

BIBLIOTECA  
NACIONAL DE METEOROLOGIA  
Dr. Alfredo G. Quiroga

82/4XXXXII

# METEOROS

## SUMARIO

EDITORIAL .....	1
JUAN JACINTO BURGOS y ARTURO L. VIDAL. — Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite .....	3
WERNER SCHWERDTFEGER. — Bases para el pronóstico a medio plazo de las condiciones de temperatura en el otoño de Buenos Aires .....	33
ADOLFO A. MARCHETTI. — Oscilaciones extremas de la cantidad de precipitación en la República Argentina .....	46
G. DEDEBANT, R. DI MAIO y O. LUTZOW-HOLM. — Enseñanzas de una nivelación barométrica .....	55
NÉSTOR RENÉ LEDESMA. — La floración del duraznero y su relación con las temperaturas de invierno y de primavera .....	73
JOSÉ MARÍA RAFFO. — Pronóstico de las crecientes del Río Paraná ....	91
DEMETRIO BRAZOL. — La temperatura biológica óptima .....	99
ARTÍCULOS BREVES: RAIMUNDO CELESTE, Apunte sísmico del noroeste de la Provincia de La Rioja, 107. — BRUNO COLLASIUS, Frecuencia de series de días de visibilidad horizontal de 10 kilómetros o más en el Observatorio de las Islas Orcadas, 1932 .....	108
CRÓNICA .....	110
ACTUALIDADES .....	115
RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS .....	116

REVISTA DE METEOROLOGIA Y GEOFISICA  
DEL  
SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL  
BUENOS AIRES — (REPÚBLICA ARGENTINA)



MINISTERIO DE ASUNTOS TECNICOS  
DIRECCION GENERAL DEL SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL



*Ministro*

DR. RAÚL A. MENDE

*Subsecretario*

DR. NERIO JORGE FIGUEROA

*Director Nacional de  
Servicios Técnicos del Estado*

GENERAL DE DIVISIÓN OTTO HELBLING

*Subdirector Nacional de  
Servicios Técnicos del Estado*

ING. ROBERTO C. DUPEYRON

*Director General del  
Servicio Meteorológico Nacional*

CAP. DE FRAG. (R.) CARLOS NÚÑEZ MONASTERIO



DIRECCION Y REDACCION DE «METEOROS»

*Director:* DR. MARTÍN S. CAPPELETTI

*Asesores de la Dirección y colaboradores de la Redacción:*

EL PERSONAL CIENTÍFICO Y TÉCNICO DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL

*Secretario de Redacción:* AMADO GARY (H.)



# 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.*

AÑO I

ENERO, 1951

Nº. 1

## EXPOSICION DE MOTIVOS

**M**ETEOROS, al aparecer como órgano de expresión de las actividades científicas y técnicas del Servicio Meteorológico Nacional, asume la responsabilidad que por determinación propia se ha fijado: la de contribuir a la investigación y divulgación de la VERDAD en el campo de la ciencia pura y en el de sus aplicaciones.

En la amplitud del territorio argentino, desde el litoral marítimo a la Cordillera, de La Quiaca hasta las Orcadas y la Antártida, están permanentemente expuestos los instrumentos captadores del estado y variaciones de la inmensa masa de aire que constituye la atmósfera de nuestro país, la generosa atmósfera que nutre a la vida vegetal y animal y da sostén, en conjunción con el suelo, a la riqueza agropecuaria argentina; la misma masa aérea que alienta la vida del hombre y le permite desplazarse en vuelo. Desde hace setenta y ocho años se toman observaciones periódicas de las variaciones atmosféricas, y es indudable que los anales del S. M. N. constituyen la fuente auténtica de lo que podría llamarse la historia del tiempo argentino. Cotidianamente se imprime la Carta del Tiempo y a horas fijas se emite el Pronóstico. Detrás de los datos que ofrece la Naturaleza está, como vivencia humana, la mente que los interpreta. Se anticipan análogamente temporales e inundaciones; se registran y analizan sismos y fenómenos geomagnéticos; anótanse variaciones de la radiación solar y de la electricidad atmosférica; se preparan cultivos vegetales y se observa su reacción ante el



clima; al ser humano se lo interroga científicamente en cuanto al bienestar que le proporciona su vestimenta, la pureza mayor o menor del aire que respira, el clima de la ciudad pequeña o populosa, y el de la costa marítima, la planicie o la montaña en que habita. Detrás de los datos — repetimos — está siempre el hombre que indaga e interpreta.

En tiempo de paz la labor del S. M. N. se halla íntimamente vinculada a la economía social del país y a la tónica de su moral. Ayuda, en efecto, a conservar y a producir bienes, e imprime confianza a los habitantes al velar por su seguridad y bienestar. En época de guerra, es notorio que no hay fuerza armada ni pueblo que no consideren imprescindible la cooperación constante de los servicios meteorológicos de su patria.

En plena mitad del siglo XX, en que la Argentina, por impulso de su tradición de país grande y culto, y por visión y conducción certera de sus gobernantes actuales, ocupa un lugar respetado en el concierto de las naciones, cabe al S. M. N. en su integridad, y a cada uno de los técnicos y científicos en particular, el concurrir con su aporte para que la verdad científica universal se vea acrecentada, en los campos meteorológico y geofísico, con la parcela de verdad que revelen a sus hombres especializados la atmósfera y la corteza terrestre dentro de las coordenadas geográficas del país. La Argentina de hoy y del futuro pide ese esfuerzo sostenido. Y en tan elevado propósito están decididos a cooperar los auténticos argentinos y los leales extranjeros que han constituido su residencia en nuestra tierra. Vibra este ideal, asimismo, como permanente convocatoria de honor, en las palabras con que a los varones y mujeres del país se dirigen en las ocasiones más solemnes y propicias el Excmo. señor Presidente de la Nación, General D. Juan Domingo Perón, y su digna esposa, Doña Eva Perón, singular y nobilísimo valor en la esfera de la dinámica social argentina.

METEOROS aparece, pues, en una época científicamente propicia para el trabajo individual y de conjunto en favor de la indagación, cada día más amplia y profunda, de las verdades de la Naturaleza. Y como su finalidad, además de generosa y argentina, es universal, espera contar con el apoyo de propios y extraños, hoy y siempre.

## LOS CLIMAS DE LA REPUBLICA ARGENTINA, SEGUN LA NUEVA CLASIFICACION DE THORNTHWAITTE \*

Por JUAN JACINTO BURGOS \*\* y ARTURO L. VIDAL \*\*\*

**Resumen.** — Los autores hacen una reseña del método empírico de Thornthwaite para el cálculo de la evapotranspiración potencial y del balance hídrico de reciente desarrollo, y analizan la bibliografía en que este método se ha originado, y, a la vez, la que ha originado.

Presentan el ajuste de la humedad del suelo observada y calculada por este método en algunas estaciones agrometeorológicas del Servicio Meteorológico Nacional, como comprobación del método estudiado, a falta de otros datos experimentales. Incluyen, con el mismo fin, las comparaciones de algunos valores de escurrimiento de cuencas y de consumo de agua por el riego, con los de exceso de agua y deficiencia de agua, respectivamente, computados por el método analizado.

Construyen el mapa de evapotranspiración potencial o necesidad de agua, el de exceso y el de deficiencia de agua en base a las observaciones de la red de estaciones meteorológicas argentinas.

Presentan los tipos de climas de la República Argentina de acuerdo con esta nueva clasificación y su análisis frente a la distribución de la vegetación natural del país.

Por último, hacen una revisión crítica de la aplicación de otros sistemas de clasificación climática para la República Argentina.

**Summary.** — The authors make a review of Thornthwaite's empirical method for calculation of the potential evapotranspiration and the hydric balance of recent development. They analyze the bibliography in which this method has its origin and, at the same time, the one originated by it.

They show the adjustment of the soil moisture observed and computed by this method in some Agrometeorological Stations of the National Meteorological Service, as a checking method, according to the lack of other experimental data.

With the same purpose, they include the comparison among some values of run off from watersheds and the water used for irrigation with those of excess and deficiency of water respectively, computed by the analyzed method.

They show a map of potential evapotranspiration or need of water, one of excess and one of deficiency of water, according to the observations carried out by the Argentine Meteorological Network.

The different types of climates in the Argentine Republic according to this new classification are shown. These climate types are analysed in view of natural vegetation distribution in this country.

At last, they make a critical revision of the application of other systems of climatic classification for the Argentine Republic.

### I. — OBJETO Y BASE DE LAS CLASIFICACIONES CLIMATICAS

La clasificación de los climas tiene por objeto caracterizar unidades climáticas en sus elementos principales y de mayor acción sobre la superficie terrestre, como son la temperatura y la lluvia. Además, trata de destacar la analogía y la relación de esas grandes unidades climáticas po-

(\*) Trabajo presentado al Ier. Congreso Sudamericano de Investigaciones en Materias Agronómicas, reunido en el Instituto Técnico y Semillero "La Estanzuela", de la República Oriental del Uruguay, el 13 de noviembre de 1949.

(\*\*) Ingeniero Agrónomo, Jefe de la División de Agrometeorología del S. M. N.

(\*\*\*) Ingeniero Agrónomo, Ex-Técnico de la División de Agrometeorología del S. M. N.



niendo de manifiesto sus principales causas: el efecto de latitud y el de la circulación atmosférica y oceánica frente a los accidentes geográficos.

