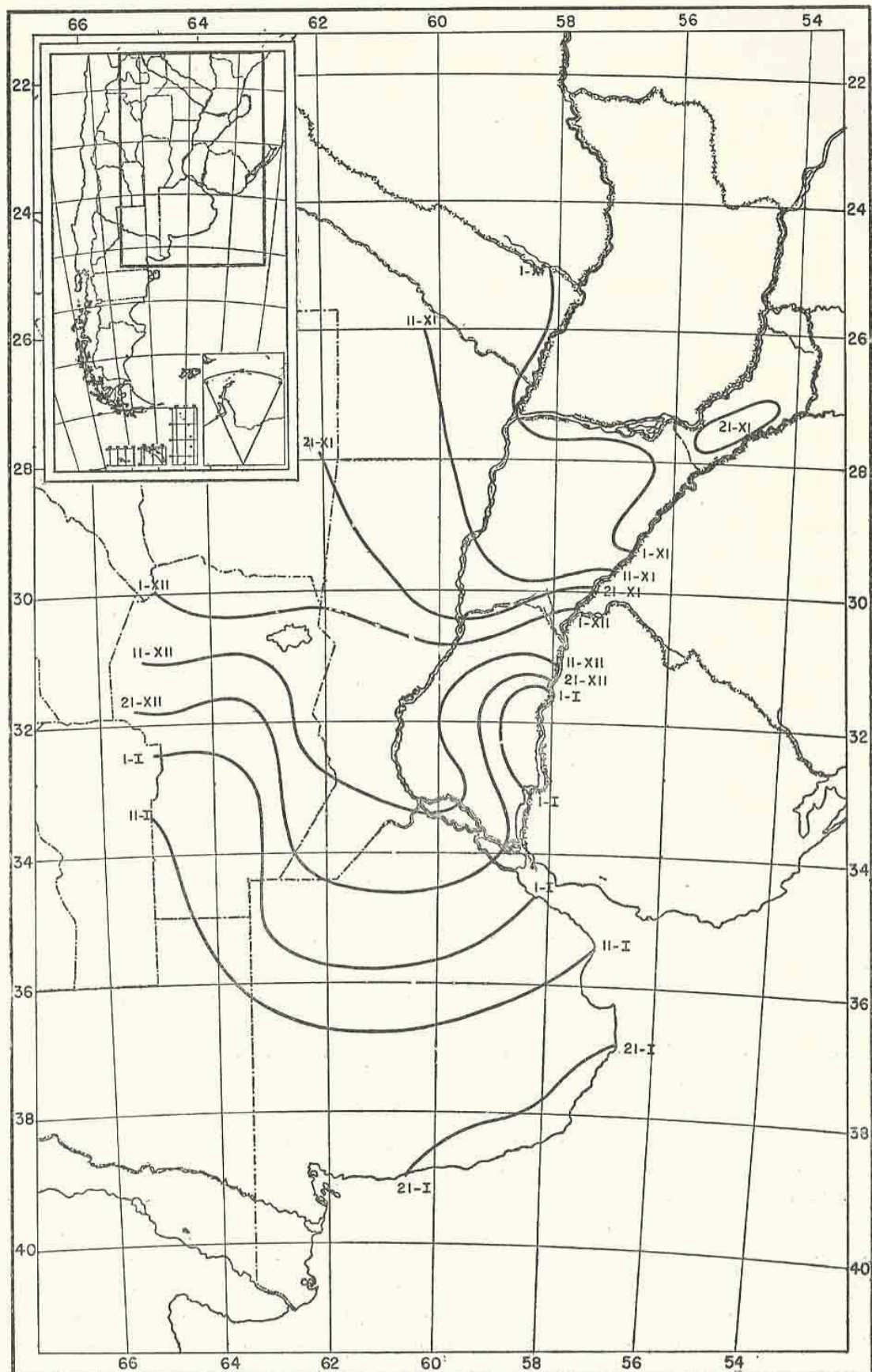


FIG. 2. — Isofenas de floración masculina.

De lo expuesto se desprende la necesidad de hacer coincidir la floración del maíz con el momento más propicio respecto a la disponibilidad de precipitaciones. Sin embargo, tampoco la mayor precipitación indica máxima cantidad de agua para aprovechamiento de la planta. Juega en ello un papel muy importante la temperatura, ya que la evapotranspiración se cuantifica principalmente en función de este elemento, THORNTHWAITE (1948). Por tal motivo, no es conveniente la floración del maíz en el mes de enero en la región maicera argentina propiamente dicha y mucho menos en la submarginal caliente, pues se corre el riesgo de disponer de poca humedad a pesar de existir buenas precipitaciones, por la elevada temperatura que favorece la evapotranspiración.

En el norte del país, la floración del maíz tiene lugar en el mes de noviembre, como se observa en la Fig. 2, con precipitaciones que oscilan entre 100 y 160 mm. Floraciones posteriores a este mes son peligrosas por las temperaturas elevadas. En esta región es factible una segunda siembra, produciéndose entonces la floración a comienzos del otoño cuando las posibilidades de sequía son menores.

En la región maicera propiamente dicha, la floración y comienzo de maduración se produce en el mes de diciembre con precipitaciones entre 80 y 120 mm en el mes, y en el límite meridional del cultivo sólo es posible obtener la floración en el mes de enero con precipitaciones de 60 a 80 mm. En este último caso, sería preferible hacer coincidir el período crítico un poco más tarde, pero se correría el riesgo de no producirse totalmente la maduración por falta de temperaturas adecuadas y heladas tempranas.

Se ha trazado solamente el mapa de floración masculina. El de floración femenina es prácticamente innecesario, dado que la aparición de los estigmas se produce a partir del octavo a décimo día de la salida de la inflorescencia masculina. El número de días que transcurren hasta la aparición de la floración femenina depende en gran parte de las condiciones de humedad o sequedad en que tiene que desarrollarse el cultivo. En condiciones adversas este lapso se dilata en perjuicio de la fecundación y posterior granazón, además de la deficiente formación de la espiga. Por lo tanto, sólo interesa el conocimiento de la fecha de aparición de la inflorescencia masculina, pues la femenina lo hará, según las condiciones del año, en un número de días que variará según lo expresado anteriormente.

#### CARTA DE COMIENZO DE MADURACIÓN

Producida la fecundación, comienza el aumento del tamaño de los granos de la espiga con abundante consumo de agua por la planta hasta el momento de la maduración lechosa. La fase que estamos considerando coincide con el momento en que la planta empieza a perder turgencia con motivo del comienzo de la maduración propiamente dicha, o sea, el pasaje de la maduración lechosa a la maduración cerea. Esto se traduce en una transformación del color verdoso de la chala por un color amarillento, que es el que observan los corresponsales del Servicio de Fenología y que es el valor que promediamos en este caso como comienzo de maduración

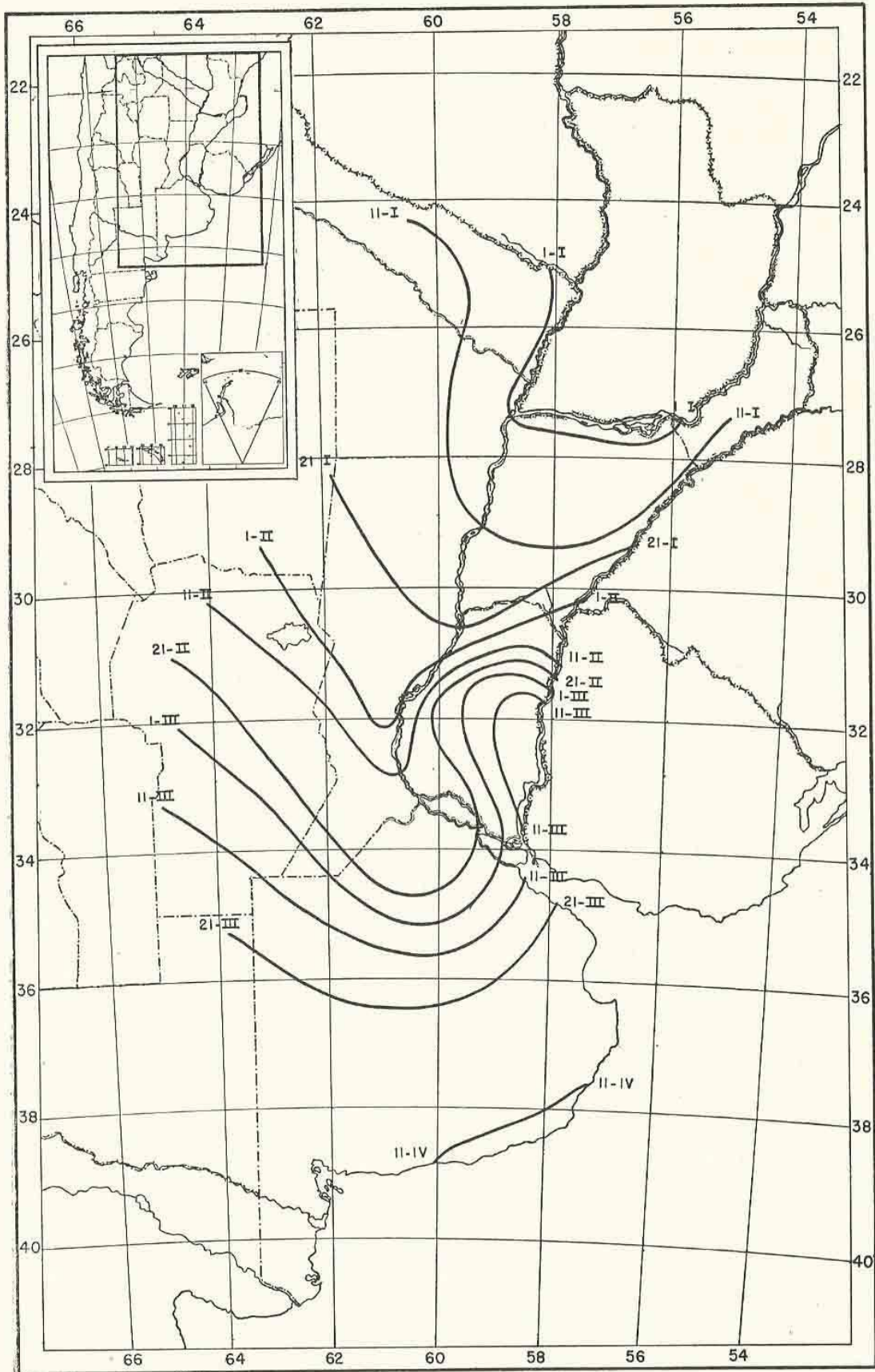


FIG. 3. — Isofenas de comienzo de maduración.

del maíz en las distintas regiones de la República Argentina, indicado por las isolíneas de la Fig. 3.

Las isofenas de comienzo de maduración se inician en el norte del país a principios de enero y en el sud de la provincia de Buenos Aires a comienzos del mes de abril, aproximadamente el mismo lapso que media entre las fechas de siembra para ambas regiones. En la zona óptima de cultivo, el comienzo de la maduración se produce en la primera quincena de febrero.

En la maduración del maíz influyen marcadamente las características térmicas e hídricas de la región. Cuanto más caluroso y seco es el verano, más rápidamente comenzará el amarilleo de la chala. Por este motivo, en la Fig. 3 se puede observar la influencia que ejerce la cuenca del río Paraná en el atraso de la maduración por la mayor humedad ambiente que comunica a las regiones que atraviesa. Lo contrario se da en la región marginal seca de Córdoba, noroeste de Buenos Aires y en el centro de la provincia de Entre Ríos, en este último caso por efecto de las cuchillas.

Otra carta importante de cualquier cultivo sería la de la cosecha, orientadora especialmente para regular la mano de obra, ordenamiento de las maquinarias a utilizar, sincronización del transporte, etc. Pero los datos para ella, si bien se consignan en las fichas que remiten los corresponsales del Servicio de Fenología, no se pueden tomar en cuenta al no representar el final de la maduración comercial, ya que los agricultores suelen dejar el maíz en el campo hasta cerca del invierno, posponiendo la cosecha hasta el momento en que puedan realizarla, aprovechando su desecación natural y la circunstancia de que el producto no se desmejora mayormente, como ocurre con otros cultivos. La fecha de cosecha varía en consecuencia, todos los años, por lo que un promedio de las mismas no reflejaría la realidad.

### CONCLUSIONES

Los promedios de los datos fenológicos del cultivo del maíz, según las fichas remitidas por los corresponsales del Servicio de Fenología, indican que en la región maicera argentina las fases de siembra, floración masculina y comienzo de maduración, tienen las siguientes alternativas:

1) La siembra del maíz se realiza entre el 1º de agosto en el norte del país hasta la primera década de noviembre en la parte meridional del cultivo. La fecha de siembra está condicionada a la producción de la última helada de primavera en la región, efectuándose alrededor de 20 a 30 días después del último registro de 0°C. Comparada con la región maicera norteamericana, en aquélla la siembra se realiza más cerca de ese registro, entre 10 y 15 días después, debido a la menor probabilidad de bajas temperaturas alejadas de la fecha media de la última helada.

2) En las isofenas extremas de floración masculina del maíz en la República Argentina corresponden al 1º de noviembre y al 21 de enero para el norte y el sur, respectivamente. Del análisis de los valores climáticos de la extensa región maicera y de las exigencias bioclimáticas de la especie, se desprende que en el país el cultivo cuenta con condiciones favorables para su desarrollo y para la obtención de elevados rendimientos.

La región óptima, centro sud de Santa Fe y norte de Buenos Aires, se halla circundada por un amplio cinturón marginal, donde las condiciones no son tan adecuadas por defecto o exceso de algún elemento meteorológico que interesa al crecimiento o desarrollo del maíz; exceso de temperaturas y sequías al norte, sequías al este, y falta de temperaturas al sur.

3) La maduración del maíz, representada en la carta de comienzo por la observación fenológica de amarilleo de la chala, se inicia en el norte del país a principios de enero, y en el sur, en la primera quincena de abril. Las isolíneas tienen las inflexiones derivadas de las condiciones locales, influyendo sobre todo las temperaturas elevadas y la baja humedad en la aceleración del proceso y la disponibilidad hídrica, alargando el comienzo de este último subperíodo del ciclo vegetativo.

## BIBLIOGRAFIA

- AZZI, G. 1939. — « Trattato di Ecologia Agraria ». Torino.
- BURGOS, J. J. 1946. — « Carta de plantación de la papa en la región pampeana de la República Argentina ». *Rev. Arg. de Agr.*, T. 13, N° 4, p. 293-309.
- BURGOS, J. J. 1952. — « El termoperiodismo como factor bioclimático en el desarrollo de los vegetales ». *Meteoros*. Año II, N° 3 y 4, julio-diciembre, p. 215-242.
- DANSEREAU, P. 1949. — « Introducción a la biogeografía ». *Revista Brasileira de Geografia*. Año XI, N° 1, p. 3-9. Enero-marzo.
- KINCER, J. B. 1919. — « Temperature influence on planting and harvest dates ». *Monthly Weather Review*, p. 312-323. May.
- KLAGES, K. H. W. 1942. — « Ecological Crop Geography ». The McMillan Co.
- MASSIBOT, J. A. 1946. — « La technique des essais culturaux et des études d'ecologie agricole ». Edition George Frère. Tourcoing.
- PAPADAKIS, J. 1952. — « Mapa Ecológico de la República Argentina ». Segunda Edición. Buenos Aires.
- PASCALE, A. J. 1952. — « Mapa fenológico del trigo en la República Argentina ». *METEOROS*. Año II, N° 1-2. Enero junio, p. 50-65.
- REED W. G. 1917. — « Frost in the United States ». U. S. Print. Office, p. 38. Washington.
- THORNTHWAITE, C. W. 1948. — « An approach toward a rational classification of climate » Reprinted from *The Geographical Review*, XXXVIII (1): 55-94.
- YEARBOOK OF AGRICULTURE 1941. — « Climate and Man ». United States Department of Agriculture. Washington DC., 308-320.

519.272 : 551.5

## LA PREVISIBILIDAD DE LAS FUNCIONES ALEATORIAS SU IMPORTANCIA EN METEOROLOGÍA

Por G. DEDEBANT\*, R. DI MAIO\*\* y E. A. M. MACHADO\*\*\*

**Resumen.** — Se desarrolla la idea de que la previsibilidad de una función está estrechamente vinculada a su conexión interna. Se presentan ejemplos de funciones imprevisibles (inconexas), parcialmente previsibles (función browniana), y totalmente previsibles (oscilador aleatorio). Se indica que las funciones previsibles son las funciones analíticas y que la teoría de la regresión permite su extrapolación en el futuro. Por otra parte, se expone con ejemplos numéricos cómo, a partir del "inconex", se puede pasar por una integración generalizada a la función browniana, y de ésta a funciones derivables.

**Résumé.** — Il est développé l'idée que la prévisibilité d'une fonction aléatoire est en liaison étroite avec sa connexion. On donne des exemples des fonctions imprévisibles ("inconex"), partiellement prévisibles ("fonction brownienne"), totalement prévisibles ("oscilateur aléatoire"). Il est montré que les fonctions prévisibles sont les fonctions analytiques; et alors la théorie de la régression permet leur extrapolation dans le futur. Des exemples sont donnés pour la pression atmosphérique. On montre d'autre part, sur des exemples numériques, comment a partir de l'inconex on peut passer par une intégration (généralisée) a la fonction brownienne et de la a des fonctions dérivables.

En dos artículos precedentes<sup>1</sup> hemos examinado los números aleatorios y las funciones aleatorias con vistas a su aplicación en la Meteorología. En éste abordamos el problema de la previsión, que es el núcleo de la teoría de las funciones aleatorias en cuanto a su aplicación a las ciencias físicas, naturales y sociales. Tratamos y ejemplificamos, en particular, problemas meteorológicos, sin que ello signifique quitar generalidad al asunto.

### 1) PREVISIBILIDAD DE LAS FUNCIONES ALEATORIAS

Vamos a estudiar ahora una cuestión de la mayor importancia para la previsión numérica del tiempo, y además, para la previsión en las ciencias en general. ¿En qué medida, en efecto, se pueden prever los valores futuros de una función aleatoria conociendo sus valores pasados?

La respuesta a tal interrogante se dará aplicando a las funciones aleatorias la teoría de la regresión (Cfr. METEOROS, Año III, Nº 1, pág. 46). Demos primero una definición. Diremos que la función aleatoria  $X/t$  de la variable real  $t$  (aquí, el tiempo), es previsible cuando el número aleatorio desconocido  $x/t$  ( $t > 0$ ) (valores posteriores), puede expre-

\* Ancien eleve de l'Ecole Polytechnique (France). Asesor Técnico de la Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional.

\*\* Doctor en Física Universidad de Pavía. Asesor Técnico de la Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional.

\*\*\* Doctor en Matemáticas. Asesor Técnico de la Dirección de Investigaciones Meteorológicas e Instrucción del Servicio Meteorológico Nacional.

<sup>1</sup>Cfr. METEOROS, año III, Nos. 1 y 2-3, enero-marzo y abril-septiembre, 1953, págs. 31 a 53 y 140 a 173.

sarse *casi ciertamente* en función, por otra parte lineal, de los números aleatorios  $X/s$  ( $s \leq 0$ ), es decir, en función de los valores *anteriores*.

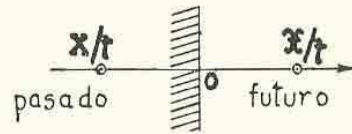


FIG. 1

Naturalmente, debemos ayudarnos con la información anterior más *completa posible*, pero, para no recargar la exposición, nos limitaremos voluntariamente al caso en que el conocimiento del pasado consista en:

- a) el valor *actual* de  $X/t$ , es decir,  $X/0$
- b) y dos valores pasados,  $X/-h$  y  $X/-2h$ .

Teóricamente no es más difícil — y lo hemos hecho <sup>2</sup> — tratar el caso de  $\eta$  valores pasados, pudiendo  $\eta$  ser infinito. La única dificultad en la aplicación consiste en la complejidad de los cálculos y será resuelta con una máquina de calcular capaz de desarrollar determinantes.

## 2) GRADO DE PREVISIBILIDAD

El grado de previsibilidad se juzga por el coeficiente de correlación múltiple  $\mathcal{R}$ , entre la incógnita  $x/t$  y los datos ( $X_1=X/0$ ;  $X_2=X/-h$ ;  $X_3=X/-2h$ ). Mediante una simple extensión del caso de la regresión para dos variables el lector admitirá fácilmente la expresión siguiente de  $\mathcal{R}^2$ :

$$\mathcal{R}^2 = 1 - \frac{\Delta_{123x}}{\Delta_{123}}$$

donde  $\Delta_{123x}$  es el determinante.

$$\Delta_{123x} = \begin{vmatrix} 1 & r_{1x} & r_{2x} & r_{3x} \\ r_{1x} & 1 & r_{12} & r_{13} \\ r_{2x} & r_{12} & 1 & r_{23} \\ r_{3x} & r_{13} & r_{23} & 1 \end{vmatrix}$$

En la ejecución práctica de los cálculos, el valor de  $\mathcal{R}^2$  se puede obtener por el desarrollo siguiente, extensivo al caso de un número mayor de términos:

$$\mathcal{R}^2 = \frac{D^2_{1x}}{1} + \frac{D^2_{2x}}{\Delta_{12}} + \frac{D^2_{3x}}{\Delta_{123}}$$

donde  $D_{1x}$ ,  $D_{2x}$ ,  $D_{3x}$  son los determinantes:

$$| r_{1x} |, \begin{vmatrix} r_{1x} & 1 \\ r_{2x} & r_{12} \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} r_{1x} & 1 & r_{12} \\ r_{2x} & r_{12} & 1 \\ r_{3x} & r_{13} & r_{23} \end{vmatrix};$$

<sup>2</sup> DEDEBANT, G. — « Essai d'une axiomatique aléatoire ». Universidad Nacional de Eva Perón, septiembre de 1948.



que se obtienen partiendo del determinante  $\Delta_{123x}$  por el proceso que indican los trazos punteados.

Aplicando este criterio vamos a ver que hay:

- a) funciones *totalmente imprevisibles*
- b) funciones *parcialmente previsibles*
- c) funciones *enteramente previsibles*

y que el grado de previsibilidad está íntimamente ligado a la conexión de la función aleatoria (medida por su índice de conexión  $\alpha$ ), o en otras palabras, al comportamiento de la función aleatoria en el entorno del punto ( $h = 0$   $r(h) = 1$ ).