Las clasificaciones climáticas deben su origen a las descripciones fitogeográficas. Las descripciones fisionómicas de las asociaciones vegetales se relacionaron con los primeros mapas descriptivos de la distribución de la temperatura y de la lluvia y, en este sentido, debemos citar las valiosas contribuciones de DE CANDOLLE (1855), GRISEBACH (1866), DRUDE (1887) y SCHIMPER (1898), que incluyen el análisis de las diversas fisionomías vegetales del mundo con relación a los principales elementos climáticos que las determinan. WLADIMIR KÖPPEN, aproximadamente contemporáneo de los fitogeógrafos citados y que formó su disciplina científica en fitogeografía y fenología, en el laboratorio de fisiología de WILD en San Petesburgo, es quien intentó por primera vez una clasificación racional de los grandes grupos climáticos, tomando como base las manifestaciones fitogeográficas que determinan y adoptando una terminología y un simbolismo, similares a los usados por los autores citados (KÖPPEN, 1884 y 1900). En trabajos posteriores, este autor trató de hallar una fórmula conveniente para expresar el valor relativo de la lluvia, ya que su valor absoluto no lo consideraba representativo de su acción sobre la superficie terrestre. En ellos reconoció lo decisivo que resultaría el conocimiento de la magnitud de la evaporación para distinguir los climas secos de los húmedos. Por falta de tal conocimiento, desarrolló sus índices como relaciones entre la precipitación y la temperatura, ponderadas ambas de manera que los índices resultantes confirmaran las limitaciones entre las fisionomías vegetales actuales.

Muchos autores se ocuparon con posterioridad de este problema tratando de superar los primeros lineamientos fijados por KÖPPEN. PENCK (1910), DE MARTONNE (1926 y 1941) y THORNTHWAITE (1930), pueden citarse como otras tantas tentativas de esta naturaleza, pero a nuestro juicio todas ellas no dejan de ser en esencia descripciones climáticas de regiones fitogeográficas o simplemente geográficas. Sus índices, sobre todo para expresar el valor relativo de la precipitación, son teóricos, y en ellos, como en los de KÖPPEN, generalmente interviene la lluvia y la temperatura deducidos de su acción sobre la vegetación.

La nueva clasificación de THORNTHWAITE (1948), tiene la ventaja sobre las demás, hasta ahora propuestas, de independizarse de índices deducidos de la fisionomía vegetal y de usar valores exclusivamente climáticos, para expresar el valor relativo de la precipitación.

La clasificación climática encuentra así una base real y una orientación nueva, ya que los índices climáticos que utiliza se solucionan con los elementos del clima mismo. Las fisionomías vegetales actuales traen consigo todo el arrastre de los procesos climáticos de épocas pasadas, y su forma en continua evolución, además de depender de otros factores importantes como los geológicos y edáficos, puede encontrarse desfasada del proceso climático actual. Por lo tanto, toda deducción sobre la base de un equilibrio con el clima presente puede llevar implícito un error.

En la nueva clasificación climática de THORNTHWAITE (1948), este autor introduce en el conocimiento de la climatología un nuevo elemento: la evaporación potencial, que sirve para determinar el valor relativo de la precipitación. Admitimos, juntamente con su autor, que este sistema de clasificación climática puede ser perfeccionado, sobre todo en

lo que respecta a la valoración de la eficiencia térmica, o aún mediante un mayor ajuste en el cálculo de la evapotranspiración potencial y del balance hídrico, pero consideramos que representa un gran avance sobre los sistemas hasta ahora propuestos.

Las clases de climas así determinadas han de ser de gran utilidad en la descripción de las regiones naturales y en los problemas geográficos con ella vinculados, como la clasificación de los grandes grupos de suelos y la fitogeografía. En los problemas especiales de la climatología agrícola, en cambio, sólo han de servir de orientación general, puesto que las exigencias muy determinadas de los cultivos, y de sus enfermedades y operaciones culturales, necesitan un análisis más detallado de los elementos climáticos, que escapan del objeto de la clasificación de los climas. En estos casos, consideramos que la utilidad de la clasificación climática, no va más allá de la que le presta la clasificación de los grandes grupos de suelos o las regiones fitogeográficas.

No obstante lo dicho anteriormente, los nuevos elementos climáticos en que se basa esta nueva clasificación pueden servir con gran eficacia a los problemas de la meteorología agrícola y de la agricultura práctica. Entre éstos podemos enumerar los estudios de: régimen de las sequías, erosión hídrica o eólica, sistematización del riego, planificación de operaciones culturales, agrometeorología comparada o especial; así, como en estudios bioclimáticos o biometeorológicos más generales que los referidos.

## II.—LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL Y SU MEDICION

La evapotranspiración potencial ha sido definida por THORNTHWAITE como la cantidad de agua que se evaporaría de la superficie del suelo y la que transpirarían las plantas si el suelo tuviera un contenido óptimo de humedad. El contenido óptimo de humedad es aquél que se retiene por la sola fuerza de su capilaridad, cuando el suelo se ha saturado, vale decir, es su humedad equivalente o capacidad de campo.

La evapotranspiración real, en cambio, ha sido definida por este autor como la cantidad de agua que realmente evapora el suelo y transpiran las plantas, en un intervalo de tiempo dado, y de acuerdo con su circunstancial contenido de humedad.

La evapotranspiración es, pues, el fenómeno inverso de la lluvia y su conocimiento nos permitirá establecer el grado en que las precipitaciones satisfacen las necesidades de agua, en una región determinada. La evapotranspiración potencial se ha llamado también necesidad de agua, o sea, la cantidad de agua que se necesitaría para que el suelo se mantenga permanentemente en el grado óptimo de humedad.

La medida de la evapotranspiración potencial se podría obtener, en forma satisfactoria, mediante el uso del evapotranspirómetro de THORNTHWAITE (BURGOS, 1950), que consiste en un tanque con suelo y vegetación herbácea, en el que la napa freática se mantiene a 50 cm. de profundidad. Lamentablemente, son pocos aún los registros que se tienen de este elemento, pues sólo podemos citar mediciones efectuadas desde hace pocos años en California y New Jersey (Estados Unidos), Chapingo (México) y Toronto y Norman Wells (Canadá).

La medida de la evapotranspiración real reviste aún en el presente dificultades de orden instrumental, y solamente con la aplicación de la



teoría del intercambio de masas de aire (THORNTHWAITE y HOLZMAN, 1942) se podría tener una medida directa de la misma. Los lisímetros y el balance hídrico, que contemple la evapotranspiración potencial, permiten deducir su valor en forma indirecta.

TABLA 1. — Conversión de la temperatura media mensual al índice calórico «i»

T °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0			.01	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07
1	.09	.10	.12	.15	.16	.18	.20	.21	.23	.25
2	.25	.27	.29	.31	.33	.35	.37	.39	.42	.44
3	.46	.48	.51	.53	.56	.58	.61	.63	.66	.69
4	.71	.74	.77	.80	.82	.85	.88	.91	.94	.97
5	1.00	1.05	1.06	1.09	1.12	1.16	1.19	1.22	1.25	1.29
6	1.32	1.35	1.39	1.42	1.45	1.49	1.52	1.56	1.59	1.63
7	1.66	1.70	1.74	1.77	1.81	1.85	1.89	1.92	1.96	2.00
8	2.04	2.08	2.12	2.15	2.19	2.23	2.27	2.31	2.35	2.39
9	2.44	2.48	2.52	2.56	2.60	2.64	2.69	2.73	2.77	2.81
10	2.86	2.90	2.94	2.99	3.03	3.08	3.12	3.16	3.21	3.25
11	3.30	3.34	3.39	3.44	3.48	3.53	3.58	3.62	3.67	3.72
12	3.76	3.81	3.86	3.91	3.96	4.00	4.05	4.10	4.15	4.20
13	4.25	4.30	4.35	4.40	4.45	4.50	4.55	4.60	4.65	4.70
14	4.75	4.81	4.86	4.91	4.96	5.01	5.07	5.12	5.17	5.22
15	5.28	5.33	5.38	5.44	5.49	5.55	5.60	5.65	5.71	5.76
16	5.82	5.87	5.93	5.98	6.04	6.10	6.15	6.21	6.26	6.32
17	6.38	6.44	6.49	6.55	6.61	6.66	6.72	6.78	6.84	6.90
18	6.95	7.01	7.07	7.13	7.19	7.25	7.31	7.37	7.43	7.49
19	7.55	7.61	7.67	7.73	7.79	7.85	7.91	7.97	8.03	8.10
20	8.16	8.22	8.28	8.34	8.41	8.47	8.53	8.59	8.66	8.72
21	8.78	8.85	8.91	8.97	9.04	9.10	9.17	9.23	9.29	9.36
22	9.42	9.49	9.55	9.62	9.68	9.75	9.82	9.88	9.95	10.01
23	10.08	10.15	10.21	10.28	10.35	10.41	10.48	10.55	10.62	10.68
24	10.75	10.82	10.89	10.95	11.02	11.09	11.16	11.23	11.30	11.37
25	11.44	11.50	11.57	11.64	11.71	11.78	11.85	11.92	11.99	12.06
26	12.13	12.21	12.28	12.35	12.42	12.49	12.56	12.63	12.70	12.78
27	12.85	12.92	12.99	13.07	13.14	13.21	13.28	13.36	13.43	13.50
28	13.58	13.65	13.72	13.80	13.87	13.94	14.02	14.09	14.17	14.24
29	14.32	14.39	14.47	14.54	14.62	14.69	14.77	14.84	14.92	14.99
30	15.07	15.15	15.22	15.30	15.38	15.45	15.53	15.61	15.68	15.76
31	15.84	15.92	15.99	16.07	16.15	16.23	16.30	16.38	16.46	16.54
32	16.62	16.70	16.78	16.85	16.93	17.01	17.09	17.17	17.25	17.33
33	17.41	17.49	17.57	17.65	17.73	17.81	17.89	17.97	18.05	18.13
34	18.22	18.30	18.38	18.46	18.54	18.62	18.70	18.79	18.87	18.95
35	19.03	19.11	19.20	19.28	19.36	19.45	19.53	19.61	19.69	19.78
36	19.86	19.95	20.03	20.11	20.20	20.28	20.36	20.45	20.53	20.62
37	20.70	20.79	20.87	20.96	21.04	21.13	21.21	21.30	21.38	21.47
38	21.56	21.64	21.73	21.81	21.90	21.99	22.07	22.16	22.25	22.33
39	22.42	22.51	22.59	22.68	22.77	22.86	22.95	23.03	23.12	23.21
40	23.30									