- a) Así, tomemos el inconexo

$$r(h) = +1 \text{ para } h = 0$$

$$r(h) = 0 \text{ para } h > 0$$

Se tiene (si  $h \neq 0$ )

$$r_{12} = 0 \quad r_{23} = 0$$

$$r_{13} = 0 \quad r_{2x} = 0$$

$$r_{1x} = 0 \quad r_{3x} = 0$$

luego:

$$D_{1x} = 0 ; \quad D_{2x} = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} = 0 ; \quad D_{3x} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = 0$$

$$\Delta_{12} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} = 1 ; \quad \Delta_{123} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} = 1$$

Por consiguiente:  $\mathcal{R}^2 = 0$ .

Es decir, que el conocimiento del pasado, tan completo como se lo pueda concebir, no tiene ninguna ingerencia en el conocimiento del futuro (juego de azar puro). Es una función *totalmente imprevisible*.

Calcularemos el índice de conexión  $\alpha$ :

Se tiene:

$$\mathcal{R}^2(h) = \frac{1 - r(2h)}{1 - r(h)} = 1$$

De donde:

$$\alpha = \frac{\text{Log } 1}{\text{Log } 2} = 0$$

b) La función aleatoria browniana, o de incrementos independientes es tal que:

$$X/t + h = X/t + Z/t, h \text{ con } \overline{Z/t, h X/t} = 0$$

Su coeficiente de autocorrelación es:

$$r(t, t + h) = \frac{\sigma(t)}{\sigma(t + h)}$$

donde  $\sigma^2(t) = \overline{X^2/t}$ . No es estacionaria a menos que  $\sigma(t) = e^{\lambda t}$ , pero lo que vamos a expresar es cierto, aun fuera de ese caso.

Se tiene:

$$\begin{aligned} r_{12} &= \frac{\sigma_2}{\sigma_1} & r_{1x} &= \frac{\sigma_x}{\sigma_1} & r_{2x} &= \frac{\sigma_x}{\sigma_2} \\ r_{13} &= \frac{\sigma_3}{\sigma_1} & r_{23} &= \frac{\sigma_3}{\sigma_2} & r_{3x} &= \frac{\sigma_x}{\sigma_3} \end{aligned}$$



FIG. 2.

Se verificará que:  $\mathcal{R}^2 = r_{1x}^2$ .

Así, esta vez la información recibida del pasado no interviene más que por el último valor alcanzado (valor actual), es decir  $X_1 = X/0$ .

Todas las informaciones anteriores son *superfluas*. Este es un tipo de función *parcialmente previsible*.

Calculemos el índice de conexión en el caso estacionario

$$r(h) = e^{-\lambda h}$$

Se tiene:

$$\mathcal{R}^2(h) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1 - e^{-2\lambda h}}{1 - e^{-\lambda h}} = 2$$

de donde

$$\alpha = \frac{\text{Log } 2}{\text{Log } 2} = 1$$

c) Tomemos ahora el caso de un oscilador aleatorio de frecuencia cierta, cuyo coeficiente de correlación es:

$$r(h) = \cos \omega h$$

Se tiene:

$$\begin{aligned} r_{12} &= \cos \omega h \\ r_{1x} &= \cos \omega t \\ r_{2x} &= \cos \omega (t + h) \end{aligned}$$

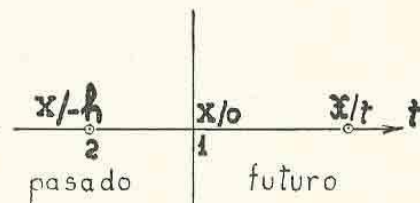


FIG. 3.

Además:

$$\begin{aligned} D_{1x}^2 &= \cos^2 \omega t \\ D_{2x}^2 &= \cos \omega t \cos \omega h - \cos \omega (t + h) = \text{sen } \omega t \text{ sen } \omega h \\ \Delta_{12}^2 &= 1 - \cos^2 \omega h = \text{sen}^2 \omega h \end{aligned}$$

De donde:

$$\mathcal{R}^2 = \cos^2 \omega t + \text{sen}^2 \omega t = 1$$

Luego, se tiene, *casi ciertamente*:

$$x/t = a_0 X/0 + a_1 X/-h$$

siendo  $a_0$  y  $a_1$ , dos coeficientes de regresión a determinar según el método ya indicado. La función aleatoria correspondiente es *ciertamente previsible* y partiendo de *dos* valores anteriores solamente, siendo los otros valores *superfluos*.

Este es el caso en que todos los vectores del espacio de HILBERT que representan los distintos valores de la función  $X/t$ , para todo  $t$ , pertenecen a un *mismo plano*.

El índice de conexión del oscilador se calcula fácilmente:

$$\mathcal{R}^2(h) = \frac{1 - \cos 2\omega h}{1 - \cos \omega h} = 4$$

De donde:

$$\alpha = \frac{\text{Log } 4}{\text{Log } 2} = 2$$

Advirtamos, de paso, que además del oscilador hay una función aleatoria enteramente previsible aún más simple: es la *constante aleatoria* ( $r(h) = 1$ ), previsible partiendo de uno solo de sus valores anteriores. Es el extremo opuesto del inconexo (trayectoria hilbertiana): una recta recorrida con movimiento uniforme.

### 3) LAS FUNCIONES ALEATORIAS ENTERAMENTE PREVISIBLES

Evidentemente, estas funciones desempeñan un papel muy importante en el problema de la previsión, y hay que buscar las magnitudes físicas que les corresponden.

Desde el punto de vista matemático, la teoría de las funciones aleatorias demuestra que las funciones aleatorias previsibles son las funciones *analíticas* (es decir, las que son indefinidamente derivables en media cuadrática).

La presión barométrica se aproxima mucho a ese caso. De ahí que la previsión meteorológica deba comenzar por la de la presión. Los otros elementos que determinan el Tiempo (temperatura, lluvia, viento, etc.) deben relacionarse luego con la presión por las relaciones estadísticas que los ligan a este elemento (relaciones obtenidas aplicando la teoría de la regresión).

### 4) APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE LA REGRESIÓN A LA PREVISIÓN

La teoría de la regresión, en su origen, fué imaginada para descubrir relaciones entre fenómenos *distintos* es decir, en lenguaje matemático, entre dos funciones aleatorias diferentes  $X/t$ ,  $Y/t$ .

Pero nada impide aplicarla también a la búsqueda de la ley de evolución de un mismo fenómeno, vale decir, entre los valores sucesivos de la misma función aleatoria  $X/t$  considerada como *conectada consigo mismo*. Esto es lo que constituye la nueva formulación del problema de

la previsión. Bien entendido el algoritmo matemático, no puede tener valor práctico a menos que se le aplique a funciones aleatorias *previsibles*, es decir, *analíticas*. Vamos a tratar dos formas de aplicación: a) una en forma finita; b) la otra en forma diferencial.

a) sea 0 el instante presente. Se trata de calcular el valor futuro  $X/h = x$  conociendo el valor actual  $X/0$  y el valor anterior  $X/-h$ . Basta aplicar la teoría de la regresión para dos variables.

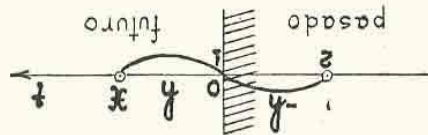


FIG. 4.

El coeficiente de correlación múltiple tiene por expresión:

$$\mathcal{R}^2 = 1 - \frac{\begin{vmatrix} r(h) & 1 & r(h) \\ r(h) & 1 & r(2h) \\ r(2h) & r(h) & 1 \end{vmatrix}}{1 - r^2(h)} = 1 - \frac{\Delta_3}{\Delta_2}$$

o desarrollando:

$$\mathcal{R}^2(h) = \frac{r^2(h) + r^2(2h) - 2r^2(h)r(2h)}{1 - r^2(h)}$$

en el entorno de  $h = 0$ , el desarrollo de  $\mathcal{R}(h)$  se presenta así:

$$\mathcal{R}(h) = 1 - \frac{(\Omega^4 - \overline{\Omega^2}) h^4}{2} + \dots$$

La superioridad de  $\mathcal{R}(h)$  se hace sentir sobre todo cuando  $h$  aumenta, como se advierte comparando los valores de  $\mathcal{R}(h)$  y de  $r(h)$  dados en el ejemplo numérico del Apéndice I.

En el caso de un oscilador, u *onda pura*,  $\mathcal{R}$  es exactamente igual a 1. Lo que disminuye el valor de  $\mathcal{R}$ , en el caso general, es la *dispersión* de las ondas que forman el *paquete*, o mezcla de ondas.

Los coeficientes de regresión se calculan aplicando las fórmulas generales establecidas precedentemente. Se obtiene:

$$\begin{cases} a_1 = r(h) \frac{1 - r(2h)}{1 - r^2(h)} \\ a_2 = \frac{r(2h) - r^2(h)}{1 - r^2(h)} \end{cases}$$

b) Sea 0 el instante presente. Se trata de calcular  $X/h$ , (o  $x$ ) conociendo el valor actual  $X/0 = X_1$  y su derivada primera  $\dot{X}/0 = X_2$ .

Primero es necesario calcular los diferentes coeficientes de correlación

$$r_{12} = \frac{\overline{X_1 X_{-2}}}{\sigma S} = \frac{1}{\sigma S} \overline{X/0 \dot{X}/0} = \frac{1}{\sigma S} \frac{d}{dt} \overline{X^2} = 0$$

(regla de cálculo, párrafo 42).

$$r_{1x} = \frac{1}{\sigma^2} \overline{X/0 X/h} = r(h)$$

$$r_{2x} = \frac{1}{\sigma S} \overline{\dot{X}/0 X/h} = \frac{-1}{\sigma S} \frac{d}{dt} \overline{X/0 X/h} = \frac{\sigma}{S} \frac{d}{dh} r(h)$$

El coeficiente de correlación múltiple es, pues,

$$\mathcal{R}^2(h) = r^2(h) + \frac{\sigma^2}{S^2} \left[ \frac{d}{dh} r(h) \right]^2$$

conforme a la aplicación del desarrollo del párrafo 1.

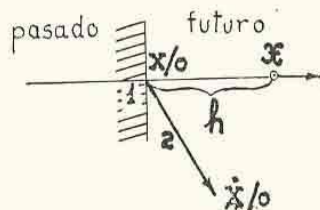


FIG. 5.

La relación  $\frac{S}{\sigma}$ , entre el desvío tipo de la derivada y el desvío tipo de la función, se obtendrá partiendo del coeficiente de autocorrelación (en el entorno de  $h = 0$ ):

$$r(h) = 1 - \lambda^2 \frac{h^2}{2} + \frac{\mu^4}{24} h^4 + \dots \quad \left( \lambda = \frac{S}{\sigma} \right) ; \mu^2 = \frac{T}{\sigma}$$

Busquemos el desarrollo de  $\mathcal{R}(h)$  en el entorno de  $h = 0$ . Se halla:

$$\mathcal{R}(h) = 1 - \frac{\mu^4 - \lambda^4}{8} h^4 = 1 - \frac{\overline{\Omega^4} - \overline{\Omega^2}^2}{8} h^4 + \dots$$

El desvío es aún de 4º orden. Es más débil que el dado por el método a). Los coeficientes de regresión son:

$$a_1 = r(h)$$

$$a_2 = \frac{-1}{\lambda^2} \frac{d}{dh} r(h)$$

Con un pequeño esfuerzo el método se puede extender el caso de tres datos:

$$X_0, \dot{X}_0, \ddot{X}_0$$

Siguiendo la línea general de la teoría de la regresión (identificada con el método de los cuadrados mínimos<sup>3</sup>) los coeficientes de regresión (aquí en número de tres):  $a_1, a_2, a_3$ , son tales que la expresión siguiente es *mínima*:

$$\overline{(X - a_1 X_0 - a_2 \dot{X}_0 - a_3 \ddot{X}_0)^2} = \text{mínimo}$$

Su desarrollo da:

$$\sigma^2 + \sigma^2 a_1^2 + S^2 a_2^2 + T^2 a_3^2 - 2 \sigma^2 r a_1 + 2 \sigma^2 r' a_2 - 2 \sigma r'' a_3 - 2 S^2 a_1 a_3$$

$\sigma, S, T$  son como ya se sabe, los desvíos tipos de la función y de sus derivadas primera y segunda.

$r, r', r''$  son los valores

$$r(h), \frac{dr(h)}{dh}, \frac{d^2 r(h)}{dh^2}$$

de la función de autocorrelación y de sus derivadas primera y segunda en el punto  $h$ .

Las condiciones de mínimo, con respecto a  $a_1, a_2, a_3$ , son:

$$\sigma^2 a_1 - \sigma^2 r - a_3 S^2 = 0$$

$$S^2 a_2 - \sigma^2 r' = 0$$

$$T^2 a_3 - \sigma^2 r'' - S^2 a_1 = 0$$

Si llamamos:

$$r(h) = 1 - \lambda^2 \frac{h^2}{2} + \mu^4 \frac{h^4}{24} + \dots$$

al desarrollo del coeficiente de autocorrelación en el entorno de  $h = 0$  se sabe que se tiene:

$$\lambda = \frac{S}{\sigma}; \quad \mu^2 = \frac{T}{\sigma}$$

Con  $\lambda$  y  $\mu$  el sistema de ecuaciones precedentes se escribe:

$$\begin{cases} a_1 - r - \lambda^2 a_3 & = 0 \\ a_2 + \frac{r'}{\lambda^2} & = 0 \\ a_3 - \frac{r''}{\mu^4} - a_1 \frac{\lambda^2}{\mu^4} & = 0 \end{cases}$$

<sup>3</sup> Cfr. METEOROS, III, 1 y 2-3.

cuya solución es la siguiente:

$$a_1 = r + \frac{\lambda^2}{\mu^4 - \lambda^4} (\lambda^2 r + r'')$$

$$a_2 = -\frac{r'}{\lambda^2}$$

$$a_3 = \frac{\lambda^2 r + r''}{\mu^4 - \lambda^4}$$

La ecuación de regresión:

$$X/h = a_1 X_0 + a_2 \dot{X}_0 + a_3 \ddot{X}_0$$

será exacta para la precisión dada por el coeficiente de correlación múltiple:

$$\mathcal{R}^2 = r^2 + \frac{r'^2}{\lambda^2} + \frac{(\lambda^2 r + r'')^2}{\mu^4 - \lambda^4}$$

que corresponde al error tipo:

$$\sigma \sqrt{1 - \mathcal{R}^2}$$

Para  $h$  pequeño, este  $\mathcal{R}$  difiere de 1 solamente en un término de 6º orden en  $h$ .

## 5) CONCLUSIONES

Al redactar nuestros trabajos sobre el cálculo aleatorio <sup>4</sup> no hemos buscado eludir ni disimular ninguna dificultad técnica. No hemos hablado de *probabilidad* porque no era indispensable y porque esta palabra suele ser muchas veces tomada a mal o mal interpretada.

Sin embargo, podemos resumir aquí las *verdaderas* hipótesis que implícitamente hemos concebido:

a) La *estacionariedad*. No es otra cosa que la creencia en el determinismo del mundo físico, o también en la permanencia de los fenómenos, en la existencia de leyes físicas. Sin este acto de fe preliminar, ninguna ciencia es posible.

b) La *ergodicidad*, es decir, la posibilidad de calcular los promedios *estocásticos* mediante promedios *temporales*.

El problema ergódico ha hecho correr mucha tinta: es uno de esos géneros de problemas que jamás serán *completamente resueltos*, sobre todo porque no puede ser formulado completamente. Por lo tanto, si no se admite la ergodicidad no hay *aplicación* posible de las teorías estadísticas.

La tercera hipótesis en que nos hemos fundado es del dominio del mundo físico. También se podría renunciar a ella, pero entonces el

<sup>4</sup> Cfr. METEOROS, 1 y 2-3.

Cálculo Aleatorio no serviría de gran cosa y se reduciría a una estadística un poco mejorada. Esta hipótesis es la de:

c) la *derivabilidad* (en media cuadrática).

Los únicos elementos físicos susceptibles de *previsión* de una manera que no sea estrictamente estadística (ley de los grandes números) son aquellos cuyo desarrollo cronológico es bastante regular estadísticamente como para prestarse a las operaciones del Análisis Matemático (generalizadas discretamente). Luego, es necesario buscarlos y descubrirlos en la Naturaleza y cuando se tiene uno, tomarlo como base de una *previsión numérica* y relacionarlo con los elementos más caprichosos pero más significativos para el Hombre, los que no se dejan gobernar *directamente* por el Cálculo.

No tenemos, pues más pretensión que ésta: haber forjado una herramienta capaz de morder al mundo natural más profundamente de lo que lo ha sido hasta el momento. Sus condiciones de empleo presentan, por cierto, limitaciones que no podemos conocer más que ensayando la herramienta. En lo que respecta a la Meteorología — considerada universalmente como una ciencia en apasionante evolución — parece en todos los casos campo muy apropiado para este nuevo instrumental.

## APÉNDICE I

### EJEMPLOS NUMÉRICOS

- 1) COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN MÚLTIPLE  $\mathcal{R}(h)$  CON EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN SIMPLE  $r(h)$  (ver parágrafo 4).

de hora en hora	{	$r_{(0)} = 1.000$	$1.000 = R_{(0)}$	de seis en seis horas	{	$r_{(18)} = 0.820$	$0.854 = R_{(18)}$
		$r_{(1)} = 0.9975$	$0.998 = R_{(1)}$			$r_{(24)} = 0.727$	$0.770 = R_{(24)}$
		$r_{(2)} = 0.992$	$0.993 = R_{(2)}$			$r_{(30)} = 0.627$	$0.659 = R_{(30)}$
		$r_{(3)} = 0.986$	$0.988 = R_{(3)}$			$r_{(36)} = 0.527$	$0.549 = R_{(36)}$
		$r_{(4)} = 0.978$	$0.980 = R_{(4)}$			$r_{(42)} = 0.435$	$0.453 = R_{(42)}$
		$r_{(5)} = 0.971$	$0.975 = R_{(5)}$			$r_{(48)} = 0.355$	$0.421 = R_{(48)}$
		$r_{(6)} = 0.963$	$0.969 = R_{(6)}$			$r_{(54)} = 0.287$	$0.326 = R_{(54)}$
3 horas	{	$r_{(9)} = 0.935$	$0.948 = R_{(9)}$	de seis en seis horas	{	$r_{(60)} = 0.231$	$0.299 = R_{(60)}$
		$r_{(12)} = 0.901$	$0.921 = R_{(12)}$				

Cálculo de los coeficientes de regresión para  $h = 12$  (Método a).

$$a_1 = 0.901 \frac{1 - 0.727}{0.188} = + 1.33$$

$$a_2 = \frac{0.727 - 0.812}{0.188} = - 0.93$$

de donde:

$$X/12 = 1.33 X/0 - 0.93 X/-12, \text{ con } \mathcal{R}_{(12)} = 0.921$$

lo que representa un desvío medio (del error)

$$\sigma = \sigma_0 \sqrt{1 - \mathcal{R}^2} = 5 \text{ mb} \sqrt{0.155} = 2 \text{ mb}$$



Com se sabe  $\sigma$  es el error tal que la probabilidad de no sobrepasarlo es  $1/3$ .

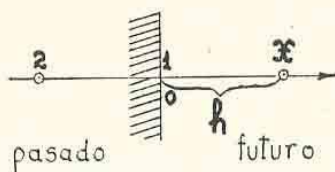


FIG. 6.

Cálculo de los coeficientes de regresión para  $h$  (12) (método b)

$$r(h) = 0.901; \frac{d}{dh} r(h) = [r_{(18)} - r_{(11)}] \cdot \frac{1}{7} = \frac{0.820 - 0.913}{7} = -0.0133$$

$$\lambda^2 = 2 [1 - r_{(1)}] = 0.005$$

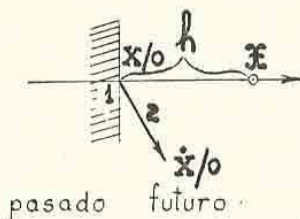


FIG. 7.

de donde

$$a_1 = 0.90$$

$$a_2 = \frac{0.0133}{0.005} = 2.7 \text{ (ó } 2.9 \text{) }^*$$

se tiene:

$$X/12 = 0.9 X/0 + 2.7 \dot{X}/0 \text{ con } \mathcal{R} = 0.92$$

Nota 1: Se verá en las páginas siguientes un ejemplo de aplicación del método b) pero haciendo intervenir la derivada segunda. Resulta que la derivada segunda interviene poco en  $\mathcal{R}$ , pero los parámetros estadísticos correspondientes pueden mejorar los coeficientes de regresión. En este caso las fórmulas completas dan:

$$a_1 = r + \frac{\lambda^2}{\mu^4 - \lambda^4} \left( \lambda^2 r + \frac{d^2 r}{dh^2} \right) = 0.88$$

$$a_2 = \frac{1}{\lambda^2} \frac{dr}{dh} = + 2.9$$

$$a_3 = \frac{\lambda^2 r + \frac{d^2 r}{dh^2}}{\mu^4 - \lambda^4} = - 7,7$$

\* Este valor, 0,0133, puede mejorarse mediante una interpolación más cuidadosa de  $T(h)$ . Se encuentra así  $-0,0146$ , que da  $a' = 2,9$  en lugar de  $2,7$ .

Nota 2: Los cálculos precedentes se refieren al mes de julio de 1942. A título de comparación y para mostrar la *permanencia* de los coeficientes determinados, he aquí los coeficientes de regresión calculados para julio de 1947 (siempre Buenos Aires):

$$a_1 = 0.92 \quad a_2 = 3.4 \quad a_3 = -7.0$$

Igualmente, la derivada segunda no interviene sino muy poco. La ecuación de regresión es:

$$X/12 = 0.92 X/0 + 3.4 \dot{X}/0 \quad \text{con } \mathcal{R} = 0.92$$

## 2) APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN DE REGRESIÓN DE CASOS REALES

En el mes de julio de 1947 la presión media <sup>5</sup> fué de 763,5 mm.

1) El 21 de julio a las 12 h, la conducta del barómetro es la siguiente:

$$\begin{array}{l} -1 \left| \begin{array}{l} 11h \\ 12h \end{array} \right| \begin{array}{l} 758,5 \\ 757,0 \end{array} \end{array} \quad \text{o sea, distan de la media} \quad \begin{array}{l} 11h \\ 12h \end{array} \left| \begin{array}{l} -5 \\ -6.5 \end{array} \right.$$

Se deduce:

$$X/0 = -6.5 \quad \dot{X}/0 = -1.5$$

y la ecuación de regresión da:

$$X/12 = -6.0 - 5.1 = -11.1$$

La presión que debe esperarse el 21 de julio a las 24 h es, pues:

$$763,5 - 11.1 = 752,4$$

La presión observada ha sido exactamente 752,4.

2) El 22 de julio a las 9 h se tiene:

$$\begin{array}{l} -1 \left| \begin{array}{l} 8h \\ 9h \end{array} \right| \begin{array}{l} 756.9 \\ 758.7 \end{array} \end{array} \quad \text{es decir} \quad \left| \begin{array}{l} -6.6 \\ -4.8 \end{array} \right. \quad X/0 = -4.8 \quad \dot{X}/0 = +1.8$$

La presión que se debe esperar el 22 de julio a las 21 h ( $h = 12$ ) es, pues:

$$X/12 = -4.4 + 6.1 = 1.7$$

o sea en valor absoluto

$$763.5 + 1.7 = 765.2.$$

<sup>5</sup> La evolución de la media es suficientemente lenta para que nos podamos basar sobre un promedio anterior. En realidad aquí la media de julio fué establecida sobre 21 días conocidos (21 de julio) y 10 días desconocidos (22-31 de julio).

La presión observada a las 20 h 30 fué de 764,3. Se hubiera obtenido casi exactamente este valor, partiendo de las 8 h 30 en lugar de las 9 h, es decir, utilizando el cuadro:

$$\begin{array}{l|l|l} -1 & 8 h & 756.9 \\ 0 & 8 h 30 & 757.8 \end{array} \text{ o sea } \begin{array}{l} -6.6 \\ -5.7 \end{array} \quad X/0_0 = -5.7 \quad \dot{X}/0 = 2 \times 0.9 = 1.8$$

Luego:

$$X/12 = -5.1 + 6.1 = 1.0$$

es decir a las 20 h 30, presión prevista = 763,5 + 1,0 = 764,5.

El barograma inicial es bastante irregular alrededor del punto inicial; de ahí que surja cierta dificultad en determinar la derivada, lo que nos ha hecho elegir a las 8 h 30 en lugar de las 9 h, en el ensayo rectificado. De cualquier manera el resultado fué satisfactorio (a menos de 1 mb).

3) El 22 de julio a las 18 h se tiene:

$$\begin{array}{l|l|l} -1 & 17 h & 761.6 \\ 0 & 18 h & 764.7 \end{array} \text{ o sea } \begin{array}{l} -1.9 \\ -0.8 \end{array}$$

$$X/0 = -0.8 \quad \dot{X}/0 = +1.1 \quad X/12 = -0.7 + 3.7 = 3 \text{ mm}$$

Presión prevista: 763,5 + 3 = 766,5. La presión observada es 766,3.

*Observación:* Se notará que en los tres casos citados se trata de momentos barométricos relativamente importantes.

3) APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE LA REGRESIÓN A UN EJEMPLO (ver parágrafo 4)

El cómputo de los 31 × 24 valores de la presión barométrica en el Observatorio Central de Villa Ortúzar (Bs. As.) condujo a la función de auto-correlación siguiente:

$$\begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} r^{(0)} = 1.000 \\ r^{(1)} = 0.9975 \\ r^{(2)} = 0.992 \\ r^{(3)} = 0.986 \\ r^{(4)} = 0.978 \\ r^{(5)} = 0.971 \\ r^{(6)} = 0.963 \\ r^{(7)} = 0.954 \\ r^{(8)} = 0.945 \\ r^{(9)} = 0.935 \\ r^{(10)} = 0.924 \\ r^{(11)} = 0.913 \\ r^{(12)} = 0.901 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{de ora en hora} \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} r^{(18)} = 0.820 \\ r^{(24)} = 0.727 \\ r^{(30)} = 0.627 \\ r^{(36)} = 0.527 \\ r^{(42)} = 0.435 \\ r^{(48)} = 0.355 \\ r^{(54)} = 0.287 \\ r^{(60)} = 0.231 \\ r^{(66)} = 0.184 \\ r^{(72)} = 0.144 \\ r^{(78)} = 0.108 \\ r^{(84)} = 0.074 \\ r^{(90)} = 0.039 \\ r^{(96)} = 0.005 \\ r^{(102)} = -0.030 \\ r^{(108)} = -0.064 \\ r^{(114)} = -0.098 \\ r^{(120)} = -0.132 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{de seis en seis horas} \end{array}$$

Estos datos van a ser aplicados al pronóstico de la presión barométrica en Bs. As. con 12 h de anticipación. Por el momento no se trata más que de una previsión *local*, debiendo ser introducido como consecuencia del punto de vista *sinóptico*.

*Problema 1.* — Prever la presión con 12 h de anticipación, conociendo: a) la presión actual; b) la presión 12 h antes; y c) la presión 24 h antes.

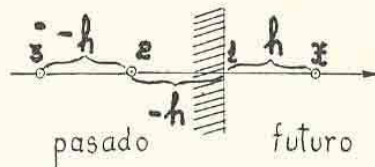


FIG. 8.

Se tiene:

$$\begin{aligned} r_{12} &= 0.901 & r_{23} &= 0.901 \\ r_{13} &= 0.727 & r_{2x} &= 0.727 \\ r_{1x} &= 0.901 & r_{3x} &= 0.527 \end{aligned}$$

La precisión de la previsión se mide por el coeficiente de correlación múltiple

$$\mathcal{R}^2 = D_{1x}^2 + \frac{D_{2x}^2}{\Delta_{12}} + \frac{D_{3x}^2}{\Delta_{123}}$$

de donde:

$$\begin{aligned} D_{1x} &= r_{1x} ; D_{2x} = r_{1x} r_{12} - r_{1x}; \\ D_{3x} &= r_{1x} (r_{12} r_{23} - r_{13}) - r_{2x} (r_{23} - r_{12} r_{13}) + r_{3x} (1 - r_{12}) \end{aligned}$$

se obtiene:

$$\begin{aligned} D_{1x}^2 &= 0.812; D_{2x}^2 = [(0.901)^2 - (0.901)]^2 = (0.089)^2 = 0.79 \times 10^{-2} \\ D_{3x}^2 &= [0.901 (\overline{0.901^2} - 0.727) - 0.727 (0.901 - 0.901 \times 0.727) + \\ &\quad + 0.527 (1 - \overline{0.901^2})]^2 \\ &= [0.077 - 0.179 + 0.099]^2 = (0.003)^2 = 9 \times 10^{-6} \\ \Delta_{12} &= 1 - (0.901)^2 = 0.188 \\ \Delta_{123} &= 1 - \overline{0.901^2} - \overline{0.727^2} - \overline{0.901^2} + 2 \times \overline{0.901^2} \times 0.527 = 0.103 \end{aligned}$$

De donde:

$$\begin{aligned} \mathcal{R}^2 &= 0.812 + 0.042 + 0.00001 = 0.852 \\ \mathcal{R} &= 0.924 \end{aligned}$$

Se ve que la presión de 24 h antes no aporta prácticamente ningún elemento de previsión. El valor del coeficiente de correlación múltiple

es ya notable, sobre todo que no se trata más que de una previsión local (hecha con el único barograma de Buenos Aires).

*Problema 2.* — Prever la presión con 12 h de anticipación, conociendo: a) la presión actual; b) su primera derivada; y c) su segunda derivada.

Siendo la función de auto-correlación:

$$r(h) = 1 - \frac{\lambda^2}{2} h^2 + \frac{\mu^4}{24} h^4 + \dots$$

el coeficiente de correlación múltiple se expresa por:

$$\mathcal{R}^2 = r^2(h) + \frac{1}{\lambda^2} \left( \frac{dr}{dh} \right)^2 + \frac{1}{\mu^4 - \lambda^4} \left[ \lambda r(h) + \frac{d^2 r(h)}{dh^2} \right]^2$$

Los elementos accesorios para el cálculo se determinan sobre la curva de autocorrelación  $r(h)$ , o sobre el cuadro que la representa. Es necesario estudiar la función  $r(h)$ : a) en el entorno del punto  $h = 0$ ; b) en el entorno del punto  $h = 12$ .

a) Representemos en el entorno de  $h = 0$  la curva de autocorrelación por el desarrollo:

$$r(h) = 1 - ah^2 + bh^4$$

donde:

$$\lambda^2 = 2a ; \mu^4 = 24b$$

Para determinar  $a$  y  $b$  se tiene el sistema de dos ecuaciones lineales:

$$0.0025 = a - b$$

$$0.008 = 4a - 16b$$

cuya solución es:

$$b = \frac{0.002}{12} \quad a = 0.0025 + \frac{0.002}{12}$$

de donde:

$$\lambda^2 = 0.005 \quad \mu^4 = 0.004$$

b) en el entorno de  $h = 12$ , representemos  $r(k)$  donde  $k = h - 12$  por la aproximación:

$$r(h) = r(12) + k \frac{dr}{dk}(0) + \frac{k^2}{2} \frac{d^2 r}{dk^2}(0)$$

Empleando los valores de  $r$  para

$$h = 11 \text{ H } (k = -1) \quad \text{y} \quad h = 18 \text{ H } (k = 6)$$

se obtiene el sistema de ecuaciones lineales:

$$0.913 = 0.901 - \frac{dr}{dk} + \frac{1}{2} \frac{d^2 r}{dk^2}$$

$$0.820 = 0.901 + 6 \frac{dr}{dk} + 18 \frac{d^2 r}{dk^2}$$

cuya solución es:

$$\frac{dr}{dk} = -0.0146 ; \quad \frac{d^2 r}{dk^2} = -0.0052$$

Luego:

$$r^2(12) = 0.812 ; \quad \frac{\lambda^2}{1} \left( \frac{dr}{dk} \right)^2 = \frac{146^2}{50} 10^{-4} = 0.0427$$

$$\frac{1}{\mu^4 - \lambda^4} \left( \lambda^2 r + \frac{d^2 r}{dk^2} \right)^2 = \frac{49 \times 10^{-4}}{16} = 0.0003$$

Finalmente:

$$\mathcal{R}^2 = 0.855 \quad \mathcal{R} = 0.925$$

valor algo superior al obtenido por el método de tres puntos.

La segunda derivada interviene muy poco.

*Nota:* Aunque la presión sea una función analítica, es difícil obtener coeficientes de correlación *casi iguales a 1*, teniendo en cuenta la lentitud de convergencia del desarrollo. El punto de vista sinóptico remediará estos inconvenientes, haciendo intervenir la *propagación* de las ondas barométricas.

#### 4) COMPARACIÓN DE LA ECUACIÓN DE REGRESIÓN CON EL DESARROLLO DE TAYLOR (ver parágrafo 4)

En el método llamado *b*) hemos querido calcular la presión con 12 h de anticipación, conociendo solamente:

la presión actual  $X_0$

y su primera derivada  $\dot{X}_0$

(sobrentendido, naturalmente: en el interior de un régimen determinado).

El escepticismo que ante tal pretensión manifiestan en seguida los especialistas, proviene de pensar en una *extrapolación* en el sentido del Análisis clásico, o más precisamente aún, utilizando un desarrollo límite de Taylor.

El objeto de esta nota es poner en evidencia con ejemplos *numéricos* (se cree mejor lo que se ve) la profunda diferencia entre la extrapolación *aleatoria* (ecuación de regresión) y la extrapolación *clásica* (desarrollo de Taylor), de cuya insuficiencia nunca hemos dudado.

Por una parte, recordemos que la extrapolación aleatoria utiliza la ecuación de regresión:

$$\boxed{X/h = a_1 X/0 + a_2 \dot{X}/0}$$

donde los coeficientes (de regresión)  $a_1$  y  $a_2$  se determinan de modo de hacer mínima la expresión:

$$\overline{(X/h - a_1 X/0 - a_2 \dot{X}/0)^2}$$

es decir, el cuadrado del error estadístico, suponiendo, como habitualmente:  $\overline{X^2} = 1$ . Esta expresión se desarrolla así:  $1 + a_1^2 + S^2 a_2^2 - 2 a_1 r(h) + 2 a_2 r'(h)$ , donde  $r'(h)$  designa la derivada  $\frac{dr(h)}{dh}$  en el punto  $h$ . Esta notación (' prima) no podría ser confundida, evidentemente, con la misma utilizada anteriormente para las partes puramente aleatorias de los números aleatorios.

Las condiciones de mínimo dan los valores siguientes para los coeficientes de regresión:

$$a_1 = r(h) \quad a_2 = -\frac{1}{\lambda^2} r'(h) \quad (\lambda^2 = S^2)$$

El error estadístico se mide por:

$$\sigma_e = \sqrt{1 - \mathcal{R}^2}$$

siendo  $\mathcal{R}$  el coeficiente de correlación múltiple, dado por su cuadrado:

$$\mathcal{R}^2 = r^2(h) + \frac{1}{\lambda^2} r'^2(h)$$

El ejemplo del mes de julio de 1942 nos había llevado al valor

$$\mathcal{R} = 0.925 \quad \text{o sea} \quad \sigma_e = 0.380$$

Por otra parte, la extrapolación analítica utiliza el desarrollo (parcial) de Taylor:

$$\boxed{X/h = X/0 + h \dot{X}/0}$$

Corresponde a coeficientes (que ya no son verdaderos coeficientes de regresión):

$$a_1^* = 1 \quad a_2^* = h$$

El cuadrado del error estadístico se mide por

$$(\sigma_e^*)^2 = \overline{(X/h - X/0 - h \dot{X}/0)^2}$$

cuyo desarrollo se obtiene haciendo  $a_1 = 0$ ,  $a_2 = h$ , en el desarrollo general ya calculado, lo que da:

$$\sigma_e^* = \sqrt{2 [1 - r(h)] + 2 h r'(h) + S^2 h^2}$$

con los datos del mes de julio de 1942, el valor de  $\sigma_e^*$  resulta ser:  $\sigma_e^* = 0,754$ .

Le corresponde un  $\mathcal{R}^*$ , que ya no es un verdadero coeficiente de correlación múltiple, igual a:

$$\mathcal{R}^* = \sqrt{1 - (\sigma_e^*)^2} = 0.657$$

Por consiguiente, se comprueba que la extrapolación estadística hace aparecer un valor de previsión muy inferior a la extrapolación aleatoria y, por otra parte, tan débil que no puede ser objeto de una aplicación práctica (de lo que siempre hemos estado convencidos).

Pongamos más de manifiesto la insuficiencia del desarrollo de Taylor aplicándolo a los *mismos casos reales* que hemos dado como ejemplo en la extrapolación aleatoria.

1) 21 de julio de 1942 a las 12 h

$$X/0 = -6.5 \quad \dot{X}/0 = 1.5$$

de donde

$$X^*/12 = -6.5 - 12 \times 1.5 = -24.5$$

lo que corresponde para el 21 de julio a las 24 h, a una presión de

$$763.5 - 24.5 = 739 \text{ mm}$$

en lugar de

752.4 (observado)

752.4 (extrapolación aleatoria).

2) 22 de julio a las 9 h

$$X/0 = -4.8 \quad \dot{X}/0 = 1.8$$

de donde

$$X^*/12 = -4.8 + 12 \times 1.8 = 16.8$$

lo que da, para el 22 de julio a las 21 h, una presión de

$$763.5 + 16.8 = 780.3 \text{ mm}$$

en lugar de

764.3 (observada)

765.2 (extrapolación aleatoria)



3) 22 de julio a las 18 h

$$X/0 = -0.8 \quad \dot{X}/0 = +1.1$$

de donde

$$X^*/12 = -0.8 + 12 \times 1.1 = 12.4$$

o sea, el 20 de julio a las 6 h

$$763.5 + 12.4 = 775.9 \text{ mm}$$

en lugar de

766.3 (observada)

766.5 (extrapolación aleatoria)

Aunque en los tres casos el sentido de la variación (una vez en baja y dos veces en alza) haya sido exactamente previsto, salta a la vista que los órdenes de magnitud son inadmisibles. La importancia dada a  $\dot{X}/0$  (tendencia) es exagerada.

*Observaciones.* — 1) En tanto que la extrapolación aleatoria no puede sino *mejorar* los resultados por la *adición* de nuevos datos (convergencia regular) esto no sucede con la extrapolación analítica. Así, limitándose al primer término del desarrollo de Taylor, es decir, poniendo:  $X/h = X/0$ , el error estadístico sería

$$\sigma_e^{**} = \sqrt{2 [(1 - r(h))]^2} = 0.445$$

o sea, mucho menor ( $\sigma_e = 0.754$ ) que utilizando el segundo término.

2) Cuando  $h$  es pequeño, al punto de poder despreciar sus potencias superiores, el método aleatorio se confunde con el método analítico.

En efecto, en tal caso:

$$a_1 = r(h) = r(0) = 1 \quad \text{y} \quad a_2 = -\frac{1}{\lambda^2} r'(h) = h$$

la ventaja del método aleatorio se nota más y más netamente al aumentar el plazo del pronóstico.

## APÉNDICE II

### EJEMPLO DE "INCONEX": LA SUCESIÓN DE LOS DECIMALES DEL NÚMERO $\pi$

Los decimales del número  $\pi$  aparecen, con razón, ante los ojos de quienes se ocupan de probabilidades y estadística, como un conjunto de cifras distribuidas al azar. Este hecho, constatado por la aplicación de diversos criterios, constituye un motivo de asombro, ya que cada decimal de  $\pi$  no resulta de una tirada al azar, sino de una serie regular

\* Para hacer una aplicación extensiva de estos métodos habrá que proceder de otra manera (máquinas electrónicas).

de cálculos, de modo que cada decimal de un orden dado está *predeterminado*, y todos los que se ocupan de calcularlo deben, necesariamente, hallar la *misma* cifra.

En este ejercicio nos daremos cuenta por un cálculo numérico, que la sucesión de los decimales de  $\pi$  es un excelente ejemplo de *inconex* (función aleatoria sin conexión). El decimal de orden  $n$  será considerado como una función aleatoria del índice entero  $n$ .

Limitemos el ensayo a los 100 primeros decimales. El procedimiento es fácil y sólo exige el *cálculo mental*:

3.14159	26535	89793	23846	26433
83279	50288	41971	69399	37510
58209	74944	59230	78164	06286
20899	86280	34825	34211	70679
(82149).....				

Comencemos por establecer la media de los cien primeros decimales y para ello sumemos primero cada grupo de cinco. Se obtiene:

	20	21	36	23	18
	29	23	22	36	16
	24	28	19	26	22
	28	24	22	11	29
Totales parciales .....	101	96	99	96	85
	<span style="font-size: 1.2em;">}</span> Total general: 477 Media general: 4.77				

Para continuar operando sólo con números enteros, adoptaremos como media el número 5 (en lugar de 4,77), lo cual por otra parte, no cambiará gran cosa los resultados que queremos establecer.

Reemplacemos ahora los cien primeros decimales de  $\pi$  por su desvío con respecto a la media 5. Se obtiene:

-4	-1	-4	0	4	-3	1	0	-2	0	3	4	2	4	-2	-3	-2	3	-1	1
-3	1	-1	-2	-2	3	-2	-3	2	4	0	-5	-3	3	3	-1	-4	4	2	-4
1	4	-2	4	4	-2	2	0	-4	-5	0	3	-3	-5	4	2	-1	4	-1	-1
0	4	-3	-2	-5	2	3	-4	1	-1	-5	1	-3	3	1	-3	-5	3	4	4
3	1	-3	3	-5	-2	-1	3	-3	0	-2	-1	-3	-4	-4	2	-5	1	2	4
(3 -3 -4 -1 4).....																			

Vamos a considerar esta sucesión de cifras como la realización de una prueba de una función aleatoria estacionaria de orden  $n$  y calcular su coeficiente de autocorrelación para  $\beta = \delta_n = 1, 2, \dots$ . Debe emplearse la fórmula

$$r(\beta) = 1 - \frac{1}{2} \frac{\overline{(X_n - X_{n+\beta})^2}}{\bar{X}^2}$$

Para evitar el cálculo de los cuadrados, emplearemos un artificio que consiste en sustituir los desvíos tipos por las desviaciones simples (en valor absoluto), o sea, escribir

$$r(\beta) = 1 - \frac{1}{2} \left\{ \frac{\overline{|X_n - X_{n+\beta}|}}{|\bar{X}|} \right\}^2$$

Esta sustitución es rigurosa en el caso de que la ley de distribución de  $X_n$  y  $X_{n+\beta}$  sea una ley *normal* (Ley de GAUSS-BRAVAIS).

Comencemos por el cálculo de  $|\bar{X}|$ . Para ello sumemos, sin tener en cuenta el signo, las cifras de la sucesión precedente. Se obtiene:

	13	6	15	10
	9	14	14	15
	15	13	15	9
	14	11	13	19
	15	9	14	14
Totales parciales .....	66	53	71	67
	} Total general: 257			
	} Media general: 2,57			

Construyamos ahora el cuadro de las diferencias  $|X_n - X_{n+1}|$ , las que son solamente 99. Se obtiene:

.3344	74122	31226	11542
44210	55152	45260	43826
53660	64241	53629	23550
14713	71752	46462	42810
12468	31463	21210	67612

Efectuemos la suma:

	14	16	14	13
	11	18	17	23
	20	17	25	15
	16	22	22	15
	21	17	6	22
Totales parciales .....	82	90	84	88
	} Total general: 344			
	} Media general: 344/99 : 3,47			

De aquí resulta para  $r$  (1) el valor:

$$r(1) = 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{3.47}{2.57} \right)^2 = 0.0860$$

Las diferencias  $(X_n - X_{n+2})$  se calculan de la misma manera (son solamente 98). Se obtiene:

.018	33330	54104	70612
20231	50647	29386	47568
18306	62265	48387	75205
15362	48623	62224	66691
13622	54523	11131	61173

Las sumas dan

	9	12	14	16
	8	22	28	30
	18	21	30	19
	17	23	16	28
	14	19	7	18
Totales parciales .....	66	97	95	111
	} Total general: 369			
	} Media general: 369/98 : 3.76			

De aquí resulta:

$$r(2) = 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{3.76}{2.57} \right)^2 = -0.0733$$

El error tipo de este coeficiente de correlación es del alrededor de una décima (según el criterio de la estadística aplicada). Debe ser considerado nulo, así como  $r(1)$ .