Con los escasos registros que se poseen de la evapotranspiración potencial, THORNTHWAITE ha calculado una fórmula general mediante la cual se pueden obtener sus valores sin ajustar, es decir, correspondientes a un mes tipo de 30 días, de doce horas de heliofanía posible. Según esta fórmula, que es la de una función potencial, dentro de ciertos límites, existe una relación directa entre el logaritmo de la temperatura y el logaritmo de la evapotranspiración potencial sin ajustar. La fórmula hallada es la siguiente:

$$e = 16 (10 t / T)^a$$

donde

$$\begin{aligned} e &= \text{evapotranspiración potencial sin ajustar} \\ t &= \text{temperatura media mensual} \\ -a &= 0,000006751^a - 0,00007711^a + 0,017921 + 0,49239 \\ I &= \text{índice calórico anual.} \end{aligned}$$

Como la temperatura media anual no resulta satisfactoria para apreciar la marcha anual de este elemento y, por ende, la de la evapotranspiración potencial, se incluye en la fórmula el índice calórico  $I$  que se obtiene mediante la suma de doce valores mensuales  $i$ , que obedece a la fórmula siguiente:

$$i = (t/5)^{1,514}$$

El uso de las fórmulas propuestas resulta engorroso y poco práctico, por lo cual su autor ha proyectado una serie de tablas y una gráfica que facilitan su cálculo. El primer paso es calcular el índice  $I$ ; para ello, se

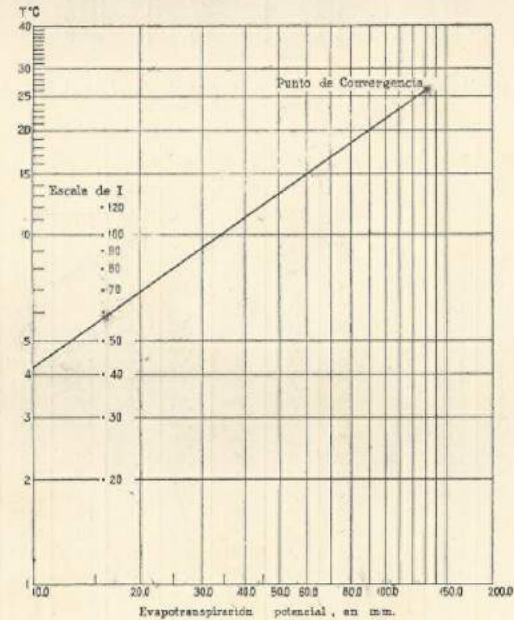


FIG. 1. — Nomograma para el cálculo de la evapotranspiración potencial sin ajustar. La recta indica la relación entre la temperatura media y la evapotranspiración potencial, mensuales, de la localidad de Azul.

recurre a la tabla 1 en cuya primera columna se encuentran las temperaturas mensuales, y se lee en la columna correspondiente el índice  $i$  para cada mes; luego, se suman los doce valores de  $i$  y así se obtiene el índice  $I$ .

Como se dijo que, entre el logaritmo de la temperatura y el de la evapotranspiración potencial sin ajustar, existe una relación lineal, es posible



representar en un papel doble logarítmico dicha relación mediante una recta. Sobre el eje de las abscisas se colocan los valores de la evapotranspiración potencial, y sobre el de las ordenadas los de la temperatura media

Tabla 2. — Evapotranspiración potencial mensual sin ajustar con temperaturas superiores a 26.5 °C

T °C	E. P. (mm)	T °C	E. P. (mm)
26.5	135.0	32.5	175.3
27.0	139.5	33.0	177.2
27.5	143.7	33.5	179.0
28.0	147.8	34.0	180.5
28.5	151.7	34.5	181.8
29.0	155.4	35.0	182.9
29.5	158.9	35.5	185.7
30.0	162.1	36.0	184.3
30.5	165.2	36.5	184.7
31.0	168.0	37.0	184.9
31.5	170.7	37.5	185.0
32.0	173.1	38.0	185.0

Tabla 3. — Duración media del resplandor solar posible en el hemisferio sur, expresado en unidades de 30 días de 12 horas cada uno

Latitud	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
5	1.06	.95	1.04	1.00	1.02	.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
10	1.08	.97	1.05	.99	1.01	.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
15	1.12	.98	1.05	.98	.98	.94	.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
20	1.14	1.00	1.05	.97	.96	.91	.95	.99	1.00	1.08	1.09	1.15
22	1.14	1.00	1.05	.97	.95	.90	.94	.99	1.00	1.09	1.10	1.16
23	1.15	1.00	1.05	.97	.95	.89	.94	.98	1.00	1.09	1.10	1.17
24	1.16	1.01	1.05	.96	.94	.89	.93	.98	1.00	1.10	1.11	1.17
25	1.17	1.01	1.05	.96	.94	.88	.93	.98	1.00	1.10	1.11	1.18
26	1.17	1.01	1.05	.96	.94	.87	.92	.98	1.00	1.10	1.11	1.18
27	1.18	1.02	1.05	.96	.95	.87	.92	.97	1.00	1.11	1.12	1.19
28	1.19	1.02	1.06	.95	.95	.86	.91	.97	1.00	1.11	1.13	1.20
29	1.19	1.03	1.06	.95	.92	.86	.90	.96	1.00	1.12	1.13	1.20
30	1.20	1.03	1.06	.95	.92	.85	.90	.96	1.00	1.12	1.14	1.21
31	1.20	1.03	1.06	.95	.91	.84	.89	.96	1.00	1.12	1.14	1.22
32	1.21	1.03	1.06	.95	.91	.84	.89	.95	1.00	1.12	1.15	1.23
33	1.22	1.04	1.06	.94	.90	.83	.88	.95	1.00	1.13	1.16	1.23
34	1.22	1.04	1.06	.94	.89	.82	.87	.94	1.00	1.13	1.16	1.24
35	1.23	1.04	1.06	.94	.89	.82	.87	.94	1.00	1.13	1.17	1.25
36	1.24	1.04	1.06	.94	.88	.81	.86	.94	1.00	1.13	1.17	1.26
37	1.25	1.05	1.06	.94	.88	.80	.86	.95	1.00	1.14	1.18	1.27
38	1.25	1.05	1.07	.93	.87	.80	.85	.95	1.00	1.14	1.19	1.27
39	1.26	1.06	1.07	.93	.86	.79	.84	.92	1.00	1.15	1.19	1.28
40	1.27	1.06	1.07	.93	.86	.78	.84	.92	1.00	1.15	1.20	1.29
41	1.28	1.06	1.07	.93	.85	.77	.83	.92	1.00	1.15	1.21	1.30
42	1.28	1.07	1.07	.92	.85	.76	.82	.92	1.00	1.16	1.22	1.31
43	1.29	1.07	1.07	.92	.84	.76	.81	.91	1.00	1.16	1.22	1.32
44	1.30	1.08	1.07	.92	.83	.74	.81	.91	.99	1.17	1.23	1.33
45	1.31	1.09	1.07	.92	.82	.73	.80	.90	.99	1.17	1.24	1.34
46	1.32	1.10	1.07	.91	.82	.72	.79	.90	.99	1.17	1.25	1.35
47	1.33	1.11	1.07	.91	.81	.71	.78	.89	.99	1.18	1.26	1.36
48	1.34	1.11	1.08	.90	.80	.70	.76	.89	.99	1.18	1.27	1.37
49	1.35	1.12	1.08	.89	.78	.68	.75	.88	.99	1.19	1.28	1.40
50	1.37	1.12	1.08	.89	.77	.67	.74	.88	.99	1.19	1.29	1.41

CUADRO I. — Cálculo de la evapotranspiración potencial de Azul (Buenos Aires) por el método T-E

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Octubre	Nov.	Dic.	Annual
Temperatura °C	21.2	19.8	17.7	15.4	10.2	7.5	7.2	8.1	10.7	13.4	16.9	19.1	13.8
I. Evapotranspiración potencial sin ajustar (mm)	8.91	8.05	6.78	4.45	2.94	1.77	1.74	2.08	3.16	4.45	6.32	7.61	58.24
Evapotranspiración potencial ajustada	98	89	76	51	55	22	21	25	37	51	71	84	84
Evapotranspiración potencial ajustada	122	95	80	48	51	18	18	23	37	58	84	107	719



mensual. Para cada localidad, esta recta se determina por un punto que es el valor  $I$  de la localidad estudiada y por el punto invariable hacia el que convergen las rectas de todas las localidades. El índice  $I$  se ubica sobre los 16 mm de evapotranspiración potencial y el punto invariable, hacia el que convergen todas estas rectas de relación, es el determinado por  $t = 26,5^{\circ}\text{C}$  y E. P. = 135 mm. El índice  $I$ , pues, es el que nos da la inclinación de la recta para cada localidad considerada. Una vez trazada la recta, será posible obtener la evapotranspiración potencial sin ajustar mediante la proyección, sobre la misma, del valor de la temperatura media mensual que nos dan las ordenadas respectivas (Fig. 1).