El cálculo de  $r(\beta)$  podría seguirse; incluso se podrían (lo hemos hecho) emplear más decimales de  $\pi$  (se conocen 720). Sin embargo, este ejemplo bastará para demostrar que la serie de los decimales de  $\pi$  se comporta como un "inconex".

$$r(0) = 1$$

$$r(\beta) = 0 \quad \text{para } \beta \neq 0$$

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONEXIÓN:

Debe aplicarse la fórmula

$$\alpha = \frac{1}{\text{Log } 2} \text{Log} \frac{1 - r(2)}{1 - r(1)}$$

Se obtiene:

$$\alpha = \frac{1}{\text{Log } 2} \text{Log} \frac{1.0733}{0.9140} = 0.23$$

CÁLCULO DE COEFICIENTE DE CORRELACIÓN MÚLTIPLE  $\mathcal{R}$

Propongámonos calcular el decimal de orden  $n+2$  conociendo los decimales de orden  $(n+1)$  y  $n$ .

La depresión del cálculo depende del coeficiente de correlación múltiple  $\mathcal{R}$  cuyo cuadro es:

$$a^2 = r^2(2) + \frac{[1(-0.0733 \times 0.0860) - 0.0860]^2}{1 - (0.0860)^2}$$

De donde  $\mathcal{R} = 0,118$ .

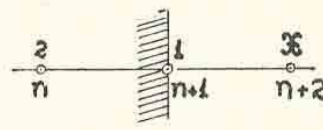


FIG. 9.

Un coeficiente tan pequeño no permite evidentemente *ninguna previsión*, (tanto más por estar  $\mathcal{R}$  afectado de un error tipo del orden de 0,1).

### APÉNDICE III

EJEMPLO DE FORMACIÓN DE UNA SUCESIÓN BROWNIANA POR SUMA DEL "INCONEX"

Por sumación de "inconex" se puede formar una sucesión browniana. El hecho puede establecerse teóricamente de la manera siguiente:

Sea

$$Y_n = X_n + X_{n+1} + \dots + X_{n+p}$$

una suma de "inconex"  $X_i$ .

Se puede considerar a  $Y_n$  como una función aleatoria del índice entero  $n$ .

Vamos a calcular su covariancia (para  $\beta \leq p$ ).

Se tiene:

$$Y_{n+\beta} = X_{n+\beta} + X_{n+1+\beta} + \dots + X_{n+p+\beta}$$

De donde, por sustracción

$$Y_{n+\beta} - Y_n = X_{n+p+1} + \dots + X_{n+p+\beta} - (X_n + \dots + X_{n+\beta-1})$$

Tomemos la medida cuadrática:

$$\overline{(Y_{n+\beta} - Y_n)^2}$$

Como los "inconex"  $X_i$  no están relacionados entre sí y su desvío tipo es igual a la unidad (por definición), la media cuadrática de la diferencia precedente va a ser igual a la suma de  $\beta + \beta = 2\beta$  cuadrados, cada uno igual a la unidad.

Luego

$$\overline{(Y_{n+\beta} - Y_n)^2} = 2\beta$$

Por otra parte  $Y_n$  es, por la misma razón, igual a la suma de  $p$  cuadrados iguales a 1.

De aquí se deduce el coeficiente de autocorrelación de la serie por la fórmula

$$r(\beta) = 1 - \frac{1}{2} \frac{\overline{(Y_{n+\beta} - Y_n)^2}}{Y_n^2} = 1 - \frac{\beta}{p} \quad (\text{para } \beta \leq p)$$

Y, si  $\beta > p$ , está claro que  $Y_{n+\beta}$  no están correlacionadas, puesto que no tienen ningún "inconex" común. La correlación entre  $Y_n$  e  $Y_{n+\beta}$  provenía, precisamente, de que tenían en común una serie parcial de "inconex" (de  $X_{n+\beta}$  a  $X_{n+p}$ ).

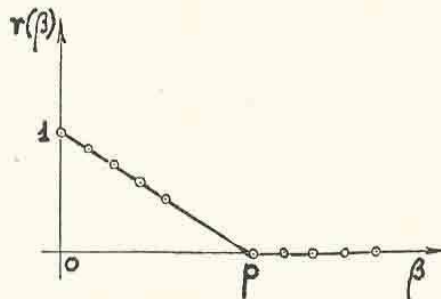


FIG. 10.

La función de autocorrelación  $r(\beta)$  consiste en una serie de puntos discretos, alineados sobre una recta decreciente que corta el eje de las  $\beta$  en

el punto de abscisa  $p$  y en otra serie de puntos alineados sobre el eje de las  $\beta$ .

La función aleatoria correspondiente no es otra cosa que lo que hemos llamado función browniana.

Puede ser considerada como una "especie" de integral del "inconex".

Nos proponemos ahora, utilizando siempre los decimales del número  $\pi$  dar un ejemplo numérico de esta formación de una función browniana por sumación de "inconex".

Efectuemos las sumas de 2 en 2 de los decimales de  $\pi$ .

Así

$$1 + 4 = 5 \quad 4 + 1 = 5 \quad 1 + 5 = 6 \quad 5 + 9 = 14, \dots \text{ etc.}$$

Se llega a la serie siguiente:

5	5	6	14	11	8	11	8	8	13	17	16	16	12	5	5	11	12	10	8	8	10	7	6	11
11	5	9	16	14	5	2	10	16	12	5	10	16	8	7	15	12	12	18	12	10	12	6	1	5
13	10	2	9	16	11	13	13	8	9	14	11	5	3	7	15	9	7	10	4	6	8	10	14	8
2	8	17	18	17	14	8	10	8	3	7	12	10	7	8	7	6	3	2	8	7	6	13	16	17

Efectuemos las sumas por grupos de 5 números:

	41	48	66	46	42
	55	45	46	69	34
	50	54	40	45	46
	62	43	44	26	59
Totales parciales .....	208	190	196	186	181
	Total general: 961				
	Media general: 9.61				

Adoptaremos como media 10, para redondear. Establezcamos ahora las desviaciones con respecto a la media 10.

-5	-5	-4	4	1	-2	1	-2	-2	3	7	6	6	2	-5	-5	1	2	0	-2	-2	0	-3	-4	1
1	-5	-1	6	4	-5	-8	0	6	2	-5	0	6	-2	-3	5	2	2	8	2	0	2	-4	-9	-5
3	0	-8	-1	6	1	3	3	-2	-1	4	1	-5	-7	-3	5	-1	-3	0	-6	-4	-2	0	4	-2
-8	-2	7	8	7	4	-2	0	-2	-7	-3	2	0	-3	-2	-3	-4	-7	-8	-2	-3	-4	3	6	7

Para calcular  $|\bar{Y}|$ , efectuemos las sumas sin tener en cuenta los signos:

	19	10	26	10	10
	17	21	16	19	20
	18	10	20	15	12
	32	15	10	24	23
Totales parciales .....	86	56	72	68	65
	Total general: 347				
	Media general: 3.47				

Construyamos ahora la tabla de las diferencias  $|Y_n - Y_{n+1}|$

.0183	33305	41047	06122	02315
06472	93864	75681	83066	22654
83877	52051	53624	96236	22246
66911	36225	45231	11316	11731

Efectuemos la suma:

	12	14	16	11	11
	19	30	27	23	19
	33	13	20	25	16
	23	18	15	12	13
Totales parciales .....	87	75	78	71	59
	Total general: 370 Media general: 370/99 = 3,74				

Podemos, ahora, calcular el coeficiente de autocorrelación  $r(1)$ :

$$r(1) = 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{3.74}{3.47} \right) = 0.42 \quad (\text{Error tipo } 0.08)$$

la teoría expuesta al principio del ejercicio daría ( $p = 2 ; \beta = 1$ )

$$r(1) = 1 - \frac{1}{2} = 0.50$$

Continuemos ahora con las diferencias de 2 en 2:  $|Y_n - Y_{n+2}|$  (son: 98) :

. .	9	1	5	6	0	0	3	5	9	3	1	4	11	7	6	7	1	4	2	2	1	4	4	
5	6	2	11	5	11	12	5	14	2	11	2	11	2	9	7	5	3	6	0	8	0	4	11	1
12	5	11	1	14	2	3	2	5	4	6	2	9	8	2	12	2	8	1	3	4	4	4	6	2
12	0	15	10	0	4	9	4	0	7	1	9	3	5	2	0	2	4	4	5	5	2	6	10	4

Las sumas dan:

	15	14	28	25	13
	29	44	35	21	24
	43	16	27	26	20
	37	24	20	15	27
Totales parciales .....	124	98	110	87	84
	Total general: 503 Media general: 503/98 = 5,13				

De donde resulta:

$$r(2) = 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{5.13}{3.47} \right)^2 = -0.094 \quad (\text{Error tipo } 0.1)$$

El valor teórico sería ( $p = 2 ; \beta = 2$ )  $r(2) = 0$ .

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONEXIÓN:

$$\alpha = \frac{1}{\text{Log } 2} \text{Log} \left( \frac{5.13}{3.74} \right)^2 = 0.91$$

El valor teórico sería  $\alpha = 1$ .

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN MÚLTIPLE

Se trata ahora de calcular  $Y_{n+2}$  conociendo  $Y_n$  é  $Y_{n+1}$

$$R^2 = \overline{0.42^2} + \frac{(\overline{0.42^2} - 0.094)^2}{1 - \overline{0.42^2}} = 0.1850$$

$$R = 0.43$$



FIG. 11.

El valor teórico sería 0,50.

Se ve, pues, que para la sucesión  $Y_n$  (sucesión de sumas de decimales de 2 en 2), hay posibilidad de previsión parcial. Por otra parte, es necesario notar que no se mejoraría nada tomando sumas de mayor número de términos y  $R$  teórico quedaría siempre igual a 0,5.

APÉNDICE IV

CÓMO SE OBTIENEN SUCESIONES ULTRABROWNIANAS POR SUMACIÓN DE SERIES BROWNIANAS (DOBLE SUMA DEL INCONEX)

TEORÍA:

Se acaba de ver que, sumando el inconex  $X$ , aun solamente de 2 en 2 términos, se obtenía una sucesión browniana  $Y$  (índice de conexión  $\alpha = 1$ ) :

$$\begin{aligned} Y_1 &= X_1 + X_2 \\ Y_2 &= \quad X_2 + X_3 \\ Y_3 &= \quad \quad X_3 + X_4 \\ &\dots \end{aligned}$$

Sumemos ahora la sucesión browniana precedente, de  $p$  en  $p$  términos; sea:

$$\begin{aligned} Z_1 &= Y_1 + Y_2 + \dots + Y_p \\ Z_2 &= \quad Y_2 + \dots + Y_p + Y_{p+1} \\ Z_{\alpha+1} &= \quad \quad Y_{\alpha+1} \dots + Y_p + Y_{p+1} + \dots + Y_{p+\alpha} \quad (\alpha < p) \\ &\dots \end{aligned}$$

Expresando las  $Z$  por medio de las  $X$ , se tiene:

$$\begin{aligned} Z_1 &= X_1 + 2 X_2 + \dots + 2 X_{\alpha+1} + \left| 2 X_{\alpha+2} + \dots + 2 X_p \right| \\ Z_{\alpha+1} &= \quad \quad \quad X_{\alpha+1} + \left| 2 X_{\alpha+2} + \dots + 2 X_p \right| \\ &\quad \quad \quad \left| \begin{aligned} &+ X_{p+1} \\ &+ 2 X_{p+1} + \dots + 2 X_{p+\alpha} + X_{p+\alpha+1} \end{aligned} \right. \end{aligned}$$



Calculemos la covariancia de la sucesión  $Z$ , utilizando la media cuadrática:

$$\overline{(Z_{\alpha+1} - Z_1)^2}$$

Si  $\alpha < p$ , las sucesiones  $Z_1$  y  $Z_{\alpha+1}$  tienen una parte común (indicada entre los dos trazos verticales), y se tiene:

$$Z_{\alpha+1} - Z_1 = X_{\alpha+1} + 2(X_{p+1} + \dots + X_{p+1}) + X_{p+\alpha+1} - X_1 - 2(X_2 + \dots + X_{\alpha+1}) - X_{p+1}$$

Elevemos al cuadrado y tomemos la media, recordando que al ser  $X$  el inconex, se tiene:

$$\overline{X_i X_j} = \begin{cases} 0 & \text{si } i \neq j \\ 1 & \text{si } i = j \end{cases}$$

De donde:

$$\overline{(Z_{\alpha+1} - Z_1)^2} = 1 + 4(\alpha - 1) + 1 + 1 + 4(\alpha - 1) + 1 = 8\alpha - 4 \quad (\text{para } \alpha < p)$$

Calculemos ahora  $\overline{Z_{\alpha+1}^2}$

$$\overline{Z_{\alpha+1}^2} = 1 + 4(p - 1) + 1 = 4p - 2 \quad (\text{independiente de } \alpha)$$

Se obtiene, pues, para el coeficiente de autocorrelación:

$$r(\alpha) = 1 - \frac{\overline{(Z_{\alpha+1} - Z_1)^2}}{2\overline{Z^2}} = 1 - \frac{2\alpha - 1}{2p - 1} = \frac{2(p - \alpha)}{2p - 1}$$

Esta fórmula sólo vale para  $\alpha < p$ . Para valores de  $\alpha$  superiores a  $p$ , está claro que  $r(\alpha) = 0$ , pues las sucesiones  $Z_1$  y  $Z_{\alpha+1}$  no tienen ya parte común. Para  $\alpha = p$  se tiene  $r(p) = \frac{1}{2(2p - 1)}$ .

Construyamos el cuadro de los valores de  $r(\alpha)$  para  $p = 2, 3, 4, 5$

$d \backslash p$	1	2	3	4	5	—
2	2/3	1/6*	0	0	0	0
3	4/5	2/5	1/10*	0	0	0
4	6/7	4/7	2/7	1/14*	0	0
5	8/9	6/9	4/9	2/9	1/18*	0

Las curvas correspondientes están trazadas sobre el gráfico de la Fig. 13. A partir de  $p = 3$  el índice de conexión es:

$$\alpha = \frac{1}{\text{Log } 2} \text{Log} \frac{1 - r(2)}{1 - r(1)} = \frac{\text{Log } 3}{\text{Log } 2} = 1,58$$

\* La fórmula general sufre una ligera alteración:

$$r(p) = \frac{1}{2(2p - 1)}$$

## APÉNDICE V

## MEDIA DE UNA FUNCIÓN BROWNIANA

Una función —y no ya una sucesión— browniana estacionaria es una función aleatoria  $Y/t$  cuyo coeficiente de autocorrelación se define de la siguiente manera:

$$r(s) = \begin{cases} 1 - \frac{s}{\tau} & \text{si } |s| \leq \tau \\ 0 & \text{si } |s| > \tau \end{cases}$$

Su media entre los instantes  $t$  y  $t + \tau$ , es una nueva función aleatoria  $Z/t$ , que se expresa por:

$$Z/t = \frac{1}{\tau} \int_t^{t+\tau} Y/s \, ds$$

La covariancia de esta media es:

$$\overline{Z/t_1 \cdot Z/t_2} = \frac{1}{\tau^2} \int_{t_1}^{t_1+\tau} \int_{t_2}^{t_2+\tau} \overline{Y/s_1 \cdot Y/s_2} \, ds_1 \, ds_2$$

Por ser  $Y/s$  estacionaria, el término bajo el doble signo de integración depende sólo de la variable  $(s_2 - s_1)$ , y de aquí resulta que la integral doble se reduce a una integral simple, que es la siguiente:

$$\overline{Z/t_1 \cdot Z/t_2} = \frac{2}{\tau^2} \int_0^\tau (\tau - s) [r(h + s) + r(h - s)] \, ds$$

donde:

$$h = t_2 - t_1$$

La media  $Z/t$  es, pues, también estacionaria. El cuadrado de su desviación tipo es (en la covariancia se hace  $h = 0$ ):

$$Z/t^2 = \frac{4}{\tau^2} \int_0^\tau (\tau - s) r(s) \, ds$$

De donde su coeficiente de autocorrelación es:

$$\mathcal{W}(h) = \frac{1}{2} \frac{\int_0^\tau (\tau - s) [r(h + s) + r(h - s)] \, ds}{\int_0^\tau (\tau - s) r(s) \, ds}$$

Introduzcamos en lugar de  $r(s)$  la covariancia (browniana) definida anteriormente. El cálculo requiere un poco de atención, a causa de la

forma bastante particular de  $r(s)$ . Da el siguiente resultado, haciendo  $x = h/\tau$ .

$$\begin{cases} 0 \leq x < 1 & W(x) = 1 - \frac{3x^2}{2} + \frac{3x^3}{4} \\ 1 \leq x < 2 & W(x) = 2 - 3x + \frac{3x^2}{2} - \frac{x^3}{4} \\ 2 \leq x & W(x) = 0 \end{cases}$$

La curva representativa está trazada sobre el gráfico anexo (curva D). He aquí algunos valores de  $W(x)$

$x$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2
$W(x)$	1	0.946	0.808	0.622	0.424	0.250	0.031	0

Existe un punto de inflexión para

$$\left(x = \frac{2}{3}, W\left(\frac{2}{3}\right) = 0,56\right).$$

Véase Fig. 12.

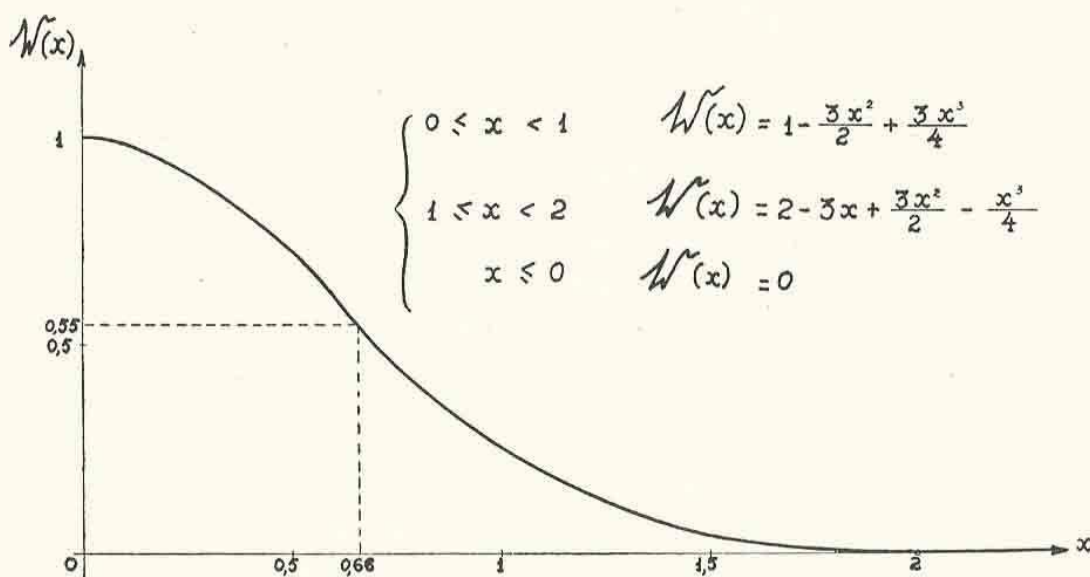


FIG. 12. — Curva de autocorrelación  $W(x)$  de la integral de la Browniana.

En resumen, se ha visto cómo partiendo del inconex se pueden formar:

- a) por sumación sucesiones brownianas;
- b) por sumación de éstas: sucesiones ultrabrownianas;
- c) por integración de una función (y no ya una sucesión) brownianas: una función aleatoria derivable una vez.

Está claro que integraciones sucesivas permitirían obtener funciones 2, 3, ...  $n$  veces derivables. Pero si  $n \rightarrow \infty$ , el límite no parece ser la función analítica más general, sino la función *cierta* de coeficiente de autocorrelación  $r(h) = 1$  (para todo  $h$ ).

APÉNDICE VI

EJEMPLO DE FORMACIÓN DE UNA SUCESIÓN ULTRABROWNIANA A PARTIR DE LOS DECIMALES DE  $\pi$

Sumando de 2 en 2 los decimales de  $\pi$  hemos obtenido una sucesión browniana, que repetimos a continuación:

-5	-5	-4	4	1	-2	1	-2	-2	3	7	6	6	2	-5	-5	1	2	0	-2	-2	0	-3	-4	1
1	-5	-1	6	4	-5	-8	0	6	2	-5	0	6	-2	-3	5	2	2	8	2	0	2	-4	-9	-5
3	0	-8	-1	6	1	3	3	-2	-1	4	1	-5	-7	-3	5	-1	-3	0	-6	-4	-2	0	4	-2
-8	-2	7	8	7	4	-2	0	-2	-7	-3	2	0	-3	-2	-3	-4	-7	-8	-2	-3	-4	3	6	7

Sumando los términos de 2 en 2, obtenemos la sucesión  $Z$ , de la cual nos proponemos estudiar la conexión:

-10	-9	0	5	-1	-1	-1	4	1	10	13	12	8	-3	
2	-4	-6	5	10	-1	-13	-8	6	8	-3	-5	6	4	-5
-2	3	-8	-9	5	7	4	6	1	-3	3	5	-4	-12	-10
-10	-10	5	15	15	11	2	-2	-2	-9	-10	-1	2	-3	-5
-10	-4	3	2	-2	-4	-2	-3	-7	-3					
2	7	4	10	10	2	2	-2	-13	-14					
2	4	-4	-3	-6	-10	-6	-2	4	2					
-5	-7	-11	-15	-10	-5	-7	-1	9	13					

El valor probable de esta sucesión es casi nulo. Calculemos  $|\bar{Z}|$ . Sumando de 5 en 5, sin tener en cuenta los signos, se obtiene:

	24	8	46	21	19
	27	36	23	33	33
	27	21	34	19	24
	55	26	21	48	35
Totales parciales. ...	133	91	124	121	111
	Total general: 580				
	Media general: 580/98 = 5.86				

Calculemos ahora el cuadro de  $|Z_{n+1} - Z_n|$

	1	9	5	6	0	0	3	5	9	3	1	4	11	7	6	7	1	4	2	2	1	4	4		
	5	6	2	11	5	11	12	5	14	2	11	2	11	2	9	7	5	3	6	0	8	0	4	11	1
	12	5	11	1	4	2	3	2	5	4	6	2	9	8	2	12	2	8	1	3	4	4	4	6	2
	12	0	15	10	0	4	9	4	0	7	1	9	3	5	2	0	2	4	4	5	5	2	6	10	4

Efectuemos las sumas:

	15	14	28	25	13
	29	44	35	21	24
	43	16	27	26	20
	37	24	20	15	27
Totales parciales. ....	124	98	110	87	84
	Total general: 503				
	Media general: 503/98 = 5.13				

Podemos ya deducir de esto el coeficiente de autocorrelación para  $\delta_n = 1$ . Es

$$W(1) = 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{5.13}{5.86} \right)^2 = 0.616 \quad (\text{error tipo } 0.08)$$

Recordemos que el valor teórico es  $2/3 = 0,666\dots$

Pasemos ahora a las diferencias  $|Z_{n+2} - Z_n|$ . Tenemos:

	10 14	1 6 0 3 2	14 12 2 5 15	18 1 13 6 5	6 0 1 5 0
9	1 8 9 16	4 23 7 7 16	9 13 9 9 11	2 12 2 3 6	8 8 4 15 12
11	17 6 12 13	4 11 11 3 9	2 8 7 17 6	14 14 6 7 2	7 0 8 10 4
14	12 15 25 10	4 13 13 4 7	8 8 12 2 7	2 2 6 8 1	10 3 6 16 14

Efectuemos las sumas:

	24	12	48	43	12
	43	57	51	25	47
	59	38	40	43	29
	76	41	37	19	49
Totales parciales . . . .	202	148	176	130	137
	Total general: 793				
	Media general: 793/97 = 8,17				

De donde el coeficiente de autocorrelación  $W(2)$ :

$$W(2) = 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{8.17}{5.86} \right)^2 = 0.027 \quad (\text{error tipo } 0.1)$$

El valor teórico es  $1/6 = 0,167$ .