Cuando los valores de la temperatura media mensual son superiores a  $26,5^{\circ}\text{C}$ , se debe usar directamente la tabla 2.

Una vez obtenidos los valores mensuales de la evapotranspiración potencial sin ajustar, es necesario corregirlos según la duración del mes y la longitud del día, mediante el uso de la tabla 3. En este trabajo hemos ampliado la tabla original que da THORNTHWAITE para el hemisferio sur, que nos ha servido para obtener los valores correspondientes a nuestro país. Para ello, las cifras de la tabla 3 deben multiplicarse por cada valor de evapotranspiración potencial mensual sin ajustar, lográndose así, el valor definitivo de la evapotranspiración potencial. Sumando los doce valores se obtiene el valor anual. Para latitudes superiores a  $50^{\circ}\text{S}$  deben usarse los mismos factores de corrección que corresponden a esa latitud.

En la Fig. 1 se ha trazado la recta de relación correspondiente a la localidad de Azul, y en el cuadro I se pueden apreciar como ejemplo los valores de  $i$  e  $I$ , evapotranspiración potencial sin ajustar y ajustada, obtenidos mediante la aplicación del método expuesto.

### III. — LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL EN LA REPUBLICA ARGENTINA

El cálculo de la evapotranspiración potencial en la República Argentina se ha hecho disponiendo de los datos de temperaturas de las estaciones meteorológicas que posee el Servicio Meteorológico Nacional, con registros superiores a 10 años de observación y, en la mayoría de los casos, superiores a 20.

Con los datos individuales de la evapotranspiración potencial anual de todas las localidades estudiadas, hemos construido el mapa de isolinéas correspondiente, que estimamos preliminar hasta tanto una comprobación experimental lo confirme o rectifique (Fig. 2).

La marcha de la evapotranspiración potencial anual sigue aproximadamente la marcha de las isoterma. Las líneas resultan paralelas a los meridianos en las regiones próximas a los contrafuertes andinos, y en la porción llana del país toman la dirección este-oeste característica de las isoterma. En la Patagonia corren aproximadamente en dirección diagonal.

Los valores máximos de la evapotranspiración potencial anual se registran en el noroeste de Formosa y noreste de Salta donde alcanza una magnitud de 1.200 mm. Desde ahí, sus valores disminuyen hacia el sur y hacia el oeste hasta llegar a 500 mm en Tierra del Fuego y noroeste de Santa Cruz. Se observa la acción atenuante de las montañas, sobre este elemento, en las sierras de Córdoba y San Luis, y la combinada de la elevación del terreno y de la corriente marina de las Malvinas, en el



FIG. 2. — Mapa de la evapotranspiración potencial anual en la República Argentina.



sudeste de la provincia de Buenos Aires, donde se registran valores inferiores a los 750 mm.

IV. — BALANCE HIDRICO

El conocimiento de la evapotranspiración potencial de un lugar, del que se tienen registros de precipitación, permite establecer su balance hídrico anual. En esta forma, es posible conocer la cantidad de agua que realmente se evapora desde el suelo y transpiran las plantas en ese lugar, la cantidad de agua almacenada por el suelo y la que se pierde por derrame superficial y profundo.

Como la evapotranspiración y la precipitación son dos elementos climáticos independientes, su marcha anual difícilmente coincide en un mismo punto de la tierra, lo cual trae como consecuencia que, en algunos lugares, existan períodos en los cuales la necesidad de agua está ampliamente satisfecha por las lluvias, y otros en que se carece de las cantidades de agua requerida. De esta manera, habrá meses con agua suficiente y meses en que se registre exceso o deficiencia de agua en forma manifiesta. También pueden ocurrir los casos extremos en que durante todo el año las precipitaciones sobrepasen las necesidades de agua o viceversa.

Si luego de un período de deficiencia de agua se producen precipitaciones que exceden ampliamente las pérdidas ocasionadas por la evapotranspiración, el agua sobrante no comienza a escurrirse hasta que el suelo ha alcanzado su saturación. Esta cantidad de agua, que en el balance hídrico se designa *humedad de reposición en el suelo*, varía entre ciertos límites según la profundidad del suelo, su textura y la distribución y extensión del sistema radicular de las plantas que viven en él; pero, en términos generales, puede aceptarse que corresponde aproximadamente a una lámina de 100 mm de espesor. Si la precipitación caída es mayor que esta cantidad y, a su vez, no se elimina por evapotranspiración, se produce derrame superficial e infiltración a las capas inferiores del subsuelo, por lo cual se le designa como *exceso de agua*.

Si luego de un período de lluvias excesivas sobreviene otro en el cual las precipitaciones resultan inferiores a las demandas de agua o, en otros términos, a la evapotranspiración potencial, el suelo comienza a reducir su tenor de humedad por la acción de la evapotranspiración, y el almacenaje de agua útil va reduciéndose hasta llegar al mínimo compatible con la vida de las plantas, o sea, al coeficiente de marchitez. Esta humedad perdida por el suelo hasta este momento, en el balance hídrico, se llama *humedad del suelo utilizada* y corresponde, como en el caso anterior, aproximadamente a una lámina de 100 mm de agua.

Para calcular el balance hídrico medio anual de una localidad, de la cual se poseen datos mensuales de evapotranspiración potencial y lluvia, se procede de la siguiente forma: se elige, cuando es posible, un período con lluvia manifiestamente superior a la evapotranspiración potencial o, viceversa, con deficiencias notables. En este caso se asigna para ese mes y en el rubro de *almacenaje de agua útil* 100 ó 0 mm, respectivamente. Para ir calculando los meses siguientes, sumamos la precipitación del mes considerado al dato de almacenaje de agua útil del mes anterior y a ese total, que constituye el agua disponible, se le resta la evapotranspiración potencial del mes, con lo que se obtiene el valor del almacenaje de agua útil. Si el valor de agua útil fuera superior a los 100 mm se colocará para

CUADRO II. — Balance hídrico. Bariloche (Río Negro)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Octubre	Nov.	Dic.	Anual
Evapotranspiración potencial	97	80	68	45	27	15	15	19	29	51	64	86	594
Precipitación	30	29	65	87	159	192	164	127	84	36	50	43	1.066
Variación del almacenaje de agua útil	—	28	0	44	36	0	0	0	0	15	14	43	
Almacenaje de agua útil	0	0	0	44	100	100	100	100	100	85	71	28	501
Evapotranspiración real	58	29	65	45	27	15	15	19	29	51	64	86	501
Deficiencia de agua	39	51	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95
Exceso de agua	0	0	0	0	76	177	149	108	55	0	0	0	565
Relación de humedad	—	0.69	—	0.64	—	0.04	—	1.02	—	0.29	—	0.22	—

Azul (Buenos Aires)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Octubre	Nov.	Dic.	Anual
Evapotranspiración potencial	122	95	80	48	51	18	18	25	37	58	84	107	719
Precipitación	70	95	100	85	53	38	41	45	66	72	88	80	851
Variación del almacenaje de agua útil	—	52	2	35	22	0	0	0	0	0	0	—	27
Almacenaje de agua útil	21	25	45	78	100	100	100	100	100	100	100	75	719
Evapotranspiración real	122	95	80	48	51	18	18	25	37	58	84	107	719
Deficiencia de agua	0	0	0	0	0	0	0	22	29	14	4	0	0
Exceso de agua	0	0	0	0	0	20	25	22	29	14	4	0	0
Relación de humedad	—	0.42	0.25	0.75	0.71	1.11	1.28	0.96	0.78	0.24	0.05	—	0.25



ese mes sólo el valor de 100 mm ya que, como hemos visto, ése es el máximo tenor de agua de reposición en el suelo. El excedente de los 100 mm será el *exceso de agua* del mes considerado.

Puede ocurrir que la suma del almacenaje de agua útil del mes anterior, con la precipitación del mes considerado, resulte inferior a la evapotranspiración potencial de ese mes, o sea, que las demandas sean superiores al agua disponible. En este caso habrá *deficiencia de agua* y en el rubro del almacenaje de agua útil se deberá consignar 0, y la deficiencia de agua será la cantidad de milímetros que faltan para completar la evapotranspiración potencial.

Una vez que, en la forma descripta, se hayan calculado todos los meses del año, podrá verificarse el cálculo del balance hídrico, si al sumar el valor del almacenaje de agua útil del undécimo mes con la precipitación del duodécimo nos da el valor 100 ó 0 mm, que se fijara previamente. Si así no fuera, se deben continuar los cálculos con los valores que se obtengan, de manera que en el segundo ciclo de cálculos los valores se vayan corrigiendo por sí mismos hasta que, al cerrar el segundo ciclo de los doce valores calculados, coincida el último dato obtenido con el primero.

La *variación del almacenaje de agua útil* que consigna el cuadro II del balance hídrico se obtiene por diferencia del almacenaje del mes anterior con el del mes considerado, y lleva signo negativo cuando el almacenaje va decreciendo.

Para calcular la *evapotranspiración real*, se observará si la precipitación del mes considerado es mayor que la evapotranspiración potencial. En este caso, la evapotranspiración real tiene el mismo valor que la potencial. Si la precipitación es menor que la necesidad de agua, se suma el valor de la lluvia con el valor de la variación del almacenaje de agua, sin tener en cuenta su signo, y el resultado nos dará la evapotranspiración real de ese mes.

La *relación de humedad*, que expresa la humedad o aridez relativa de un determinado mes, se obtiene dividiendo la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración potencial, por la evapotranspiración potencial, es decir:

$$\frac{p - e}{e}$$

Valores positivos de la relación de humedad indican que la precipitación está en exceso y valores negativos significan que ella es deficiente.

#### V. — BALANCE HÍDRICO DE LA REPUBLICA ARGENTINA

En el cuadro II se han incluido los distintos elementos que integran el balance hídrico de dos localidades argentinas: Bariloche y Azul. En él se pueden apreciar los valores individuales de cada mes y los totales anuales correspondientes.

Por considerarlo de mucho interés aplicativo, hemos construido los mapas de la República Argentina con las isóneas del exceso y de la deficiencia de agua.

El exceso de agua en nuestro país (Fig. 3) queda reducido a una región relativamente pequeña que abarca la Selva Misionera, el Parque Mesopotámico, la parte oriental de la Estepa Pampeana y una estrecha franja

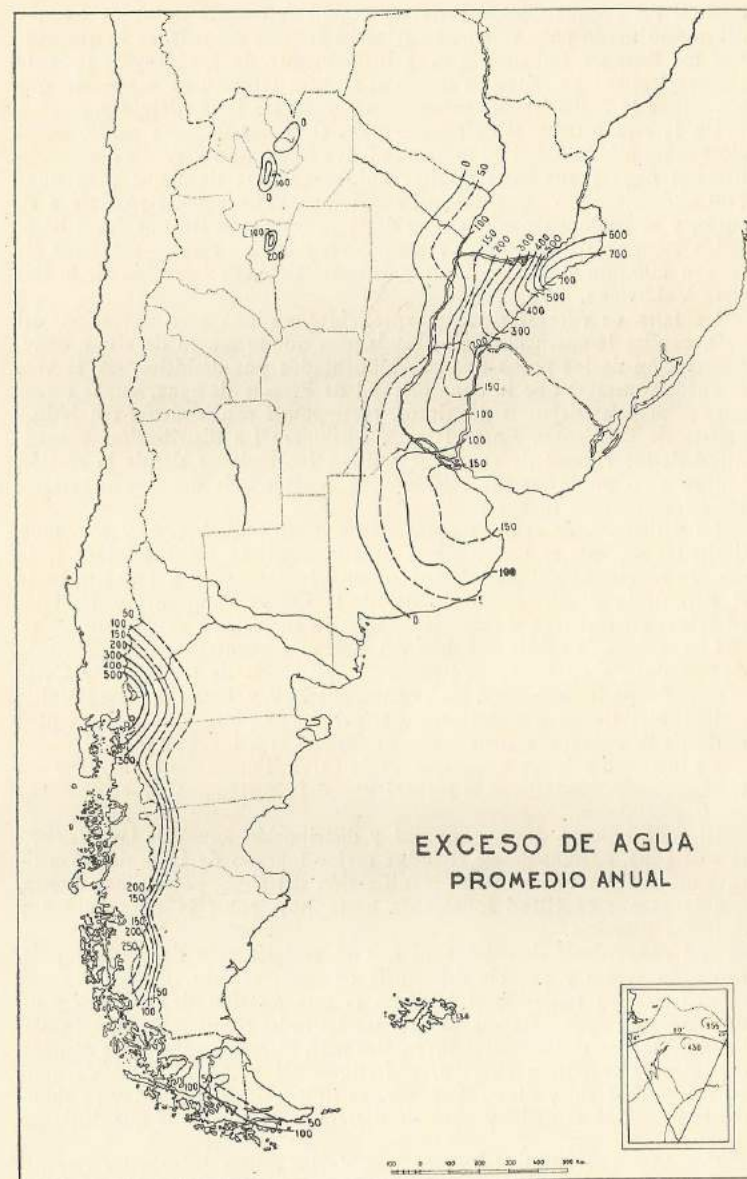


FIG. 3. — Mapa del exceso de agua anual en la República Argentina.



oriental del Parque Chaqueño. Otra región de excesos notables, aunque del mismo modo poco extensa en relación al resto del país, es la que ocupan los Bosques Subantárticos, principalmente, la subformación de la Foresta Valdiviana. Algo de exceso se registra también en la porción que constituye la Selva Tucumano-oranense y en las Islas Malvinas.

En la región oriental de nuestro país, el exceso de agua medio anual alcanza un máximo de 700 mm en la Selva Misionera, y va disminuyendo hacia el oeste y sur hasta resultar nulo sobre una línea que pasa unos 100 kilómetros al oeste del Río Paraná, aproximadamente paralela a su curso, y se prolonga por el centro de la provincia de Buenos Aires hasta Bahía Blanca. En la Selva Tucumano-oranense los excesos máximos alcanzan 200 mm y en los Bosques Subantárticos, en la región de la Foresta Valdiviana, 500 mm.

La falta de excesos de agua apreciables, en una gran extensión del país, explica la ausencia de ríos caudalosos que lo crucen de este a oeste, a excepción de los pocos que son alimentados por deshielos. A la vez, se puede constatar que la zona oriental de excesos de agua, cuyos caracteres principales dejamos descriptos, corresponde con la densa red hidrográfica de Corrientes, Entre Ríos y Misiones. La distribución y magnitud de los excesos de agua nos indican las regiones donde la erosión hídrica es o puede ser un problema, y hacia donde deben concentrarse los esfuerzos para luchar contra ella.

La deficiencia de agua es notable en nuestro país, Fig. 4, y sólo muy limitadas regiones se hallan libres de ella. Así, la Selva Misionera, la margen occidental del Río Paraná en una franja de 50 a 100 Km hasta el Río de la Plata, la porción SE de la Estepa Pampeana y las Islas Malvinas no registran deficiencia de agua en sus valores medios normales.

Los centros de aridez máxima del país se encuentran en la provincia de San Juan y en la región llana de la provincia de La Rioja y Catamarca, donde la deficiencia oscila entre los 700 y 800 mm. Los Valles Calchaquíes tienen una deficiencia anual de 600 mm y la parte centro norte de la Patagonia tiene registros superiores a los 600 mm.

Es interesante hacer notar que en la Selva Tucumano-oranense y en los Bosques Subantárticos se registra una deficiencia anual que oscila entre 0 y 200 mm.

El conocimiento de la magnitud y distribución anual de las deficiencias de agua, además de ser el índice mejor logrado de la aridez, constituye un auxiliar valioso en la planificación del riego, porque nos ilustra, con la mayor exactitud conseguida hasta hoy, sobre la oportunidad y dotación necesaria.

Será conveniente destacar aquí que el carácter seco de nuestro país, con poco exceso y notable deficiencia de agua, se debe, en parte, a que en casi todo su territorio el invierno es una estación de consumo y no de reserva de agua. En cambio, en las latitudes comparables del hemisferio norte, las temperaturas invernales marcadamente más bajas atenúan o anulan la evapotranspiración, y facilitan así la acumulación de agua en forma de hielo y nieve. Esta reserva proporciona en primavera abundante humedad al suelo y agua de derrame en las cuencas que disponen de ella.

Consideramos este hecho como una de las causas principales que determinan la ausencia de bosques mesofitos, de especies latifoliadas o mixtos en las latitudes medias de nuestro país. En el hemisferio norte, este



FIG. 4. — Mapa de la deficiencia de agua anual en la República Argentina.



## BALANCE HIDRICO DE VARIAS LOCALIDADES ARGENTINAS

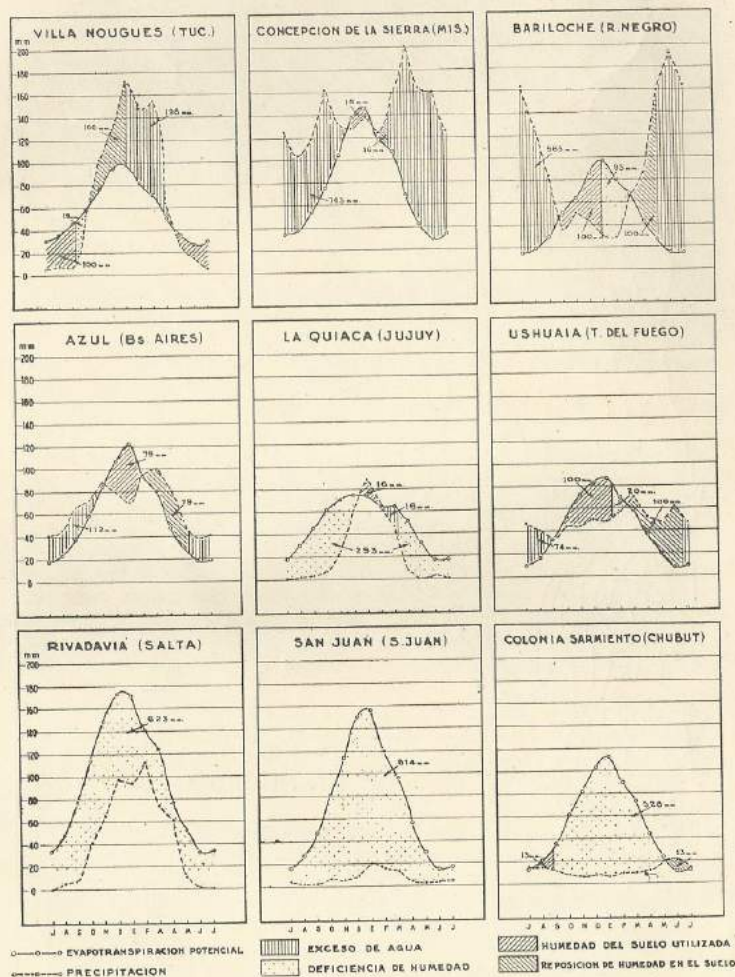


FIG. 5. — Representación gráfica del balance hídrico de algunas localidades argentinas.

tipo de bosque se desarrolla en las latitudes medias, pero en regiones con excesos de agua superiores a los 200 mm y a las que, por lo tanto, corresponden suelos generalmente podsólicos, en los cuales la humedad óptima alcanza con mayor frecuencia todos sus horizontes.