En cuanto al índice de conexión  $\alpha$  es igual a

$$\alpha = \frac{1}{\text{Log } 2} \cdot \text{Log} \left( \frac{8.17}{5.13} \right)^2 = 1.34$$

El valor teórico es de 1,32.

El coeficiente de correlación múltiple tiene por cuadrado:

$$R^2 = \overline{0.616}^2 + \frac{(\overline{0.616}^2 - 0.027)^2}{1 - \overline{0.616}^2} = 0.585$$

$$R = 0.762$$

El valor teórico es 0,764.

## APÉNDICE VII

## INTEGRAL DEL "INCONEX"

Hasta ahora hemos hablado solamente de sumas de *sucesiones* de "inconex", y no de integral de "inconex". Es que el paso al límite de la suma a la integral presenta aquí una particularidad un poco delicada que vamos a explicar. Sea:

$$Y^* = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_{n+2}}{n}$$

la media de  $n$  "Inconex".

Para acercarnos a la noción de integral escribámosla en la forma

$$Y^* = \frac{1}{n} X_1 + \frac{1}{n} X_2 + \dots + \frac{1}{n} X_{n+1}$$

Los  $1/n$  corresponden a intervalos equidistantes  $ds$  del eje de la variable continua  $s$ , y los  $X_i$ , a las ordenadas respectivas.

Para obtener una integral se debe hacer que  $ds$  tienda a cero, aumentando indefinidamente el número de los intervalos ( $n$ ).

Ahora bien

$$\overline{Y^{*2}} = \frac{\overline{X_1^2} + \overline{X_2^2} + \dots + \overline{X_{n+1}^2}}{n^2} = \frac{n}{n^2} = \frac{1}{n}$$

ya que  $\overline{x_i^2} = 1$ ,  $\overline{Y^{*2}}$  tiende a *cero* cuando  $n \rightarrow \infty$ .

Así, con esta definición de la integral —que es la clásica—, el "inconex" tendría siempre una integral *nula*, circunstancia sin interés que hace desaparecer el problema.

Para desplazar la dificultad es necesario generalizar la noción de integral, y llamar integral del "inconex" al límite hacia el cual tiende la (nueva) media

$$Y = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_{n+1}}{\sqrt{n}} \quad \text{cuando } n \rightarrow \infty.$$

La función aleatoria  $Y$  así obtenida no es ya una función nula, y puede ser designada por el símbolo

$$Y/t = \frac{1}{\sqrt{\tau}} \int_t^{t_2+\tau} X/s \sqrt{ds}$$

según la definición de Paul Lévy.

Busquemos su función de autocorrelación. Es:

$$\overline{Y/t_1 Y/t_2} = \frac{1}{\tau} \int_{t_1}^{t_1+\tau} \int_{t_2}^{t_2+\tau} \overline{X/s_1 X/s_2} \sqrt{ds_1} \sqrt{ds_2}$$

Y la integral doble se reduce a una integral simple, pues difiere de cero sólo en el caso en que  $s_1 = s_2$ . (De modo que el dominio de integración no es ya una superficie sino una línea).

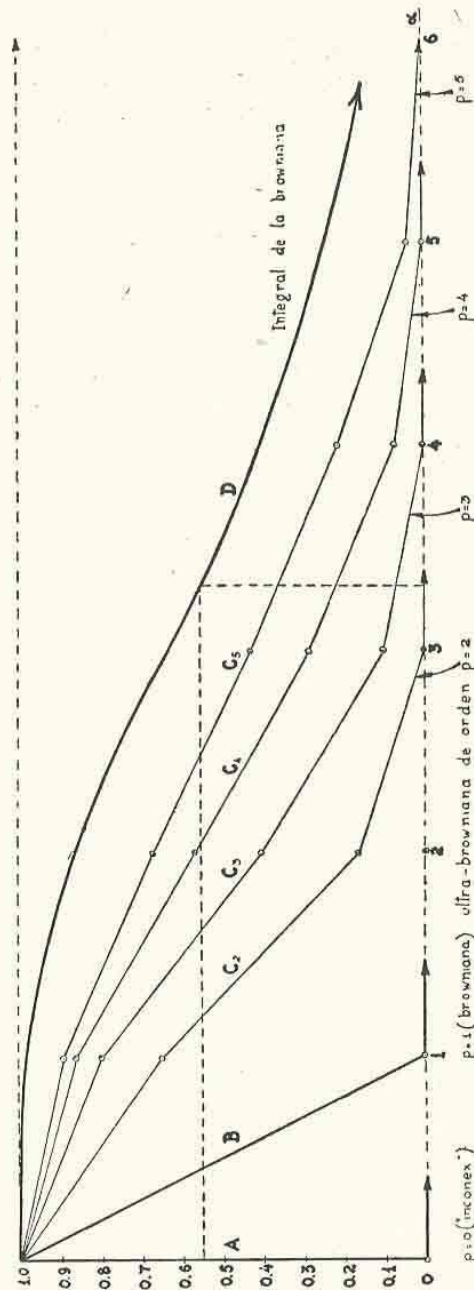


Fig. 13. — Gráfico del «paraguas» que muestra cómo se establece la conexión por sumaciones sucesivas (y en e límite, por integración).

Elemento simple: « Inconex » A.  
 Sumación del « Inconex »; browniana B.  
 Sumación de 2, 3, 4, 5, términos de una serie browniana: C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, C<sub>5</sub>.  
 Integral o media de de una función browniana: D, es una vez derivable.

Se obtiene:

$$\overline{Y/t_1} \overline{Y/t_2} = \frac{\overline{Y^2}}{\tau} \int_{t_1}^{t_1+\tau} d_s = \frac{\overline{Y^2}}{\tau} (\tau - h) \begin{cases} h = t_2 - t_1 \\ h \leq \tau \end{cases}$$

De manera que el coeficiente de autocorrelación es

$$\begin{cases} r(h) = 1 - \frac{(h)}{\tau} & \text{si } h \leq \tau \\ r(h) = 0 & \text{si } h > \tau \end{cases}$$

$Y/t$  es, pues, la función aleatoria browniana, resultado que está en armonía con lo que se obtiene operando con las sucesiones.

Así, partiendo del inconex, se puede formar por vía de integraciones sucesivas (Fig. 13):

1º La función browniana:

2º Funciones 1, 2, ...  $n$  veces derivables.

Pero el límite para  $n = \infty$  no es la función analítica general, sino la función cierta,  $r(h) = 1$ .

Desde el punto de vista matemático, conviene notar una cierta analogía entre estas integraciones iteradas y las sumas de Cesaro (para sumar las series divergentes).



551.594.12

## NUEVO MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE CAPACIDADES EN EL ASPIRADOR GERDIEN

Por CARLOS A. M. MARTINOLI \*

**Resumen.** — Se describe un nuevo método para medir la relación de capacidades eléctricas en el aspirador de iones Gerdien. Está basado en la división de tensión eléctrica que ocurre en la conexión en serie de los condensadores.

**Summary.** — A new method for measuring the electrical capacities ratio in the Gerdien ion-aspirator is described. It is based on the electrical tension division which occurs in the condensers connected in series.

Para obtener el valor de la conductibilidad eléctrica del aire por la conocida fórmula

$$\lambda = \frac{a}{4\pi},$$

en la cual  $a$  es el coeficiente de dispersión eléctrica del aire, definido por

$$a = \frac{-dq}{q \cdot dt} = \frac{-dV}{V \cdot dt}$$

o, si el coeficiente de dispersión se mantiene invariable durante el tiempo  $t$ , dado por

$$a = \frac{1}{t} \log \frac{V_0}{V_t},$$

debe garantizarse la permanencia de una película de aire de conductibilidad eléctrica constante  $\lambda$ , alrededor de cada punto de la superficie del conductor dispersor, y en contacto con ella, durante todo el tiempo que dura la medida.

Esto se consigue en el condensador cilíndrico de radios  $R$  y  $r$ , y de longitud  $l$ , por el método de la corriente gaseosa en condiciones lejanas a la de saturación iónica; es decir, con campo eléctrico y velocidad de corriente de aire en el condensador, tales que el tiempo empleado por el ion en recorrer la distancia  $(R - r)$  por la acción del campo eléctrico interior, sea mucho mayor que el empleado por la corriente gaseosa en desplazarlo a lo largo de su longitud  $l$ . Queda en esta forma garantizado el cumplimiento de la condición necesaria para la validez de la fórmula

$$\lambda = \frac{1}{4\pi \cdot t} \log \frac{V_0}{V_t}$$

\* Profesor de Física. De la Dirección de Investigaciones Meteorológicas e Instrucción del Servicio Meteorológico Nacional.

Para la medida de las diferencias de potencial eléctrico  $V_o$  y  $V_t$  existentes entre las armaduras del condensador cilíndrico del aspirador Gerdien se usa un electrómetro conectado en derivación, debiéndose, por lo tanto, contemplar el factor  $C_T/C_D$ , vale decir, la relación constante para cada instrumento entre la capacidad electrostática total  $C_T$  del sistema conductor aislado, y la capacidad  $C_D$  de la parte del mismo donde se produce realmente la dispersión de la carga eléctrica, por su contacto con la corriente gaseosa ionizada. En este caso la fórmula es:

$$\lambda = \frac{C_T}{C_D} \cdot \frac{1}{4 \pi \cdot t} \log \frac{V_o}{V_t},$$

donde  $C_D$  es la capacidad eléctrica del condensador que tiene como armadura interior el conductor formado por el electrodo interior del condensador cilíndrico y por la parte del vástago de unión al electrómetro que es interior a la armadura exterior del condensador cilíndrico, o sea que tiene como armadura interior la parte constitutiva del sistema aislado, que está expuesta a la corriente de aire.

La capacidad del condensador que tiene como armadura interior todo el conductor que forma el sistema aislado es  $C_T$  y está constituido por el electrodo central del condensador cilíndrico, el sistema aislado del electrómetro y el vástago de unión, teniendo como armadura exterior el conductor que lo rodea.

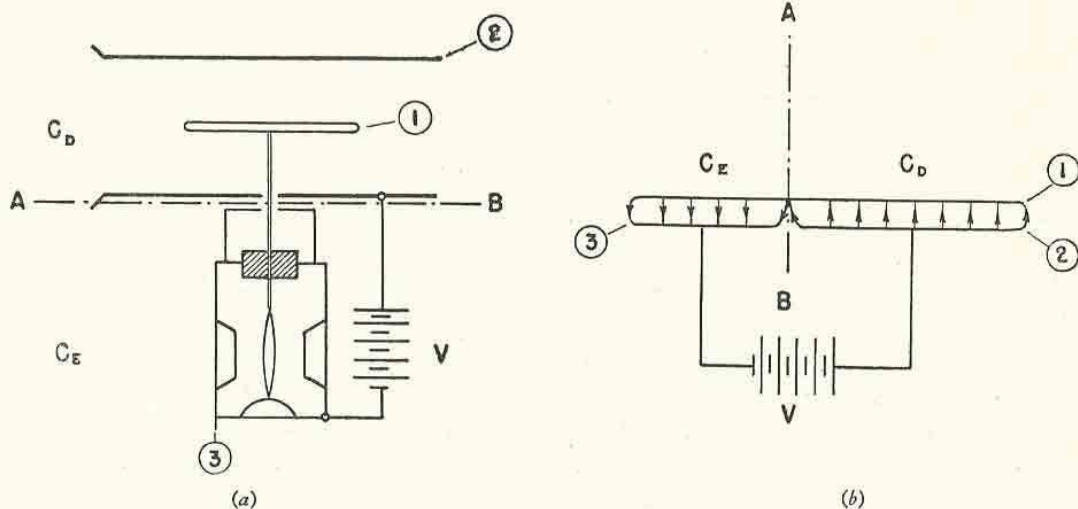


FIG. 1. — Referencias: (a) Esquema del aspirador (conexión serie). (b) Circuito equivalente.

En donde: 1. Sistema conductor aislado. En la conexión en derivación tiene capacidad eléctrica  $C_T \cong C_D + C_E$ . 2. Conductor que rodea la parte del sistema aislado interior al electrodo exterior del condensador cilíndrico. Su capacidad eléctrica es  $C_D$ . 3. Conductor que rodea el resto del sistema aislado; su capacidad eléctrica es  $C_E$ . AB plano donde se divide eléctricamente el sistema conductor aislado en las dos partes de capacidades  $C_D$  y  $C_E$ , respectivamente.

La dificultad reside en la valorización de  $C_D$  (parte activa) y, en menor grado, en la de  $C_T$ , o directamente en su relación  $C_T/C_D$ , sin modificar el aparato.

En efecto, si se deseara obtener un valor aproximado de la relación  $C_T/C_D$  por cualquiera de los métodos conocidos, habría, primeramente,

que cortar el vástago de conexión al electrómetro al nivel de la armadura exterior del condensador cilíndrico con el fin de dividir el conductor aislado total en dos partes de capacidades eléctricas  $C_E$  y  $C_D$ , respectivamente.  $C_E$  es la capacidad del conjunto formado por el electrómetro y la parte del vástago de conexión que es exterior al condensador cilíndrico.

Una vez efectuada esta operación, lo más correcto es recurrir al uso del condensador Harms para obtener los valores de  $C_E$  y  $C_T$  separadamente. Teniendo en cuenta que al conectarse en derivación las capacidades parciales se cumple  $C_T \approx C_E + C_D$ , resulta:

$$\frac{C_T}{C_D} \approx 1/1 - \frac{C_E}{C_T}$$

No disponiéndose del condensador Harms deben adaptarse mangos especiales, contruídos de material de excelente aislación eléctrica, para unir o separar, respectivamente, las dos partes  $C_E$  y  $C_D$  en que ha sido dividido el conductor aislado, y poder así utilizar cualquiera de estas dos relaciones:

$$a) \frac{C_T}{C_D} \approx \frac{V_E}{V_E - V_T} \qquad b) \frac{C_T}{C_D} \approx \frac{V_E}{V_E - V_T + V'_T}$$

correspondiendo la *a)* al método conocido de repartir la carga eléctrica del electrómetro sobre el conductor aislado total, y la *b)*, al que consiste en restar la carga eléctrica del electrómetro a la carga del conductor total, operaciones ambas que por involucrar el uso de mangos aislantes no son muy recomendables, ya que pueden causar pérdidas de cargas, variaciones de capacidad e influencias eléctricas.

Algunos investigadores no han procedido así; sólo se han limitado a tomar como  $C_D$  la capacidad calculada del condensador cilíndrico, despreciando entre otras el efecto de la parte del vástago de unión al electrómetro que es interna a dicho condensador o, a lo sumo, incrementando por estima o intercomparación dicho valor calculado, pues el conjunto es incalculable. Por esta razón han sido publicados valores de la conductibilidad eléctrica del aire sistemáticamente mayores hasta en un 25 % aproximadamente. Seguramente se han visto obligados a proceder así sea por no modificar el instrumento, sea por no disponer de condensador Harms, sea porque los mangos aislantes resultan en este caso de engorrosa manipulación.

La importancia del método ideado, que se describe a continuación, estriba principalmente en su sencillez, pues para su aplicación no se requieren ni condensador Harms, ni mangos aislantes, el uso de los cuales supone la alteración del aparato, sino tan sólo una batería de pilas o fuente de tensión eléctrica constante.

El nuevo método surge del hecho de considerar unidos en serie los condensadores  $C_E$  y  $C_D$ , debiendo los conductores que rodean a las dos partes en que queda dividido el conductor aislado estar eléctricamente aislados entre sí y muy próximos en el lugar donde son atravesados por dicho conductor aislado. Esto puede conseguirse fácilmente en el apar-

to sin introducir modificaciones en su estructura ni alterar las capacidades eléctricas existentes; basta deslizar un poco hacia arriba el aro metálico de unión entre la caja del electrómetro y la armadura exterior del condensador cilíndrico, de manera que queden separadas por un pequeño espesor de aire.

En estas condiciones, si se establece una diferencia de potencial eléctrico  $V$  entre los extremos de la serie formada, o sea, entre la armadura externa del condensador cilíndrico y la caja del electrómetro (vistas (a) y (b) de la Fig. 1), se tiene:

$$V_D \cdot C_D = V_E \cdot C_E \quad \dots \quad \frac{V_D}{V_E} = \frac{C_E}{C_D}$$

y por lo tanto

$$\frac{V_D + V_E}{V_E} = \frac{C_E + C_D}{C_D} \cong \frac{C_T}{C_D}$$

es decir

$$\frac{C_T}{C_D} \cong \frac{V}{V_E}$$

en la cual  $V$  es la diferencia de potencial eléctrico existente entre los polos de la batería, que puede ser leída en el mismo electrómetro.

El valor  $V_E$  debe leerse en el electrómetro inmediatamente después de haber conectado la batería a los extremos de la serie de condensadores  $C_E$  y  $C_D$ , previamente descargados. La lectura ha de ser rápida porque a partir del instante cero (conexión de la batería a la serie, después de su descarga previa) las diferencias de potenciales eléctricos  $V_D$  y  $V_E$  varían, por conductibilidad del aire y por las pérdidas de carga eléctrica a través del aislador del electrómetro.

Naturalmente, lo que precede se refiere a los aparatos Gerdien de estructura conocida y universalmente adoptados, que, como se sabe, utilizan como aislador del sistema aislado el propio del electrómetro, y como vástago de unión, el que va desde el electrodo central del condensador cilíndrico hasta el terminal del electrómetro instalado más abajo.

534.811

## CRONÓMETRO A PÉNDULO DE GRAVEDAD PARA SISMÓGRAFO<sup>1</sup>

Por JOSE MANUEL GUTIERREZ BURZACO \*

**Resumen.** — Se describe el prototipo de reloj cronométrico con péndulo a gravedad construido en los laboratorios del Servicio Meteorológico Nacional. Tiene como detalle original la elevación del punto de suspensión del péndulo sobre el eje del ánora con un sistema de doble lámina elástica, que es considerado mejor que el pivot y otros tipos de soporte. Luego de largos ensayos en el Observatorio Central de Buenos Aires (Villa Ortúzar), el prototipo se encuentra actualmente en funcionamiento normal, en el servicio de la Repartición.

**Summary.** — A description is made of a chronometer with gravity pendulum which as been developed in the laboratories of the Servicio Meteorológico Nacional. Its original detail is the rise of the suspension point of the pendulum over the anchor axis by means of a double elastic lamina. This system is believed to be more effective than that of pivot or of any other kind of bearing. After a long trial in the Observatorio Central Buenos Aires (Villa Ortúzar) the model is finally in use and it works with absolute normality.

### I. DESCRIPCION

Por el interés que actualmente reviste y por el que pueda tener en el futuro creemos oportuno dar idea del prototipo de cronómetro a péndulo de gravedad construido en el Departamento de Instrumental y Laboratorio del Servicio Meteorológico de nuestro país, para aplicaciones sismográficas. Mediante él se dan las señales que constituyen la base de medición del tiempo en los registros de los sismógrafos. Los intervalos se indican con interrupciones en el trazo continuo que la pluma escribe sobre la faja ahumada. Estas interrupciones se realizan cada minuto y tienen una duración aproximada de un segundo, excepto la del minuto correspondiente a la hora que cubre una duración de 5 segundos.

El ejemplar prototipo de este cronómetro fué construido en el Servicio Meteorológico Nacional luego de aprobarse la iniciativa presentada por el operario técnico relojero Julio A. Perreé, quien lo diseñó y asimismo construyó en su mayor parte. Prestó su colaboración en el trazado de los dibujos y cálculos geométricos el señor Oscar Bertotto, proyectista de instrumental del Servicio Meteorológico Nacional.

Se eligió el cronómetro a péndulo de gravedad por sus cualidades de seguridad de funcionamiento, simplicidad y, sobre todo, por su exactitud y regularidad de marcha, y en su proyecto y construcción se tuvieron en cuenta todos aquellos detalles que tornan a un cronómetro de este tipo más preciso y seguro.

\* Ingeniero Civil. Ex-Asesor Técnico de la Dirección de los Servicios Técnicos del Servicio Meteorológico Nacional.

<sup>1</sup> Trabajo presentado originariamente en febrero de 1953, y revisado y presentado para su publicación en noviembre de 1953.

Con el fin de disminuir el ángulo de oscilación del péndulo y con ello mejorar su isocronismo, se elevó su punto de suspensión en 20 mm sobre el eje del áncora, con lo que se consigue llevarlo de  $2^\circ$  a  $1^\circ 30'$  para un mismo ángulo de  $2^\circ$  descrito por la barra de impulsión del áncora. Tal mejora constituye una originalidad dentro de este tipo de relojes.

La suspensión opera por el sistema de lámina elástica doble, teniendo en cuenta su superioridad sobre el sistema a pivot o a cuchilla.

En el eje del áncora lleva un dispositivo de regulación que hace posible modificar su posición con respecto a la barra de impulsión, por lo que la regulación final puede ser hecha una vez armada y colocada en su lugar, con la caja perfectamente sujeta y sin necesidad de tenerla que mover para conseguir que el escape trabaje correctamente.

La rueda de escape es de mayor tamaño que el común, para que las imperfecciones mecánicas que se hallen más allá de la exactitud mecánica obtenible influyan menos. Por otra parte, todo el rodaje es de metal delta, el más liviano compatible con una buena construcción, y todas las piezas se han compensados perfectamente desde el punto de vista de su peso.