En cambio, la mayor extensión del territorio con excesos de agua que varían alrededor de los 100 milímetros, y que a la vez acusan poca deficiencia, puede explicar el gran desarrollo que muestran en nuestro país las formaciones como la estepa y la pradera. Estas formaciones, de un sistema radicular superficial, corresponden en general a suelos no muy profundos, en los que la humedad óptima de los primeros horizontes se alterna con períodos secos de no mucha duración.

En la Fig. 5 hemos representado el balance hídrico de algunas localidades argentinas. En ella se incluyen localidades de las tres formaciones selváticas con que cuenta nuestro país: Concepción de la Sierra, de la típica Selva Misionera; Villa Nougues, de la Selva Tucumano-oranense y Bariloche, de la Foresta Valdiviana.

En las gráficas individuales de estas localidades (Fig. 5) se puede observar que, en la Selva Misionera, el exceso de agua es el más considerable y que, si bien durante el verano la precipitación no compensa la evapotranspiración, no existe deficiencia climática de agua, debido a que la almacenada en el suelo alcanza para satisfacer las exigencias de la evapotranspiración. En los otros dos casos, en cambio, la necesidad de agua no se satisface durante un intervalo del semestre cálido, ni por la precipitación ni por el agua almacenada en el suelo, y llega a producirse así un período no muy largo de deficiencia de agua. Esta deficiencia ocurre en primavera en la Selva Tucumano-oranense, y en verano, en la Foresta Valdiviana.

Hemos incluido tres ejemplos de climas áridos: Rivadavia, San Juan y Colonia Sarmiento que representan los bosques xerofitos del Parque Chaqueño, la formación del Monte y la Estepa Patagónica. En la primera de ellas la precipitación, de magnitud considerable, no alcanza para satisfacer las demandas de la evapotranspiración; en la segunda, donde se registra la aridez máxima de nuestro país, las precipitaciones muy escasas dejan el saldo más elevado de deficiencia de agua que registra el país; y en la tercera, las escasas lluvias invernales no alcanzan a reponer en el suelo, ni la humedad que éste es capaz de almacenar.

De las tres localidades restantes, Azul es un ejemplo típico de la Pradera o Estepa Pampeana, donde la marcha climática de la evapotranspiración sigue aproximadamente la de la precipitación. En esta forma, las leves irregularidades de ambas dejan un saldo de 112 mm. de exceso en invierno y primavera, mientras que en verano, las demandas de agua consumen la precipitación y el agua de almacenaje del suelo, sin agotar su reserva. En esta región no existe pues deficiencia climática de agua<sup>1</sup>.

Las otras dos localidades ejemplifican climas microtermales: La Quiaca, con un déficit bastante considerable de agua y ningún exceso y Ushuaia, con un exceso de 74 mm en los meses más fríos y 20 mm de deficiencia en los meses de enero y febrero.

### VI — VERIFICACION DEL CALCULO DE LOS ELEMENTOS CLIMATICOS ANALIZADOS

Será conveniente exponer aquí la verificación experimental que ha tenido, tanto el cálculo de la evapotranspiración como el balance hídrico que de ella y de la precipitación se deduce.

(1) Dado que los valores climáticos mensuales constituyen una abstracción matemática de los elementos variables del tiempo, lo expuesto no significa que una región sin deficiencia climática de agua no la experimenta, en el curso del tiempo, aun con cierta frecuencia.



El ajuste del método de cálculo de la evapotranspiración potencial se puede apreciar en la comparación de los valores observados y calculados que sirvieron a THORNTHWAITE para deducir su fórmula (THORNTHWAITE, 1948). Además, este autor (*Interim Report N° 4 y 5, Lab. of*

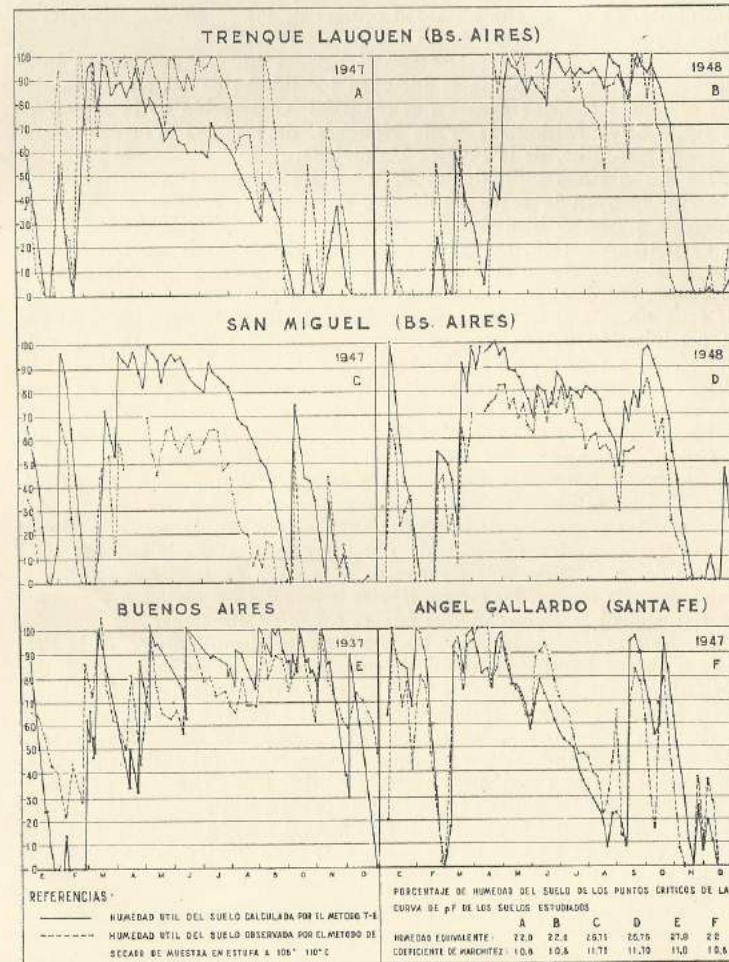


FIG. 6.—Comparación entre la humedad del suelo diaria, observada y calculada por el método T-E en varias localidades argentinas.

*Climat., Johns Hopkins University*) ha comparado la evapotranspiración potencial calculada y la observada diariamente durante 1947 y 1948, con un equipo de evapotranspirómetros instalados en New Jersey. SAN-

DERSON (1948 a) ha estudiado un ajuste similar en Toronto y en Norman Wells (Canadá). En todos estos casos el resultado ha sido muy satisfactorio.

La verificación del balance hídrico, calculado en la forma propuesta, la ha realizado THORNTHWAITE (1948) al comparar la evapotranspiración de una serie de localidades orientales y occidentales en los EE. UU. y el consumo total del agua (riego y precipitación). Las magnitudes de ambos casos son muy similares, y sus diferencias en un sólo caso sobre 13 superan el 4%. Este mismo autor (THORNTHWAITE, 1946) halló una serie de relaciones entre el contenido de humedad del suelo observado mediante la toma de muestra directa y secado en estufa y el calculado por el método del balance hídrico, para varias localidades norteamericanas, que demostraron un ajuste satisfactorio. SANDERSON (1948, b) estableció una comparación entre el derrame observado en diversas cuencas del Canadá y los excesos de agua calculados por el método de la evapotranspiración potencial y, también en este caso, los resultados obtenidos permiten concluir que el método resulta aceptable para aquellas latitudes.

No obstante las comprobaciones del método expuesto, su autor reconoció el interés que tendrían las determinaciones experimentales de la evapotranspiración en las regiones ecuatoriales y polares. Actualmente se poseen registros de evapotranspirómetros instalados en Norman Wells a Lat. 64°50' N. y Long. 125°20' W.

En nuestro país, a falta de datos experimentales sobre la evapotranspiración potencial, hemos intentado verificar el cálculo del balance hídrico, mediante la comparación de la humedad del suelo calculada y observada en nuestras estaciones agrometeorológicas. El resultado de esta comparación puede apreciarse en la Fig. 6 que consideramos aceptable, si se tiene en cuenta que la determinación de la humedad del suelo corresponde a muestras individuales, en las que cabe un error de muestra por la heterogeneidad del suelo y otro de laboratorio.

CUADRO III

Región	Deficiencia de agua (Valor prom.) mm	Agua consumida por riego		Observaciones
		Año	mm	
Santa Rosa (San Luis) ...	500-550	1958	402	
		1959	360	
Famatina (La Rioja) ...	750	1958	848	
		1959	745	
Arauco y C. Barros (La Rioja) ...	700-750	1958	1176	Lluvia muy inferior a la normal.
		1959	852	
San Carlos (Salta) ...	650	1958	1070	Lluvia muy inferior a la normal.

Hemos obtenido una buena comprobación del ajuste del balance hídrico, al considerar el exceso de agua calculado y el derrame observado en la cuenca del Río Quequén (calculado, 60 mm; observado, 59 mm). Lamentablemente, los valores del Río Salado no nos permiten una comparación similar, por cuanto la considerable red de canales de desagüe



de la provincia de Buenos Aires desvía una buena parte del agua que correspondería a ese río.

Resulta, asimismo, ilustrativa la comparación entre el consumo de agua de riego en algunos valles con climas áridos y semiáridos, y la deficiencia calculada por el método expuesto, como muestra el cuadro III.

El análisis de la fisionomía vegetal en la República Argentina y su comparación con los mapas de exceso y de deficiencia de agua es otro elemento más, que nos confirma la verosimilitud del método estudiado. Esperamos, en un futuro próximo, contar con las observaciones directas de la evapotranspiración potencial, en una extendida red de estaciones de observación, para someter este método a una prueba definitiva.

VII — LAS REGIONES HIDRICAS EN LA REPUBLICA ARGENTINA

La nueva clasificación climática de THORNTHWAITE (1948) se basa, como la anterior, sobre la distribución de la efectividad hídrica y térmica, que son los elementos que determinan principalmente la vida vegetal.

El autor referido ha propuesto un índice hídrico para establecer las regiones hídricas. Este índice integra en un valor el balance hídrico anual que hemos descrito anteriormente. Su cálculo se obtiene sustrayendo 6 décimos del índice de aridez al índice de humedad. A su vez, el índice de aridez se expresa por

$$\frac{100 \times \text{deficiencia de agua}}{\text{necesidad de agua}}$$

y el índice de humedad es igual a

$$\frac{100 \times \text{exceso de agua}}{\text{necesidad de agua}}$$

de donde la ecuación del índice hídrico resulta

$$\frac{100 \times \text{exceso de agua} - 60 \times \text{deficiencia de agua}}{\text{necesidad de agua}}$$

Los climas áridos tienen índices hídricos de valor negativo y los climas húmedos, de valor positivo. La reducción en el valor del índice de aridez se debe a que se tiene en cuenta, que la vegetación perenne puede utilizar la humedad de las capas más profundas del suelo, que la considerada en el cálculo del balance hídrico, de aproximadamente 1 m de profundidad.

El índice hídrico, así determinado, se desvincula completamente del tipo de vegetación que corresponde al clima, y queda sujeto al libre juego del exceso y de la deficiencia de agua. Los distintos tipos climáticos, que resultan de los índices hídricos posibles con sus límites, son los siguientes:

Tipo climático	Índice hídrico
A Perhúmedo	100 y superiores
B <sub>1</sub> Húmedo	80 a 100
B <sub>2</sub> Húmedo	60 a 80
B <sub>3</sub> Húmedo	40 a 60
B <sub>4</sub> Húmedo	20 a 40
C <sub>1</sub> Subhúmedo húmedo	0 a 20
C <sub>2</sub> Subhúmedo seco	-20 a 0
D Semiárido	-40 a -20
E Árido	-60 a -40

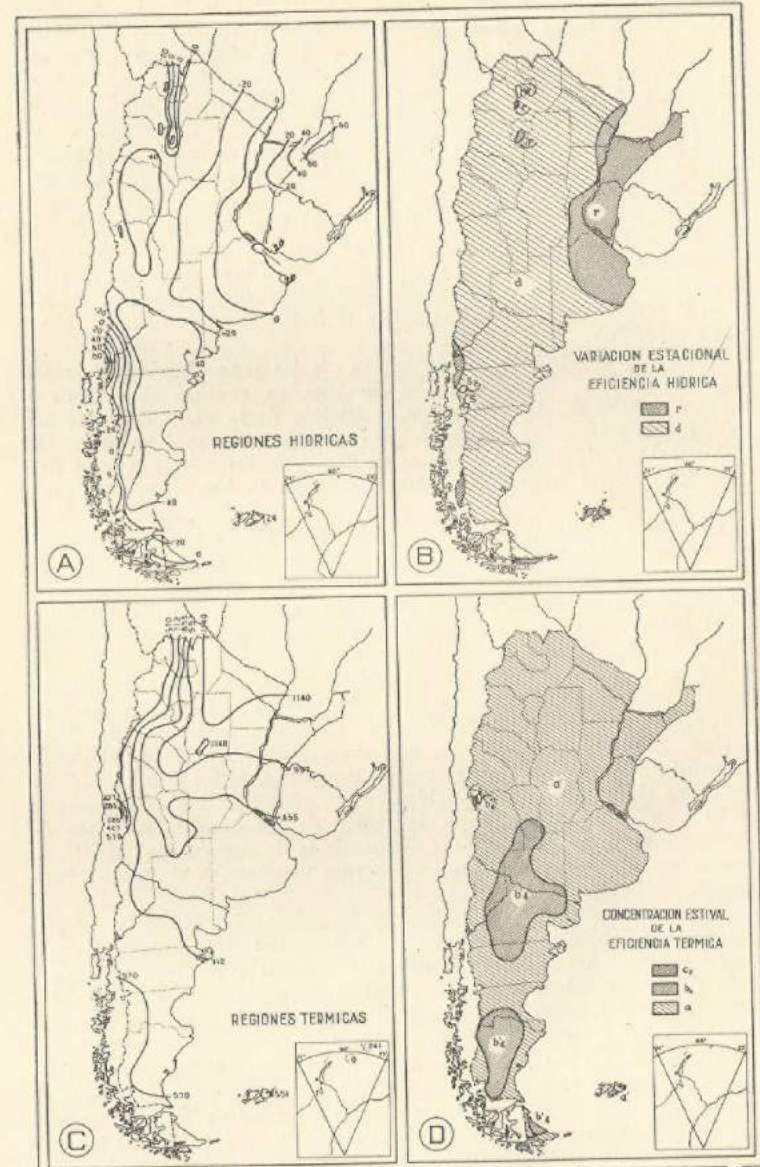


FIG. 7. — Tipos de climas en la República Argentina según la nueva clasificación de THORNTHWAITE.



En la República Argentina (Fig. 7, A), de acuerdo con los datos que poseemos, no existe el tipo perhúmedo, pero sí el húmedo  $B_1$  en una pequeña porción del país ubicada al sur de Neuquén y norte de Chubut. El extremo oriental de Misiones se aproxima a este límite, en las localidades de las que tenemos registro (Concepción de la Sierra, i. ho. = 79.7).

En la porción noreste de la República Argentina y en dirección al sudoeste se van escalonando los tipos húmedos  $B_3$ ,  $B_2$  y  $B_1$ , el subhúmedo húmedo  $C_2$  y el subhúmedo seco  $C_1$ .

Toda esta porción estaba incluida: en el tipo de clima húmedo, Cf, de la clasificación de KÖPPEN (1931), que en el hemisferio norte corresponde a clima de bosques higrofitos y mesofitos; en el tipo húmedo B y subhúmedo C de la clasificación anterior de THORNHWAITE (1931) y en el tipo árido y semiárido, según el índice de aridez de DE MARTONNE (1926).

Si analizamos la nueva distribución de las regiones hídricas, según THORNHWAITE, hallamos razón climática en considerar parte de la margen derecha del Río Paraná y la del Río de la Plata en la formación fitogeográfica del Parque Mesopotámico, como lo hace BURKART (HAUMAN *et al.*, 1947), y el noreste de Corrientes en una unidad fitogeográfica con el territorio de Misiones, como lo han sugerido algunos fitogeógrafos.

La Estepa Pampeana queda incluida en el tipo subhúmedo húmedo  $C_2$ , en su porción oriental, y en el subhúmedo seco  $C_1$ , en la occidental. Con ello se explicaría la razón climática de su carencia de bosques y su similitud fisionómica con las regiones que poseen este tipo de clima, en el hemisferio norte en latitudes semejantes, como en el "Grass Belt" de los Estados Unidos de Norteamérica y Canadá.

La línea de valor 0 del índice hídrico pretende marcar la división entre los suelos pedalfers y pedocales. Al oeste de esta línea, en la parte central de la República Argentina, se encuentran los tipos de climas áridos. El subhúmedo seco  $C_1$ , que abarca la parte central del Parque Chaqueño y la occidental de la Estepa Pampeana, es un tipo transicional hacia los climas típicamente áridos.

El tipo semiárido D abarca la región de los bosques xerofitos del Parque Chaqueño, la porción oriental de la formación del Monte, en donde son comunes los elementos arbóreos xerofitos, y el Bosque Pampeano.

El aumento de las precipitaciones y la disminución de la evapotranspiración, que originan el sistema montañoso del Aconquija y las primeras estribaciones andinas del noroeste argentino, motivan la reaparición de climas más húmedos como el subhúmedo seco, el subhúmedo húmedo y el húmedo  $B_1$ . Estos últimos, probablemente, abarcan la extensión de la Selva Tucumano-oranense.