En el escape se ha llevado al mínimo de un grado y medio el ángulo durante el cual recibe el impulso, y de medio grado el ángulo de reposo, ángulo descrito por el péndulo durante el cual la rueda de escape se halla detenida por el áncora. Esto exige una construcción con menores tolerancias, pero asegura menor roce y exige menor oscilación.

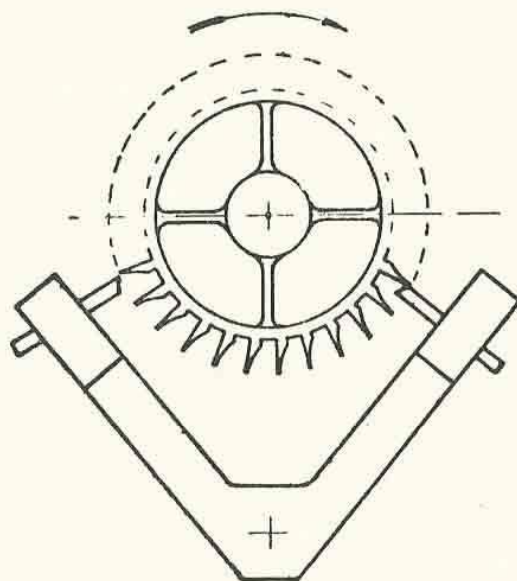


FIG. 1.

El tipo de escape adoptado, Fig. 1, es tal que una mayor o menor fuerza de impulsión no influyen en el período de oscilación del péndulo por cuanto la rueda de escape es detenida por un plano normal a su movimiento, no produciéndose en la misma ningún retroceso.

El péndulo fué proyectado primeramente en su forma más sencilla con la barra de invar y la lenteja de plomo con el que se obtenía sin

ningún dispositivo de compensación una regulación altamente satisfactoria en cuanto a exactitud, teniendo en cuenta el bajo coeficiente de dilatación de dicho material. Esta solución debió desestimarse por las grandes dificultades existentes para conseguir el material invar.

Se estudió entonces la construcción de un péndulo con compensación de temperatura con varillas de acero y de duraluminio, pero por las mismas razones anteriores esta solución hubo de desecharse. Cualquiera de las soluciones anteriores podría haber decidido la construcción si se hubieran agotado los intentos para conseguir los materiales, pero se prefirió la solución que pasamos a describir por la seguridad de su realización en cualquier momento.

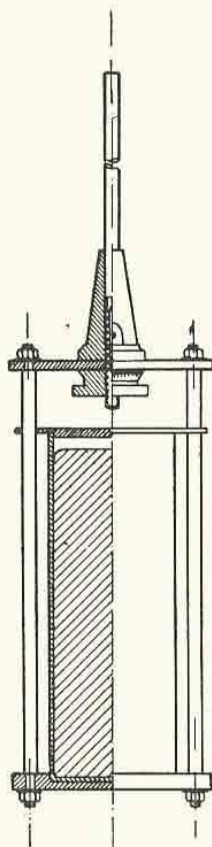


FIG. 2.

La solución adoptada consiste en utilizar como masa del péndulo un cilindro hueco de acero en el que se coloca mercurio. Este sistema permite, variando la cantidad del mercurio y el diámetro del cilindro, conseguir por temperatura la compensación del alargamiento de la varilla del péndulo. Presenta, empero, el inconveniente de ser de transporte difícil.

La forma constructiva adoptada es la de la Fig. 2. Una varilla de acero inoxidable, que constituye la varilla del péndulo, lleva un estribo en su parte inferior y dos varillas del mismo material, que sostienen una cubeta de hierro de 60 mm de diámetro y 160 mm de alto, donde se halla el mercurio. En la unión del estribo a la varilla funciona una

tuerca graduada que permite variar la longitud del péndulo, para su regulación.

La fuerza motriz del reloj está dada por un peso de 1,500 kg suspendido por un hilo de nylon de 1 mm de diámetro arrollado en hélice sobre un tambor que posee la rueda motriz. La duración de la marcha es de 8 días.

El tambor tiene un dispositivo constituido por dos resortes *a*, Fig. 3, mediante los cuales se consigue mantener sobre el rodaje la fuerza necesaria para que no se detenga la marcha mientras se está levantando el peso en la operación de "darle cuerda".

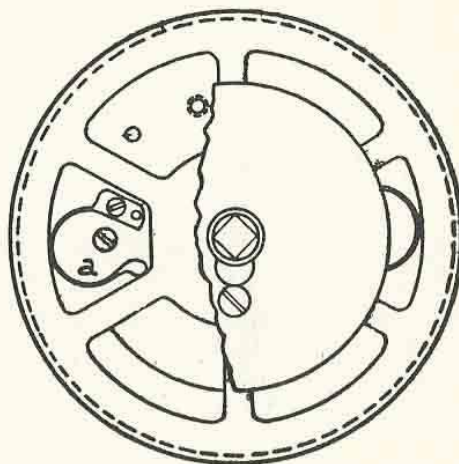


FIG. 3.

Simultáneamente con la construcción de este prototipo, el Departamento procedió a poner en funcionamiento un cronómetro a péndulo adquirido a una firma de plaza y destinado al mismo fin y que tenía el sistema de contactos hecho por la conocida construcción de platinos, en los que se experimentó ciertas dificultades. Tiene este sistema el inconveniente de que, al trabajarse con tensiones bajas y con cargas inductivas, como son las producidas en las bobinas que actúan sobre la pluma del sismógrafo, los contactos se oxidan por la chispa que se produce en cada corte. Para eliminar la dificultad, el autor de este artículo propuso la adopción, para este prototipo, del sistema de contacto de ampolla de mercurio ampliamente usado en la industria, modificando al efecto el proyecto inicial. Obligó ello a iniciar todo el estudio de la parte correspondiente, trabajo en cuyas discusiones técnicas y cambios de opiniones intervino, además de los nombrados, el Ingeniero Faillace, y al cabo de los cuales se llegó al anteproyecto definitivo.

Normalmente se adoptan dos contactos, uno para los minutos y otro para el de la hora de mayor duración. En este caso y a propuesta del técnico relojero J. A. Perreé, se estudió la forma de conseguir con un solo contacto ambas duraciones.

En definitiva, se construyó el sistema en la siguiente forma: una rueda *A* que da una vuelta por minuto lleva tres topes *1*, *2* y *3* de impulsión del áncora *D*, sobre la cual está colocada la ampolla *E* con mercurio que cierra el circuito de la bobina del sismógrafo.



El tope 1 impulsa el extremo I (línea de entrada) del áncora y la saca de su posición de reposo dando lugar a que se cierre el circuito. Simultáneamente el extremo II penetra en un hueco de la rueda A.

Un segundo después el tope 2 impulsa el extremo II (línea de salida del áncora), haciéndola volver a su posición de reposo y abriendo el circuito.

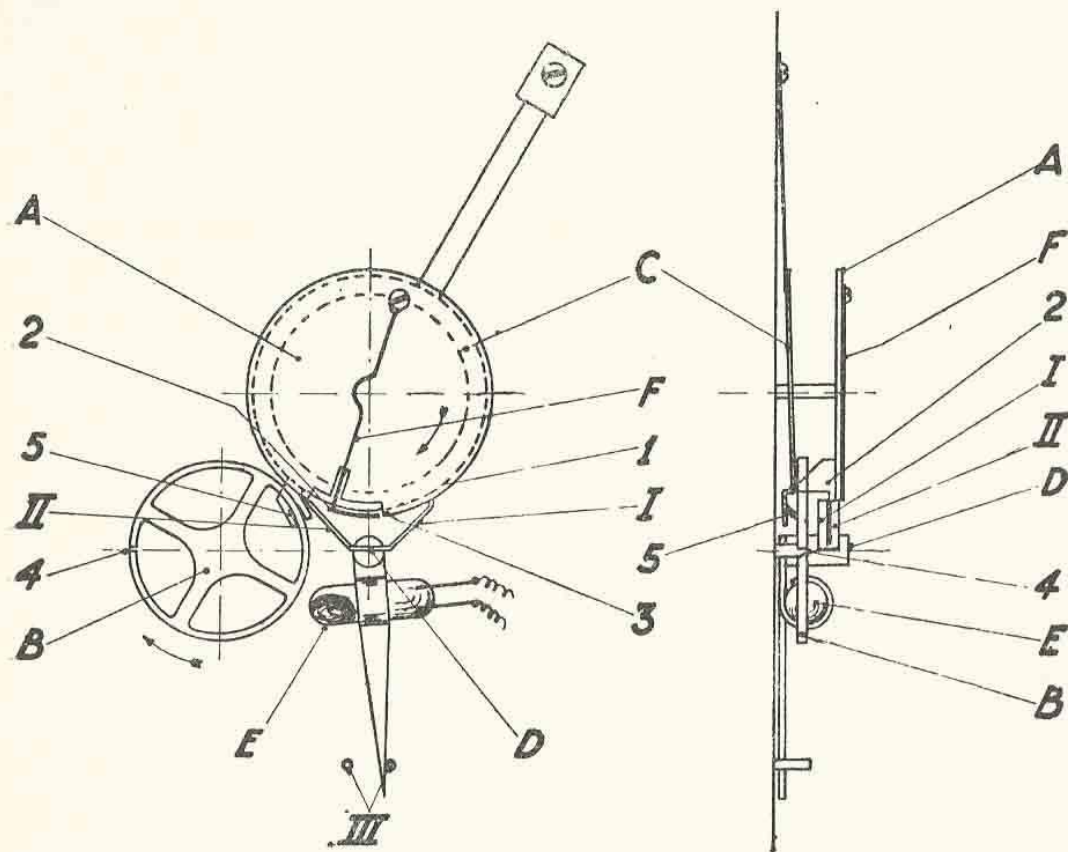


FIG. 4.

No se podría producir un contacto fuera de tiempo pues durante la rotación de la rueda A el extremo II del áncora chocaría contra su periferia, evitándose su vuelco antes de llegar al hueco correspondiente.

Conviene aclarar que sobre la rueda A sólo existe presión cuando algún tope toca un extremo del áncora, y ello ocurre en una fracción de segundo por cada minuto.

En esta forma se efectúan los contactos de un segundo de duración de los minutos 1 a 59 correspondientes a una hora. Como ya se dijo, el de la hora es de mayor duración.

Para conseguirlo, el tope 2 que hace volver al áncora es elevado, con lo que se logra que ésta no retorne hasta que el tope 3 impulse el extremo II, lo que se produce 5 segundos después.

La elevación del tope 2 es controlada por la rueda 3, que da una vuelta por hora, la que tiene una hendidura 4 en la que al penetrar un diente 6 del aro C hace que el mismo levante el tope 2. Venciendo al resorte F, al minuto siguiente dicho diente habrá salido de la hendidura

4, y por lo tanto, el tope 2 volverá a hallarse en posición de actuar sobre el áncora.

El movimiento del áncora se halla limitado por los topes *III*.

## II. ENSAYOS

Finalizada la construcción del reloj fué sometido a una serie de ensayos para determinar con toda exactitud la cantidad de mercurio a colocar en la cubeta del péndulo. Se instaló el reloj en un cuarto cerrado del Departamento de Instrumental y Laboratorios dentro del cual se hizo variar la temperatura ambiente. Se tomaron lecturas durante varios días a distintas temperaturas y se modificó la longitud del péndulo y la cantidad de mercurio, hasta comprobarse que la compensación era perfecta. Luego se completó el ensayo conectándolo al sismógrafo existente en el taller de la Repartición. Se obtuvo así, sobre la faja abumada, un registro que ponía en evidencia el correcto funcionamiento del contacto a mercurio.

Posteriormente se comprobó su marcha regular en el Observatorio Central Buenos Aires (Villa Ortúzar), encontrándose en la actualidad en el Regional de Mendoza donde funciona normalmente.

## NOTAS Y COMENTARIOS

**Acerca de trabajos y proyectos meteorológicos, en Europa.**— En los últimos años las reuniones de las sociedades meteorológicas han incrementado su importancia en la vida científica del hemisferio norte. En su oportunidad tuvimos ocasión de referirnos al Centenario de la Sociedad Real Meteorológica de Gran Bretaña (METEOROS, Año I, Nº 4), y pronto hemos de ocuparnos de las sesiones de la Sociedad Meteorológica Americana en los Estados Unidos del año en curso. Hoy nos detendremos en algunos trabajos y proyectos de interés general, expuestos en ocasión de la reunión conjunta de la Sociedad Alemana de Geofísica y la Sociedad Meteorológica de Hamburgo, celebrada en la ciudad epónima, de larga tradición meteorológica, en el mes de octubre de 1950. Se había escogido la fecha para rendir homenaje a la memoria de Alfred Wegener<sup>1</sup>, gran investigador y explorador que, veinte años antes, encontró la muerte blanca en el hielo continental de Groenlandia sacrificándose por sus camaradas y el éxito de la expedición.

De todas las conferencias y discusiones expuestas durante los cinco días de la jornada científica, da cuenta el voluminoso tomo IV de los *Annalen der Meteorologie*, revista del Servicio Meteorológico del Noroeste de Alemania.

No podemos comentar ni mencionar aquí los cuarenta y dos trabajos separadamente, pero queremos hablar, al menos, de tres de ellos, ya que tocan sendos problemas muy actuales de la meteorología moderna. El discurso que dió M. ROBITZSCH, por ejemplo, no puede menos que llamar la atención por su objeto: el aparentemente modesto HIGRÓMETRO DE CABELLO. Este catedrático de Geofísica y Meteorología de la Universidad de Leipzig, fallecido el 10 de junio de 1952, ha reivindicado la importancia y vigencia actual de ese dispositivo, también en el campo de la Aerología. Pone en evidencia que la variación de la longitud del cabello higrométrico es directamente proporcional al valor de la "relación de saturación" ("Sättigungsgrad"; no confundir con la "relación de mezcla", "Mischungsverhältnis"), defini-

do como relación del valor actual de la tensión de vapor ( $e$ ) y del valor de saturación para la temperatura del termómetro

húmedo,  $t' = \frac{e}{E_t'}$ . Obvio es que este

valor no depende solamente de la humedad del aire, sino, además, de la temperatura y la presión. De tal manera, los valores indicados por un higrómetro de cabello, calibrado con la presión y temperatura fija (la del laboratorio), necesitan una corrección siempre que los valores reales de esos elementos difieran mucho de los del contraste, como es el caso en los niveles superiores de la atmósfera. La publicación a que nos referimos contiene un diagrama que facilita el determinar aquella corrección. Puede deducirse que en el nivel de los cirrus, los valores reales de la humedad relativa son 20 a 25 % más altos, más o menos, de lo que se suponía hasta hoy día.

Este resultado parece muy razonable, y de gran alcance también para problemas que no son específicamente aerológicos. Razonable, a la vista de los valores siempre muy bajos, que se habían medido hasta en la presencia de nubes, en la parte superior de la troposfera. De gran alcance, sobre todo en consideración a las consecuencias que el nuevo resultado trae consigo para los cálculos del balance de radiación en la atmósfera, en los cuales influyen bastante los valores promedios del contenido de vapor de agua. Pues hay que pensar que la gran mayoría de todos los valores de la humedad en la atmósfera libre publicados hasta la fecha, se han obtenido por medio de higrómetros de cabello, y por consiguiente, necesitarían la corrección de Robitzsch.

Ya que los métodos conocidos de Frankenger permiten mejorar considerablemente la función de los cabellos higrométricos en la región de las temperaturas bajas, el descubrimiento de Robitzsch podría dar un nuevo impulso al aprovechamiento del cabello humano en la higrometría; y esto también a las mediciones en superficie, las cuales muestran, no raras

<sup>1</sup> Hermano menor del Profesor Dr. Kurt Wegener, adscrito este último al Servicio Meteorológico argentino 1947-51 y colaborador científico de METEOROS.

veces, diferencias inadmisibles entre los valores del psicrómetro y los del higrómetro o higrógrafo. En este aspecto sería interesante conocer los resultados de los nuevos ensayos de Dobson y colaboradores en Inglaterra, con un instrumento que mide directamente el punto de rocío y que aseguraría buena exactitud en la región de las temperaturas bajas. Pero de tales investigaciones poco es lo que se ha publicado con referencia al problema instrumental de la aerología.

Otro trabajo que llamó la atención de los expertos en la reunión científica mencionada, es el de R. SCHERHAG, primera figura entre los pronosticadores alemanes, y que trata de nuevos métodos de la PREVISIÓN DEL TIEMPO A MEDIO PLAZO. El moderno material aerológico, en particular las topografías de distintos niveles béricos, construídas diariamente para todo el hemisferio norte, ofrecen muchas posibilidades de profundizar y mejorar los métodos en que se basa la previsión de la situación general sinóptica, a un plazo de 3 a 5 días. Con tal propósito, Scherhag ha investigado las relaciones que existen entre las características de las pronunciadas zonas frontales y el curso de la vida de los sistemas alobéricos que se originan en ellas. Se pone de relieve la posibilidad de deducir ciertas reglas sobre la dirección y velocidad del desplazamiento de los sistemas de intensa bajada (siempre definidos por las líneas de igual variación en 24 horas) hasta un plazo de cinco días, lo que corresponde a un camino de 4000 a 6000 Km, más o menos. De inmediato, Scherhag da una aplicación interesante de sus resultados, mostrando que el fracaso de un pronóstico para los días de Pascua de 1950, que había hecho sensación en el público de Alemania occidental, habría sido evitable, si ya se hubiera podido disponer de los métodos y conclusiones de su trabajo.

Toda la exposición muestra lo útil que resulta una prudente combinación de consideraciones sinóptico-aerológicas con procedimientos estadísticos. Puede abrigarse la esperanza de mayores éxitos aún, si se intensifican las investigaciones pertinentes. Con referencia a la previsión del tiempo a medio plazo en la Argentina debe deducirse una vez más la urgente necesidad de obtener observaciones sinópticas para mapas hemisféricos, en la superficie y la altura.

El tercer trabajo expuesto en Hamburgo, del cual queremos ocuparnos hoy, es en sí un resumen de otras publicaciones, pero lo interesante y actual de su tema justifica este comentario.

Dicho resumen, del cual es autor W. PAULSEN, se ocupa de la influencia de los bosques sobre el clima y constituye un informe crítico de las respectivas ideas, planes, experimentos y trabajos prácticos de gran estilo, realizados en los Estados Unidos de Norteamérica ("Shelterbelt-project"), en África ("desertificación"), y en Rusia. Nuestro comentario se referirá exclusivamente a los proyectos de origen ruso, por ser, tal vez, los menos conocidos en la América latina. Se trata del "Plan de forestación, formación de praderas naturales mejoradas y construcción de estanques y embalses para asegurar cosechas grandes y estables en las zonas de estepa y estepa boscosa de la parte europea de la Unión Soviética". Este plan fué dispuesto por el consejo de ministros en el año 1948, y mientras tanto han aparecido varias publicaciones con él relacionados (dos de ellas en idioma alemán: E. GAGARIN, Forestación para proteger los campos en Rusia; Forstwiss. Zentralblatt, Sep. 1949, y E. BUCHHOLZ, La lucha contra la sequía en la Unión Soviética; Mitteilungen der Bundesanstalt Für Forst-und Holzwesen, 1950; ambas con bibliografía rusa). Entre otras medidas, se propone la forestación o reforestación en forma de amplias "cintas protectoras" a lo largo de los grandes ríos y de las líneas divisorias de las aguas, y adicionalmente en forma de fajas de menor anchura, circundando los campos individuales. De las grandes cintas se espera, sobre todo, que sirvan como obstáculo contra la formación o propagación de los temporales de polvo ("tempestades del desierto"), mientras que las fajas circundantes ejercerían más bien su influencia sobre el clima local. Es obvio que el plan prevé la forestación sobre superficies muy extensas. Si se realizara por lo menos parcialmente y se contara con favorables condiciones meteorológicas en los primeros años de las plantaciones, que son los más críticos, luego de unos decenios todo el aspecto fitogeográfico de la región respectiva cambiaría esencialmente y la conocida capacidad de los bosques, de almacenar el agua caída, representaría, sin alguna duda, un factor positivo. Los iniciadores del plan esperan, además, que con esto se desarrolle, paralelamente, un régimen climático más propicio, ya que la alteración de la rudeza de la superficie intensificaría la turbulencia de corrientes aéreas, aumentaría la evaporación de la capa vegetativa durante los períodos húmedos y ocasionaría así cierto aumento de las precipitaciones naturales. Hasta aquí las suposiciones; pero lo interesante del proyecto ruso no consiste en esta esperanza un

tanto vaga, sino en el hecho de que el plan mismo, para su éxito, se basa en la combinación prudente de la forestación en gran escala con otras disposiciones, tales como el cambio del orden agrícola, medidas hidrológicas, y según otras noticias, hasta la desviación de ríos enteros que desaguan, en la actualidad, en el mar Ártico. Ahora bien, por intenso que sea el trabajo a realizar por los rusos, sólo dentro de muchos años el mundo obtendría contestación a la cuestión cardinal del plan, vale decir, a la de si realmente podrán mantenerse los árboles en porción satisfactoria a pesar del inevitable aumento del consumo del agua subterránea. En otras palabras, interesará confirmar si se establecerá un nuevo equilibrio hídrico con la napa freática en un nivel favorable. — W. SCHWERDTFEGER.

#### El concepto de afinidad en los procesos termodinámicos de la atmósfera.

Lavoisier fué el primero en asociar los procesos químicos con los efectos caloríficos. Sus trabajos, junto con los posteriores de Hess, permitieron a Berthelot enunciar en la segunda mitad del siglo pasado el llamado "principio del trabajo máximo". Es con Berthelot con quien aparece el concepto de afinidad como medida del calor desprendido en una transformación química.

Muchos años después Th. De Donder, profesor de la Universidad de Bruselas, introduce la afinidad en termodinámica como una nueva función de estado y en dicha disciplina la aplican y completan varios físicos de su escuela (Defay, Prigogine, etc.). En el campo de la termodinámica de la atmósfera Van Mieghen y Dufour utilizan en sus trabajos la función afinidad para estudiar las transformaciones en los sistemas abiertos (VAN MIEGHEN J. "Thermodynamique Atmospherique", 1943).

La afinidad química se define como la variación que, a consecuencia de una reacción, experimenta la magnitud cuya condición de máximo o de mínimo determina el equilibrio. Cuando se trata de una reacción en condiciones prefijadas (por ejemplo, isotérmica) se demuestra que dicha función es igual a la diferencia entre el trabajo que se obtendría si se operase por vía reversible y el que realmente se obtiene (van't Hoff). En consecuencia, la afinidad es igual al trabajo desperdiciado y resulta nula en las transformaciones reversibles (PALACIOS J. "Termodinámica y Constitución de la Materia", Madrid 1949).

Uno de los problemas fundamentales de la termodinámica clásica radica, precisamente, en determinar analíticamente, sin recursos empíricos, los intercambios energéticos que tienen lugar en condiciones reales, vale decir, de irreversibilidad. De interés es acotar que, en nuestro país, se ha editado no ha mucho un trabajo que aborda dicho problema desde un punto de vista original y al que tuvimos oportunidad de dedicar una reseña en esta misma revista (QUINTERNO E. "Principio General de la Termodinámica" Buenos Aires, 1951).

De Donder estableció el principio de afinidad para un sistema que se encuentre en equilibrio térmico y mecánico, pero no en equilibrio químico, pues las masas de algunos componentes pueden cambiar. Se desprende que solamente las transformaciones químicas son susceptibles de irreversibilidad y que, en cambio, las transformaciones isomásicas son reversibles.

Se definen así las afinidades de vaporización  $A_v$  y de sublimación  $A_s$  y se llega a demostrar que el segundo principio puede escribirse  $dQ = A_v dm_e + A_s dm_g$  donde  $m_e$  es la masa de agua y  $m_g$  la de hielo.

Cabe a MIGUEL AZPIROZ YOLDI ocuparse en la Revista de Geofísica (Año IX, Nº 33. Enero - Marzo 1950. Madrid) de "La afinidad en procesos termodinámicos de interés meteorológico" efectuando su análisis desde un punto de vista más general, criterio que le permite ampliar el campo de sus aplicaciones. En lugar de aplicar el principio a sistemas que estén en todo momento a la misma presión y temperatura, lo extiende a sistemas en que no se cumple esa condición, para lo cual admite que dos parcelas del mismo conjunto a diferente presión y temperatura pueden considerarse como dos fases distintas. Calcula así el valor de  $A_v$  en los diferentes casos que pueden presentarse en la atmósfera considerando al aire como un gas perfecto, sin introducir los coeficientes correctivos de Lewis, que se utilizan cuando se lo estudia como gas no ideal. Luego aplica los resultados obtenidos al estudio de las temperaturas equivalentes y equivalentes potenciales, introduciendo nuevas definiciones de las mismas, derivadas de los procesos reales irreversibles. Por último, mediante una transformación de la fórmula psicrométrica (deducida al suponer que la entalpía que pierde el aire al enfriarse se utiliza para evaporar el agua necesaria para saturarlo), compara los resultados obtenidos con la fórmula experimental de Sprung. Ello le per-

mite valorar el grado de acierto de esa interpretación clásica del funcionamiento del psicrómetro.

El Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España resolvió publicar el trabajo que comentamos en forma de fascículo, otorgándosele al autor el premio "Leonardo Torres Quevedo" 1949. — R. M. QUINTELA.

**Meteorología y Estadística.** — Los cambios de ideas habidos entre los miembros del Primer Coloquio Argentino de Estadística, algunos de ellos pertenecientes al personal científico del Servicio Meteorológico Nacional, inclinan al suscripto a dar a conocer la vinculación íntima existente entre Meteorología y Estadística y la oportunidad de encarar con decisión la etapa de su intercambio recíproco.

Si se piensa que los meteorólogos trabajan sobre una documentación obtenida por *decenas de millares* de observadores diseminados en todo el globo terráqueo, incluidas las regiones que no han sido aún alcanzadas por la civilización, y si se reflexiona en que efectúan *varias mediciones por día* — y aun registros continuos — de una *decena* de elementos meteorológicos, hay derecho a extrañarse, creemos, de que la estadística no se haya convertido aún en el método por excelencia de la Meteorología. Pocos campos de aplicación de la estadística pueden disponer hoy de un material de archivos tan vasto y a la vez tan progresivo, que las fuentes de obtención van acumulando año tras año a un ritmo cada vez más acelerado.

Es comprensible que en la época en que las observaciones meteorológicas eran todavía *locales*, es decir, realizadas en estaciones sin vinculación inmediata o rápida entre ellas, la estadística haya sido la única forma posible de explotación de los datos, en forma de términos medios, desvíos, curvas de frecuencia, etc. No fué otro el origen de la Climatología. Y digamos al pasar que la Climatología no ha excluído nunca el punto de vista *sinóptico*, esto es, la reunión en una misma carta de valores, de un mismo elemento, medido en las diferentes estaciones de la red, para obtener una vista en conjunto de su distribución espacial. Pero el intercambio de datos entre los observatorios, al comienzo lento y tardío, no permitían a estas cartas ser más que de *términos medios* de la atmósfera.

Cuando Le Verrier tuvo la idea de utilizar el telégrafo para la transmisión de los boletines meteorológicos (1854), la

Meteorología entró, y así se dijo, en la *era sinóptica* (por oposición con el período precedente o era climatológica). Se pudo desde entonces trazar día tras día, y luego varias veces al día, cartas que captaban directamente — fotografiaban, podríamos decir — el estado real de la atmósfera en un instante dado, cartas que con el progreso de la radiotelegrafía se extendieron poco a poco a la totalidad del globo terráqueo conocido y a toda la capa de la atmósfera explorada (hasta 25 Km de altura).

Este nuevo aspecto de la Meteorología que nos lleva en breve plazo, como aplicación directa a la Previsión del Tiempo, ha sido llamado de *Meteorología dinámica* y demasiado a menudo se lo ha opuesto, *injustamente*, a la Climatología, la cual, felizmente, no ha cesado de desarrollarse en forma paralela y de aprovechar el aumento de densidad de las redes, así como el perfeccionamiento de la Estadística Matemática y Aplicada.

A estar a lo que dicen, sin embargo, ciertos "dinámicos", la Estadística de ahora en adelante se hallaría prohibida; no habría tiempo normal o anormal, sino solamente el tiempo que existe. Cada situación atmosférica se desarrolla según sus propias particularidades y ciertos imponderables que tan solo el arte del previsionista es capaz de captar, sin poder por otra parte explicar sus criterios y transmitirlos a otros. Esta posición no se puede sostener por mucho tiempo. Constituye en el campo del conocimiento humano el estado de la Magia de Frazee. Por otra parte, es seguro que el previsionista intuitivo utiliza más o menos inconscientemente su experiencia del pasado y su conocimiento profundo del clima de la región respecto de la que ejerce su actividad práctica, de tal modo que si se le cambia de país o si debe emitir sus pronósticos en zonas fuera de su dominio habitual, lo más probable es que se desconcierte. Pues él establece necesariamente — aunque es probable que sin saberlo él mismo —, estadísticas mentales en gran parte *subjetivas*. No pueden éstas tener en caso alguno el valor *objetivo* de estadísticas numéricas bien conducidas, capaces de oponer a los enunciados vagos del empirismo el implacable rigor del lenguaje de las cifras.

Se ha operado particularmente en el transcurso de la última guerra, una reacción contra este intuicionismo excesivo, y los estados mayores beligerantes han otorgado importancia a los estudios climatológicos más vivos y más fundados en los casos reales. Es la vía de la climatología *dinámica*.

Pero la evolución de los conceptos estadísticos y los progresos recientes de la Estadística Matemática tienden a llevarnos a cambios mucho más profundos en Meteorología. Queremos hablar aquí de la teoría de las funciones aleatorias cuya aplicación a la Meteorología es completamente nueva, y a nuestro entender, hecha por primera vez en la República Argentina. Muestra que es falso traducir *estadística* por *estática*, y que no hay ninguna razón para negar a la estadística el carácter *dinámico*. Aun un problema tan típicamente dinámico como el de la previsión del tiempo en un plazo tan corto como 24 horas justifica perfectamente los métodos estadísticos avanzados.

Además, es la única vía científica para atacar el problema, habida cuenta de la ignorancia en que nos encontramos respecto a las leyes de la Mecánica de la Atmósfera, todavía por descubrir. El método estadístico —al que mejor llamaríamos *estocástico* para depurar la palabra estadística de los vicios que le son injustamente atribuidos— es tan capaz de prever el tiempo del día siguiente, a partir de las cartas anteriores, como el método *empírico*. Decimos empírico porque se aleja en realidad por entero en las aplicaciones de las ecuaciones de la Hidrodinámica, sobre las que injustamente pretende fundarse.

Las publicaciones que citaremos al finalizar el comentario, seguidas por muchas más, contienen en forma condensada los primeros resultados logrados en la República Argentina, al aplicar las ideas de esta nueva rama de la Estadística que constituyen las funciones aleatorias. Estas publicaciones no tienen otra aspiración que la de constituir un ejemplo orientador para un trabajo más sistemático y extenso.

Todo trabajo extenso exige a la vez grandes medios de información y de computación. De modo que la aplicación a la Meteorología de los nuevos Métodos Estadísticos dará su total rendimiento tan sólo cuando se disponga de equipos de máquinas de calcular de gran capacidad adaptadas al cálculo de coeficientes de correlación y al desarrollo de determinantes hasta de un orden bastante elevado.

Es indispensable, también, que las nuevas ideas penetren profundamente en el espíritu de los meteorólogos del mundo entero, hasta prevalecer sobre las reacciones inevitables que toda modificación de doctrina y la aceptación de nuevos conceptos determinan, moderna conciencia que puede originar cambios profundos en la organización de servicios centrales y redes, y hasta influir en la elección y formación del personal técnico y científico.

Aparte de las publicaciones numéricas que han sido editadas hasta ahora, debemos señalar las aplicaciones de orden *teórico*, consistentes en renovar las ecuaciones de la Hidrodinámica, adaptándolas a los nuevos conceptos (momentos estadísticos, variancias y covariancias), aplicación que debería ser seguida por un programa de orden *experimental*, encarando la realización de instrumentos (instrumentos estadísticos) capaces de medir *directamente* los valores que deben introducirse en las nuevas ecuaciones.

Todo lo antedicho nos lleva a pensar que, en lo que respecta a los objetivos que están a nuestro alcance, deberíamos comenzar por difundir en la forma más simple y comprensible posible el concepto aleatorio (es decir, los rudimentos de la teoría de las funciones aleatorias), luego exponer y desarrollar el mismo concepto en una forma matemática más sistemática y más estricta; por fin, encarar un programa instrumental correlativo, sin abandonar por ello la explotación *intensiva* (y no *extensiva*) de las aplicaciones de la Meteorología sinóptica.

Y afirmamos una idea de fecunda cooperación: creemos que llegará el día en que meteorólogos y matemáticos trabajarán en común en la solución de los grandes problemas de la atmósfera. — EMILIO A. M. MACHADO.

#### PUBLICACIONES APARECIDAS

- DEDEBANT, G. — « Sobre la previsión estadística del tiempo ». *Meteoros*, Año I, Nº 4, diciembre 1951, pág. 251-276.
- DEDEBANT, G. y DI MAIO, R. — « Isocorrelación bórica aplicada a la República Argentina ». *Meteoros*, Año II, Nº 1-2, enero-junio 1952, pág. 23-49.
- DEDEBANT, G. y MACHADO, E. — « Cálculo del promedio mensual de temperatura en base a las tridiurnas ». *Meteoros*, Año II, Nº 3-4, julio-diciembre 1952, pág. 190-203.
- DEDEBANT, G., DI MAIO, R. y MACHADO, E. — « Los números aleatorios y su aplicación a la meteorología ». *Meteoros*, Año III, Nº 1, enero-marzo 1953, pág. 31-53.
- DEDEBANT, G., DI MAIO, R. y MACHADO, E. — « Las funciones aleatorias y su aplicación a la meteorología ». *Meteoros*, Año III, Nº 2-3, abril-setiembre 1953, pág. 140-173.
- DEDEBANT, G., DI MAIO, R. y MACHADO, E. — « La previsibilidad de las funciones aleatorias ». *Meteoros*, Año III, Nº 4, octubre-diciembre, 1953, pág. 395-428.

## ACTUALIDADES

### **Primera Reunión de la Asociación III de la Organización Meteorológica Mundial, en Río de Janeiro**

#### **Elección de Presidente y Vice**

Conforme a lo previsto se desarrolló en Río de Janeiro la asamblea del epígrafe, entre el 15 y el 25 de septiembre, llegándose a conclusiones de interés para las futuras actividades de orden operativo, técnico y científico de los países miembros asociados. Presidió la asamblea el titular de la Regional III, Ing. Francisco Xavier Rodrigues de Souza, Director del Servicio Meteorológico del Brasil, ejerciendo la vicepresidencia, en su carácter de titular, el Cap. de Fragata (R) Carlos Núñez Monasterio, Director General del Servicio Meteorológico argentino. La Secretaría General fué desempeñada por el Prof. J. C. Junqueira Schmidt, miembro de la delegación del Brasil, y el señor J. L. Galloway representó en todas las deliberaciones al Secretariado General de la OMM. A las delegaciones de los países integrantes de la Regional III — Argentina, Brasil, Ecuador, Francia, Paraguay, Perú, Surinam, Territorio Británico del Caribe, Uruguay y Venezuela — se unieron en calidad de observadores delegados de Estados-Miembros de otras regionales — Africa Occidental Francesa, Estados Unidos de Norteamérica, y República Dominicana —. Concurrieron asimismo representantes de Estados no miembros de la OMM — Bolivia, Chile y Colombia —; los de Agencias Especializadas de las Naciones Unidas — FAO, OACI, UNESCO —; y de organizaciones diversas de la República del Brasil. Hallábanse presentes delegaciones de los estados y territorios de toda América del Sud.

El presidente de la Regional III declaró iniciadas las jornadas el 15 de septiembre a las 10.30 horas ante la presencia del Doctor Joao Austregesila de Athayde, representante del vicepresidente de la República del Brasil; el Doctor Joao Cleophas, Ministro de Agricultura del Brasil; y de representantes de los Ministros de Defensa, Relaciones Exteriores, Justicia, Trabajo y Hacienda. El Ministro de Agricultura, en nombre del Gobierno del Brasil, dió la bienvenida a los asistentes, correspondiendo al Cap. de Fragata (R) Carlos Núñez Monasterio, en su carácter de Delegado Principal de nuestro país, agradecer en nombre de los convocados las palabras de recepción.

En la séptima y última sesión plenaria celebrada el 25 de septiembre se procedió, conforme al Orden del Día, a la elección de Presidente y



Vice de la Asociación Regional III. La asamblea se pronunció unánimemente por la reelección de los actuales titulares: Presidente, el Ing. Francisco Xavier Rodrigues de Souza, Director del Servicio Meteorológico del Brasil, y Vicepresidente, el Cap. de Fragata (R) Carlos Núñez Monasterio, Director General del Servicio Meteorológico Nacional de la República Argentina.

En breve resumen damos idea del tratamiento acordado a los asuntos del Temario.

*Informe del Presidente.* — Fué aprobado por la Reunión.

*Comités.* — Se constituyeron tres: el COMITÉ DE REDACCIÓN, presidido por el Profesor Alfredo A. Crespi, de la delegación argentina; el COMITÉ DE TRABAJO « A », presidido por el Ing. L. R. Ratisbona, de la delegación del Brasil, que atendió las cuestiones relacionadas con meteorología sinóptica, marítima y aeronáutica, incluyendo telecomunicaciones; y el COMITÉ DE TRABAJO « B », presidido por el Capitán de Fragata (R) Carlos Núñez Monasterio, de la delegación argentina, que encaró los asuntos relacionados con climatología, meteorología agrícola, instrumental, investigaciones y asistencia técnica.

*Examen del Reglamento Técnico.* — Los proyectos de Reglamentos Técnicos Provisionarios formulados por las Comisiones Técnicas de Climatología, Instrumentos y Métodos de Observación, Meteorología Marítima y Meteorología Sinóptica se hallaban a disposición de los miembros para su consideración. La Reunión decidió recomendar al Comité Ejecutivo su adopción por parte de la AR III. (Rec. P-1).

*Medidas para acelerar la ejecución del Programa Técnico.* — A través de las deliberaciones se formó conciencia de la necesidad de acelerar el programa técnico, a efectos de los cual se decidió que los Presidentes de los Grupos de Trabajo deberán mantener estrecho contacto con el Secretariado de la OMM. (Res. P-1).

*Códigos meteorológicos.* — Un gran número de cuestiones fueron discutidas al tratarse la aplicación regional de los códigos aeronáuticos, y modificación del código sinóptico. Con referencia a este tópico se adoptaron las Res. A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7 y las Rec. A-1 y A-2.

*Reducción de la presión atmosférica en los mensajes sinópticos.* — Se adoptó una medida para ser aplicada a las estaciones de baja altura, como las define la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación, como así también para las otras estaciones y para las estaciones de altura de las cuales se desconoce su altitud exacta. (Res. A-5).

*Normalización de instrumentos en América del Sud.* — Decidióse mantener la Res.

3 de la 4ª Reunión de la CR III de la OMI y establecer que la calibración y comparación de instrumental debe ser siempre efectuada de acuerdo con las últimas recomendaciones de la CIMO (Res. P-2).

*Red de estaciones sinópticas y estaciones de observación con globos pilotos.* — La complejidad del tema obligó a la creación de un pequeño grupo de trabajo dentro del Comité « A » que, presidido por el Delegado argentino, contaba con la colaboración de los Delegados de Venezuela, EE. UU. de Norteamérica y OACI. El Anexo a la Re. A-8 relaciona las estaciones actualmente en funcionamiento y las necesarias para completar una red mínima que sirva para todas las finalidades, inclusive aviación.

*Redes de estaciones de radiosonda y radioviento.* — Este asunto fué considerado conjuntamente con el punto anterior. Las exigencias mínimas se hallan incluídas en el Anexo de la Res. A-8 anteriormente mencionada.

*Redes de observaciones de parásitos atmosféricos y de estaciones de radar.* — El único país americano que realiza algún trabajo en el problema de los parásitos atmosféricos es la República Argentina, a la cual se pidió informara a los Miembros de los resultados de sus experiencias en este asunto. (Res. A-10). No se adoptaron recomendaciones para el uso del radar.

*Vuelos de reconocimiento meteorológico.* — Comprendiendo que el establecimiento y mantenimiento de los vuelos de reconocimiento meteorológico de rutina no se halla dentro de las posibilidades actuales de la mayoría de los países de la América del Sud, la AR III recomendó que los miembros utilicen los vuelos que realizan los aviones militares para lograr el máximo posible de informaciones meteorológicas. (Res. A-17).

*Centros de análisis para la Región III.* — Se introdujo una pequeña modificación en la división de las áreas atribuídas a los centros de análisis en la región y, con el fin de cooperar con el Brasil en la preparación del análisis para su área de responsabilidad, se establecieron dos sub-áreas de análisis (Res. A-11).

*Emisiones nacionales subcontinentales y continentales.* — Se decidió mantener la Res. 24 de la 4ª Reunión de la CR III de la OMI y estudiar el posible establecimiento de un centro de emisión subcontinental en el NW de América del Sud ubicado probablemente en Maracay. Al mismo tiempo se pidió el grupo de trabajo de Telecomunicaciones que examine una distribución más racional de los centros de emisiones subcontinentales de América del Sud. (Res. A-15).

*Meteorología Marítima.* — Se recibió con verdadero agrado la comunicación del Brasil decidiendo establecer un buque estacionario en el Golfo de Santa Catalina. Igualmente apoyó el uso de un banderín para los buques seleccionados. (Res. A-16 y Rec. A-3). Los restantes puntos del temario relativos a estos tópicos se encaminaron al Grupo de Trabajo de Meteorología Marítima.

*Mensajes meteorológicos para aviación.* — Se admitió que las observaciones horarias para aviación eran tema de la OACI y no se adoptó en consecuencia ninguna resolución formal sobre el tópico. Fué sancionada, sin embargo, una resolución pidiendo a los miembros que pongan en vigencia las especificaciones relativas a los Servicios Meteorológicos para la navegación aérea, internacional (publicación 7ª/1 OMM). (Res. A-12).

*Datos CLIMAT.* — Dado que la Res. 35 de la 4ª Reunión de la CR III de la OMI contempla íntegramente la cuestión de los mensajes Climat, se la mantuvo, debiendo ser completada por la Rec. N° 15 CMS/I (Res. A-13).

*Preparación de un Atlas Climático para América del Sur.* — Ninguna resolución se adoptó al respecto, encaminándose el asunto al Grupo de Trabajo en Climatología, para ser estudiada la posibilidad de su publicación y las derivaciones a ella inherentes. (Res. P-4).

*Cooperación Regional en materia de Hidrología.* — Se decidió llevar a la práctica las medidas recomendadas por la CR III de la OMI (Res. B-3, Rec. B-2).

*Problemas relativos a la Meteorología Agrícola.* — Se estudió este importante tópico en forma detallada contando con la colaboración valiosa de FAO y otros peritos. Se adoptaron resoluciones sobre varios aspectos de meteorología agrícola incluyendo la relación entre las cosechas y los factores meteorológicos; aplicación de la meteorología en la lucha contra la langosta y los estudios sobre radiación solar y fenología. Al presentar el Comité « B » tales resoluciones en la sesión plenaria, señaló: « El continente sudamericano es de colonización relativamente reciente con gran potencialidad en la agricultura y forestación y así

ofrece una base excepcionalmente para el desenvolvimiento de la meteorología agrícola. El uso de métodos científicos inteligentemente dirigidos promoverá en un grado acentuado la contribución de América del Sud en la economía mundial. (Resoluciones: B-1, B-2, B-3, B-4, B-5, B-6, B-7 y B-14).

*Zonas áridas.* — Habiendo sido informados de los trabajos que están realizando la OMM y la UNESCO en este aspecto, la AR III estableció para los miembros ciertas directivas de carácter general incluidas en una compendiada resolución. (Res. B-9).

*Tercer Año Geofísico Internacional.* — La AR III, tomando conocimiento de los planes preparados en este aspecto, insta a los miembros que cooperen al máximo en el desarrollo de dicho programa. (Res. P-3).

*Asistencia Técnica.* — Se dió importancia a la carrera del Doctorado en Ciencias Meteorológicas que se dicta en la República Argentina, cuya Universidad de Buenos Aires es la primera de la América del Sud que se aboca a este problema, motivando ello la Res. B-10, por la cual se sugiere a los Estados Miembros la inscripción en dicha Universidad de los candidatos que al efecto se seleccionen.

*Establecimiento de Grupos de Trabajo.* — Se establecieron cinco grupos de Trabajo, determinándose que el Presidente invite a todos los Estados Miembros para participar y designar candidatos. Se consideró que la Regla 32 del Reglamento General brinda a los Estados no miembros una oportunidad para participar en el trabajo de estos Grupos. (Res. P-4).

*Relaciones entre el clima y la salud.* — Se admitió que la contribución más útil a cumplirse por los Miembros lo sería en el campo de la bioclimatología, particularmente en conexión con las estaciones de altura (Res. B-11).

*Regiones tropicales húmedas.* — Apoyando la recomendación de la Comisión Técnica de Climatología sobre esta cuestión, la AR III estimó que especial importancia debe ser dada al estudio de las extensas áreas tropicales húmedas de América del Sud, y solicitó que los Miembros estudien la extensión de esas áreas en sus respectivos territorios. (Res. B-8, Rec. B-1).

*Compilación de una bibliografía meteorológica para América del Sud.* — Apreciando la necesidad de una bibliografía meteorológica para América del Sur, la AR III invita a los miembros a remitir copias de sus biografías nacionales al Secretariado General de la OMM y a la American Meteorological Society (Res. B-2).

*Modelo de « plotting » para POMAR y RECCO.* — Se solicitó a los miembros que remitan a la Presidencia sugerencias con-

cernientes a estos modelos de «plotting» para que pueda ser adoptada una decisión regional. (Res. A-14).

*Nomenclatura de visibilidad.*— Se estableció una concordancia entre el inglés y castellano de los términos que califican la visibilidad. (Res. A-18).

*Derogación de resoluciones anteriores de la CR III de la OMI.*— La Reunión decidió sobre la actitud a adoptarse con respecto a ciertas resoluciones de la CR III, las cuales, luego de la labor de esta Reunión, deberán derogarse. (Res. P-5).

**Primera Reunión de la Comisión de Meteorología Agrícola de la OMM, en París.**— Bajo la presidencia del Ing. Jacinto J. Burgos se desarrollaron en París las jornadas del epígrafe, entre el 3 y el 20 de noviembre. A la espera de amplios informes sobre tan importante asamblea, hacemos mención de los principales temas considerados por los delegados de los países miembros: Informe del Presidente de la Comisión. Informe del Presidente de la Subcomisión de Fenología. Informe sobre los recientes progresos realizados en el mundo en materia de meteorología agrícola. Revisión de las atribuciones de la Comisión de Meteorología Agrícola. Relaciones con otros órganos de la OMM y con otros organismos internacionales (Comisiones técnicas de la OMM, Comité Consultivo de la UNESCO para las zonas áridas, Organización de Alimentación y Agricultura (FAO), etc.). Tercer Año Geofísico Internacional (UGGI). Aplicación de la meteorología y de la climatología a la agricultura científica y práctica, con la consideración de los siguientes problemas: Estaciones agrometeorológicas. Presentación de datos y cartas y pronósticos agrometeorológicos. Clasificaciones climáticas y agroclimáticas. Influencias artificiales sobre el tiempo y el clima (lluvia artificial, lucha contra el granizo y las heladas, etc.). El clima como fuente natural directa en la agricultura (Utilización del viento, el agua y la radiación solar). Observaciones biológicas con fines agrometeorológicos: Determinación de las exigencias meteorológicas y climáticas de las plantas. Aclimatación de plantas cultivadas (Aumento de la resistencia al frío y a la sequía). Aplicación de la meteorología y de la climatología a la vida animal. Proyecto de Reglamento técnico provisorio. Bibliografía en materia de meteorología agrícola. Elección de titu-

lares de funciones y establecimiento de grupos de trabajo.

**Segundo Coloquio Argentino de Estadística.**— Amplia resonancia tuvo este Segundo Coloquio en la prensa local y nacional, celebrado en el salón de actos de la Facultad de Ciencias Económicas de Córdoba en ocasión del séptimo aniversario de la creación de dicho organismo universitario, entre el 27 y el 31 de octubre, y como adhesión al Segundo Plan Quinquenal. Con asistencia de autoridades y representantes de la Nación, de la Provincia y de la Universidad y numerosa concurrencia interesada en el estudio y progreso de la ciencia estadística, se dijeron los discursos de recepción por el Decano de la Facultad de Ciencias Económicas, Dr. Jaime N. Mosquera, y de apertura por el Vicepresidente de la Sociedad Argentina de Estadística, Dr. Agustín Durañona y Vedia, y se dictaron cuarenta conferencias a cargo de profesores universitarios y técnicos especializados en las ramas de la estadística económica, industrial, matemática, demográfica y social, entre las que corresponde destacar, dentro de nuestro sector meteorológico y geofísico, las dictadas por expertos que actúan en el Servicio Meteorológico Nacional: Ing. Enrique Samatán: «La estadística como vínculo entre la climatología y la meteorología dinámica»; Dr. Emilio A. M. Machado: «Los procesos estocásticos de la radiación cósmica»; Dr. G. Dedebant: «Ensayo de una axiomática aleatoria»; y Dr. R. Di Maio: «Enlace estadístico de un problema meteorológico con un problema aerodinámico». Ha quedado en evidencia, una vez más, el valor de las reuniones de este carácter para el estímulo de los estudiosos y para el beneficio incidente en el progreso de la Nación.

**X Asamblea General de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional.**— El Presidente del Comité Nacional de la organización del epígrafe, General de Brigada D. Carlos A. Levene, ha recibido el comunicado del Comité Organizador Italiano invitando a participar en la X Asamblea General de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional, a celebrarse en Roma del 15 al 29 de septiembre de 1954, al cual ha dado el debido curso para que la Argentina pueda destacar con tiempo una delegación de especialistas.

## RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS

### LIBROS Y FASCICULOS

**Gutenberg, B.** — *Internal constitution of the earth*, (New York). — 551.16.

La obra, publicada en 1951, representa una reedición actualizada en gran parte del libro de igual título que en 1939 apareció como parte de la serie « *Physics of the Earth* ».

En comparación con la primera edición, más de la mitad de los capítulos fueron modificados por entero o completados con datos recientes. Cada capítulo lleva una extensa bibliografía. Además de una introducción y un resumen final que tienen por autor al propio director de la obra, cuya finalidad es la de plantear el problema e integrar una visión de conjunto, contiene 14 capítulos dedicados a aspectos específicos. De estos últimos, dos tratan de la faz cósmica y evolutiva, dos de la estructura continental y evidencias geológicas, cinco de las propiedades mecánicas y fuerzas de la interior y la corteza, uno de la faz química, dos del calor y dos de sismología. — O. S.

**McCabe, L.** — *Air pollution*, 1952 (New York). 551.510.42.

El propósito de este volumen es brindar, en un libro único, información completa sobre la naturaleza y control de impurezas del aire. Es el contenido de los temas considerados en « *United States Technical Conference on Air Pollution* », realizada en Washington desde el 3 al 5 de mayo de 1950, bajo el « *Interdepartmental Committee on Air Pollution* ».

La Conferencia se dividió en cinco especialidades relacionadas con el tema: agricultura, equipos de recolección, salud, instrumental, legislación y meteorología.

Se incluyen numerosos trabajos presentados por distintos autores relativos a cada enfoque del problema. — E. C. B.

**Mead, D. W.** — *Hydrology*, 1950 (New York). 627 (02).

El autor demuestra que muchos problemas de hidrología pueden tener diferentes soluciones, según sean las condiciones lo-

cales. En la parte IV estudia el análisis de Bergeron de los fenómenos meteorológicos en función de las masas de aire. Trata también la teoría de la evaporación y los métodos de medición, nuevas técnicas y posibles consecuencias del estudio de records de precipitación, en especial el método de Thiessen. En las partes IX y XX considera la aplicación de la teoría de las probabilidades a los datos hidrológicos, particularmente de precipitación y frecuencia de crecidas. — N. Z. G.

### REVISTAS Y PUBLICACIONES SERIADAS

*Transactions American Geophysical Union*, Vol. 33, N° 6, diciembre 1952 (Washington).

**Spar, J.** — « *Thermal tides in the atmosphere* », 551.543.1.

Se extiende la teoría de Margules de las oscilaciones de presión diurnas y semidiurnas a la atmósfera tridimensional por el método de integración vertical. Las soluciones numéricas obtenidas por Margules para las oscilaciones de la presión se mantienen en la teoría presente pero se introduce una « profundidad » atmosférica definida adecuadamente. Se sugiere un método para calcular las oscilaciones de la presión que resultan del calentamiento o enfriamiento periódico de las altas capas de la atmósfera. — E. C. B.

*Meteorological Notes*, Serie A, N° 7, 1952 (Jerusalem).

**Feige, R.; Kock, W.; Neumann, J., Wittkower, W. J.** — « *Report on the indoor climate of two apartments* », 551.584.61.

Se han efectuado observaciones de temperatura, humedad, temperatura efectiva, temperatura de las paredes y medidas frigorimétricas en dos departamentos de un edificio en Tel Aviv, con el propósito de investigar el efecto de la orientación de los edificios en el clima de recintos interiores. Los muros principales de uno de los departamentos están orientados al N y al S y del otro al E y W. Los resultados obte-

nidos son los siguientes: a) en verano, cuando hay interés en reducir el aporte de calor, las cantidades combinadas de insolación recibida por unidad de superficie de pared hacia el N y el S, son menores que las que reciben las orientadas hacia el E y W; b) en invierno, cuando hay interés en aumentar la cantidad de calor ganada, se recibe una mayor insolación, y c) en verano, estación en que se debe aumentar la ventilación, los vientos diurnos tienen una componente norte beneficiosa. Se concluye, por lo tanto, que los edificios orientados con sus frentes al N y al S son más confortables en la zona costera de Israel. — R. M. Q.

*Annual Report* (Smithsonian Institution), 1951, General Appendix (Washington).

**Houghton, H. G.** — « An appraisal of cloud seeding as a means of increasing precipitations ». 551.509.67.

En base a consideraciones teóricas y a un examen crítico de los ensayos realizados en Estados Unidos, el autor llega a las siguientes conclusiones:

1) El sembrar « hielo seco » ( $\text{CO}_2$ ) o yoduro de plata, en nubes de gotitas de agua en sobrefusión, convierte las gotitas en partículas de hielo, siempre que la temperatura se encuentre por debajo de  $-5^\circ\text{C}$ , aproximadamente.

2) El sembrar en una nube inactiva no inducirá la formación de lluvias importantes. (Inactiva se llama aquí a una nube que no tiene movimiento positivo vertical, que no crece ni se intensifica).

3) El sembrar en una nube no acelerará el crecimiento de la misma mientras que no exista un activo movimiento vertical en las capas inferiores al nivel de  $0^\circ$ , y las capas superiores tengan suficiente humedad y poca estabilidad. Disipación parcial o hasta completa ocurre con frecuencia, a raíz del movimiento hacia abajo, ocasionado por los hidrometeoros que caen.

4) El sembrar en nubes activas que no llegan a alcanzar la temperatura crítica de los núcleos naturales de hielo, podría ocasionar cantidades útiles de lluvias.

5) Parece posible adelantar, mediante la siembra, el comienzo de la formación de precipitaciones en una nube que ya de por sí llegará a producir precipitaciones por causas naturales.

6) Acerca de la posibilidad de intensificar (mediante la siembra) precipitaciones naturales, no puede darse un juicio seguro, por causa de informaciones insuficientes sobre los procesos naturales en las nubes. Existe alguna posibilidad de que las precipitaciones puedan intensificarse en ciertos casos.

7) Las condiciones en que ello parece posible son casi o exactamente iguales a las que se necesitan para la formación natural de precipitaciones.

8) En tal situación no pueden esperarse resultados definitivos en base a experimentos aislados.

9) Teniendo en cuenta los actuales conocimientos de la física y las experiencias de la meteorología sinóptica, parece que no existen perspectivas de producir por la siembra fenómenos en mayor escala. — W. S.

*Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 32, Nº 5, mayo 1951 (Lancaster, Pa.).

**Thorntwaite, C. W.** — « The water balance in tropical climates », 551.585.

El autor recapitula su concepto de evapotranspiración y destaca la completa falta de datos sobre la distribución de precipitación y evapotranspiración en numerosas regiones entre los trópicos. Compara luego trabajos particulares de Mohr, en Java, Hardy en Trinidad, Bernard en el Congo Belga y da ejemplos numéricos del balance hidrológico en varios lugares de los trópicos. — S. T. K.

**Fritz, S.** — « The Albedo of the Ground and Atmosphere », 551.521.14.

Mediciones de las componentes superiores e inferiores de la radiación solar fueron hechas desde un avión B-29, el 22 de marzo de 1947. De estas mediciones fué posible calcular el albedo del suelo. En el centro de Estados Unidos y a lo largo del paralelo 39 el albedo del suelo, excepto cuando la tierra se hallaba cubierta de nieve, varió entre 0,07 y 0,10. A medida que se aproximaba a las montañas del oeste, el albedo aumentó a 0,12. En las montañas, donde el color del suelo cambia rápidamente, el albedo alcanzó un valor alto: 0,23 y un promedio de 0,17. Para terrenos parcialmente cubiertos de nieve el albedo más alto fué de 0,29. Los cálculos hechos mostraron que la absorción de radiación solar en una columna unidad de una altura de 10.000 pies desde el suelo y que por sí sola puede producir un aumento de temperatura de  $0,05\text{ C}^\circ/\text{h}$  en una atmósfera purísima, es de cerca de  $0,06\text{ gr. cal./cm}^2$ . — N. Z. G.

*The Meteorological Magazine*, Vol. 81, Nº 961, julio 1952 (Londres).

**Crossley, A. F.** — « Usefulness of forecast », 551.509.

Para establecer la « utilidad » de los pronósticos de tiempo —aparte de su exac-

titud propia— introduce el autor el concepto de «esfuerzo útil», definido como la proporción de ocasiones previstas como utilizables y que se cumplen luego, dependientes no sólo de la exactitud de los pronósticos, sino también de la frecuencia de ocurrencias de situaciones requeridas y aprovechables para cierta clase de «utilizadores» de pronósticos.— S. T. K.

**Cloyne, R. W.**— «Daily maximum temperature of the surface the ground», 551.525.2.

Resume y discute el autor los resultados obtenidos por varios investigadores (Panman, Debrach, Mackenzie-Taylor, Vaartaja, Rider y Robinson, Yakuva y otros), sobre las relaciones entre la temperatura máxima diaria en una casilla meteorológica ( $t$ ), la máxima diaria en la capa sobre el suelo de algunos milímetros de espesor ( $T$ ), y la temperatura máxima diaria propia de la superficie del suelo («skin temperature») ( $T'$ ), obteniendo la mejor aproximación con las fórmulas:  $T = 2t - 50$  y  $T' = T + 15$ , en grados Fahrenheit, en condiciones de suelo y regiones climáticas especificadas.— S. T. K.

*Rivista di Meteorologia Aeronautica*, año II, N° 3-4, julio-diciembre 1951 (Roma).

**Barla, M.**— «La concentrazione idrogenionica delle acque di precipitazione atmosferica in relazioni ai diversi sistemi frontal», 551.579: 551.515.8.

Se comunican los resultados de las determinaciones del pH de las aguas de precipitación atmosférica en relación con los frentes y las masas de aire, así como también estudios experimentales sobre las influencias que pueden actuar sobre el pH.— M. G. O.

**Di Benedetto, F.**— «Un nuovo método per la rappresentazione sinottica dell'approfondimento e del colmamento del sistema barici in moto non stazionario sulle zone oceaniche», 551.542.1.

Por definición se dice que una depresión está en fase de profundización cuando la presión en el centro resulta decreciente en el intervalo de tiempo que se considera, y en cambio cuando la presión en el centro de la depresión es creciente se dice que está en la fase de colmación. Por primera vez se ha logrado la representación sinóptica de tales fases del sistema bórico en movimiento no estacionario sobre la zona oceánica. Se utiliza la ecuación del viento

de gradiente y la relación de Blaton para las curvaturas y las trayectorias de las partículas de aire, en la hipótesis de que la variación de la dirección del viento debido a los cambios de la estructura interior de los sistemas bóricos sea despreciable en el intervalo de las tendencias. El ángulo entre la dirección del gradiente bórico y el viento observado sobre la zona oceánica se supone igual a  $75^\circ$ .

Sobre esta zona se tiene también en cuenta la corrección necesaria para el movimiento del barco meteorológico. Se construyeron tablas prácticas y se utilizó el método para ilustrar un caso sinóptico general.— E. C. B.

**Serra, A.**— «La provocazione artificiale delle precipitazioni e sua possibilità di applicazione in Sardigna», 551.509.67 (459.1).

Se discute el problema de la provocación artificial de la lluvia poniendo primero en evidencia las noticias aparecidas en diarios y revistas de los éxitos obtenidos y mencionando a continuación las dificultades encontradas por los experimentadores que se ocupan de esos problemas.

Se examina finalmente, teniendo en cuenta las condiciones ambientales del medio, la posibilidad de provocar precipitaciones en Cerdeña con el fin de aportar una contribución a la solución de los problemas que los períodos de sequía imponen a dicha isla.— M. G. O.

*Bulletin Association Internationale d'Hydrologie Scientifique*, 1951 (Louvain), Vol. I, N° 32.

**Remerrieras, M. G., y Terrier, M. M.**— «La sonde électrothermique E. D. F. pour le forage des glaciers», 551.311.12.

La acotación de la superficie de escurrimiento de un glaciar presentaba hasta nuestros días los graves inconvenientes de su costo, su duración o su incertidumbre, pues el problema se solucionaba utilizando métodos mecánicos mediante perforadoras por rotación, las que alcanzaban una velocidad de avance de unos 80 m por día, o bien mediante métodos geofísicos de prospección (sondajes sísmicos). Con la nueva sonda electromagnética descrita por los autores se consiguieron velocidades de avance de unos 200 m diarios. Después de considerar las importantes ventajas obtenidas a raíz de la mayor velocidad de perforación, se describe el nuevo mecanismo mediante el auxilio de planos, circuitos y fotografías.— M. G. O.

## ÍNDICE DEL TOMO III

(AÑO 1953)

ARTICULOS	PAG.
ALBANI, FÉLIX.— La modificación artificial de la precipitación .....	247
COLQUI, B. S.— <i>Ver Raffo, José M.</i> .....	293
DEDEBANT, G.; DI MAIO, M., y MACHADO, E. A. M.— Los números aleatorios y su aplicación a la Meteorología .....	31
— Las funciones aleatorias y su aplicación a la Meteorología .....	140
— La previsibilidad de las funciones aleatorias .....	395
DEDEBANT, G.— La circulación del aire en la República Argentina .....	194
DÍAZ, EMILIO L.— El efecto dinámico de la Cordillera de los Andes y el aisla- miento de la acción perturbadora regional y superior .....	7
— Interrelaciones entre anomalías mensuales de lluvias, temperatura, pre- sión, gradiente y variaciones .....	342
DI MAIO, R.— <i>Ver Dedebant, G.</i> .....	31, 140, 395
GUTIÉRREZ BURZACO, JOSÉ M.— Cronómetro a péndulo de gravedad para sis- mografo .....	433
JUÁREZ, G. A.— <i>Ver Mijchalikov, V.</i> .....	54
LEDESMA, N. R.— Registro fitofenológico integral .....	81
MACHADO, EMILIO A. M.— Los procesos estocásticos de la radiación cósmica — <i>Ver Dedebant, G.</i> .....	31, 140, 395
MADEJSKI, M. E.— <i>Ver Raffo, José M.</i> .....	293
MARCHETTI, ADOLFO A.— Probabilidad de las lluvias intensas en la ciudad de Buenos Aires .....	131
MARTINOLI, CARLOS A. M.— Nuevo método para la determinación de la rela- ción de capacidades en el aspirador Gerdien .....	429
MIJCHALIKOV, V., y G. A. JUÁREZ.— Tres años de experiencias de temple contra la sequía en trigo y maíz .....	54
PASCALÉ, ANTONIO J.— Comportamiento fotoperiódico de algunos trigos ar- gentinos .....	97
— Mapa fenológico del maíz en la República Argentina .....	383
RAFFO, JOSÉ M.; COLQUI, B. S., y MADEJSKI, M. E.— Glaciar Moreno .....	293
SCHNEIDER, OTTO.— Rastros de un efecto lunar no eliminado en los índices <i>k</i> de actividad geomagnética .....	135
<b>NOTAS Y COMENTARIOS</b>	
DEDEBANT, G.— Sobre la turbulencia de los flúidos compresibles .....	114
MACHADO, E. A. M.— Meteorología y Estadística .....	442
PROHASKA, F. J.— El problema de la previsión del tiempo, por W. Schwerdtfeger	117
QUINTELA, R. M.— El concepto de afinidad en los procesos termodinámicos de la atmosfera .....	441
SCHWERDTFEGER, WERNER.— Comprobación directa de la influencia de pro- cesos solares sobre la circulación atmosférica y la evolución del tiempo .....	113
— « Notos », nueva revista meteorológica sudafricana .....	116
— La exactitud como problema en el radiosondeo .....	276
— Acerca de trabajos y proyectos meteorológicos, en Europa .....	439
<b>EDITORIALES</b>	
Papel de la inteligencia .....	3
Función de la afectividad en la investigación .....	127
Bien público .....	191

*CRONICA*

Acto de incorporación de profesores de meteorología en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, y solemne apertura del ciclo lectivo .....	279
--	-----

*ACTUALIDADES*

Licenciatura y Doctorado en Ciencias Meteorológicas .....	119
Primera Reunión de la Comisión Técnica de Meteorología Agrícola de la Organización Meteorológica Mundial .....	119
Primera Reunión de la Asociación Regional III de la O. M. M. ....	282
Entrega de distinciones a colaboradores marítimos .....	282
Asistencia a reuniones técnicas en Francia y Yugoslavia .....	283
Amplitud actual de las relaciones de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional con otras instituciones mundiales .....	283
Tercer Año Geofísico Internacional .....	283
Microrreportaje sobre las condiciones atmosféricas y pronósticos .....	284
Primera Reunión de la Asociación III de la Organización Meteorológica Mundial, en Río de Janeiro .....	444
Primera Reunión de la Comisión de Meteorología Agrícola de la OMM, en París .....	447
Segundo Coloquio Argentino de Estadística .....	447
X Asamblea General de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional .....	447
<i>RESEÑAS BIBLIOGRAFICAS</i> .....	121, 283 y 448



DIRECCION GENERAL  
DEL  
SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL  
PASEO COLON 317 — BUENOS AIRES  
(REPUBLICA ARGENTINA)

Precio  
del ejemplar:  
10 pesos m/n

PALUMBO  
BS. AIRES