Al oeste de los sistemas montañosos que hemos referido, por el efecto desecante de los vientos descententes del este y norte, en la época de mayor precipitación y también de mayor necesidad de agua, se encuentra el tipo de clima árido E, donde el índice hídrico resulta de los más bajos que registra el país. En este tipo de clima están incluidos parte de la quebrada de Humahuaca, los valles Calchaquíes y la porción llana de las provincias de Catamarca, La Rioja, San Juan y Mendoza. La

formación que corresponde a este tipo de clima es el Monte Occidental, de vegetación xerofita arbustiva.

Al sur del Río Colorado tenemos un cuadro similar pero inverso en la distribución de las regiones hídricas. Los índices hídricos positivos descienden rápidamente a valores negativos desde el oeste hacia el este, con el descenso del relieve terrestre. En una amplitud de aproximadamente 150 Km se van escalonando los tipos  $B_4$ ,  $B_3$ ,  $B_2$ ,  $B_1$  y  $C_2$ . Más de la mitad oriental de la Patagonia cae dentro del tipo de clima árido E, con índices inferiores a -40. La porción sur de la gobernación de Santa Cruz pertenece al tipo semiárido D, el norte de Tierra del Fuego al subhúmedo seco  $C_2$ , el sur de Tierra del Fuego al subhúmedo húmedo  $C_2$ , y las Islas Malvinas al húmedo  $B_1$ .

Esta distribución climática está en perfecto acuerdo con la distribución de la vegetación natural en la porción más austral de nuestro país. Las formas de xerofitismo absoluto, de la parte Central de la Patagonia, van cediendo lugar a otras menos adaptadas a la escasez de agua, y en el extremo sudeste de Santa Cruz se insinúan las asociaciones con gramíneas tiernas y con ellas la posibilidad de la cría del ganado vacuno. Estas condiciones se acentúan en el norte de la Isla Grande de Tierra del Fuego, en cuya porción sur, por un aumento de la efectividad hídrica y su elevada latitud, reaparecen las condiciones de bosques  $C_2$ .

Las Islas Malvinas, de acuerdo a ello, deberían poseer la fisionomía de los Bosques Magallánicos, en cuanto a la eficiencia hídrica de su clima ( $B_1$ ), pero debido a la extraordinaria fuerza y frecuencia del viento, su vegetación es herbácea y arbustiva. Corrobora lo dicho anteriormente el hecho de que la composición florística de estos estratos sea muy semejante a la de los Bosques Magallánicos (SKOTTSBERG, citado por HAUMAN *et al.*, 1947).

#### VIII.— VARIACION ESTACIONAL DE LA EFICIENCIA HIDRICA

Para expresar la variación estacional de la efectividad hídrica, THORNHWAITE (1948) tiene en cuenta la magnitud del índice de aridez en los climas húmedos (A, B,  $C_2$ ) y la del índice de humedad en los climas secos, según los siguientes valores y características:

Climas húmedos (A, B, $C_2$ )		Índice de aridez
r	Nulo o pequeña deficiencia de agua .....	0 a 16,7
s	Deficiencia moderada de agua en verano .....	16,7 a 33,3
w	Deficiencia moderada de agua en invierno .....	16,7 a 33,3
s <sub>2</sub>	Gran deficiencia de agua en verano .....	más de 33,3
w <sub>2</sub>	Gran deficiencia de agua en invierno .....	más de 33,3
Climas secos (C, D, E)		Índice de humedad
d	Nulo o pequeño exceso de agua .....	0 a 10
s	Exceso moderado de agua en invierno .....	10 a 20
w	Exceso moderado de agua en verano .....	10 a 20
s <sub>2</sub>	Gran exceso de agua en invierno .....	más de 20
w <sub>2</sub>	Gran exceso de agua en verano .....	más de 20

De acuerdo con la clasificación que antecede, los climas secos de nuestro país, que ocupan la mayor parte de su superficie, tienen muy poca variación estacional de su escasa eficiencia hídrica y caen dentro del grupo d, de nulo o pequeño exceso de agua (Fig. 7, B).



Los climas húmedos de la porción noreste del país caen en el grupo  $r$ , o sea, de nula o pequeña deficiencia de agua. Los climas húmedos del noroeste argentino toman la característica  $r$ , en las provincias de Tucumán y Salta y  $w$  en la provincia de Jujuy. Esta última característica, que se define como de deficiencia moderada de agua en invierno, resulta en la provincia de Jujuy más bien como deficiencia de primavera. Los climas húmedos del sudoeste argentino toman la característica  $r$  en la porción más próxima a Chile, en el sur de Neuquén y norte de Chubut y en el oeste de Santa Cruz. En la región subhúmedo-húmeda de este sector, encontramos localidades con deficiencia moderada en verano, como en Río Pico (característica  $s$ ), y con gran deficiencia de agua en verano, como en Esquel (característica  $s_2$ ). Los climas subhúmedo-húmedos del sur de Tierra del Fuego y de las Islas Malvinas se caracterizan por una nula o pequeña deficiencia de agua (característica  $r$ ).

#### IX.—REGIONES TERMICAS EN LA REPUBLICA ARGENTINA

En esta nueva clasificación climática se propone como índice de la eficiencia térmica la evapotranspiración potencial, desde que ésta resulta una expresión de la longitud del día y de la temperatura. Los tipos climáticos térmicos y los índices límites de los mismos son como sigue:

Índice de eficiencia térmica mm	Tipo de clima
142	$E'$ Helado
285	$D'$ Tundra
427	$C_1'$ } Microtermal
570	$C_2'$ }
712	$B_1'$ } Mesotermal
855	$B_2'$ }
907	$B_3'$ }
1140	$B_4'$ }
	$A'$ Megatermal

La República Argentina (Fig. 7, C) posee el tipo de clima megatermal en Formosa, este de Salta, oeste del Chaco, noreste de Santiago del Estero y en una pequeña porción al oeste de la extremidad norte de las sierras de Córdoba, sobre las Salinas Grandes. A pesar de su tipo climático, en estas regiones son frecuentes las heladas en invierno, por lo que muchos cultivos típicamente tropicales no pueden prosperar en ellas, ni aun cuando se dispusiera de riego.

Los climas mesotermiales abarcan casi todo el resto del país, y sus diversos tipos se extienden por franjas que siguen aproximadamente la dirección de las isotermas. La Estepa Pampeana está incluida en el tipo mesotermal  $B'_2$ .

Los climas microtermales tienen una escasa representación en nuestro país, ya que el  $C'_2$  se extiende por el oeste de Chubut, oeste y sur de Santa Cruz, Tierra del Fuego, Islas Malvinas y la mayor parte del desierto andino.

Como clima de Tundra  $D'$  podríamos referir el de Cristo Redentor, y como clima helado  $E'$  las altas cumbres de los Andes, con nieves eternas, las Islas Orcadas del Sud y la Antártida Argentina.

#### X.—CONCENTRACION ESTIVAL DE LA EFICIENCIA TERMICA

La concentración estival de la eficiencia térmica abarca los siguientes tipos y sus correspondientes porcentajes de concentración:

Concentración estival porcentaje	Concentración estival tipo
48,0	$a'$
51,9	$b_1'$
56,3	$b_2'$
61,6	$b_3'$
68,0	$b_4'$
76,3	$c_1'$
88,0	$c_2'$
	$d'$

La poca variación anual de la temperatura que se registra en toda la República Argentina (Fig. 7, D) hace que muy pocos tipos de clima de concentración estival de la eficiencia térmica, estén presentes en su territorio. A eso se debe que la mayor parte del país corresponda al tipo  $a'$  y sólo su porción más continental, que abarca el este de Mendoza, sur de San Juan, oeste de La Pampa y centro de Río Negro, caigan en el tipo  $b'_4$ . En los climas mesotermiales  $B'_1$  y microtermales, donde el verano es muy corto, la concentración estival de su escasa eficiencia térmica es relativamente elevada. Así, el centro de la gobernación de Santa Cruz y el norte de Tierra del Fuego corresponden al tipo  $b'_4$ , y las localidades de Cristo Redentor y Puente del Inca al  $c'_2$  y al  $b'_3$  respectivamente.

#### XI.—LOS TIPOS DE CLIMA PRESENTES EN LA REPUBLICA ARGENTINA

Si se superponen los cuatro mapas que muestran las regiones climáticas descriptas, según esta nueva clasificación, la República Argentina resultaría poseer los tipos siguientes: (Las cifras entre paréntesis indican el número de veces que se repite el tipo de clima).

Climas húmedos	Climas subhúmedo-secos	Climas subhúmedo-húmedos
$B_1 B_1' r a'$	$C_1 A' d a'$	$C_2 A' r a'$
$B_1 B_2' r a'$	$C_1 B_1' d a'$ (2)	$C_2 B_2' r a'$
$B_2 B_1' r a'$ (2)	$C_1 B_2' d b_1'$	$C_2 B_3' d a'$
$B_2 B_1' r a'$	$C_1 B_3' d a'$ (3)	$C_2 B_4' r b_1'$
$B_2 B_1' d a'$	$C_1 B_4' r a'$	$C_2 B_5' r a'$
$B_2 B_1' r a'$	$C_1 B_5' d a'$ (2)	$C_2 B_6' w a'$
$B_1 B_1' r a'$	$C_1 B_1' d a'$ (2)	$C_2 B_7' d a'$
$B_1 B_2' r a'$	$C_1 C_1' d a'$ (3)	$C_2 B_8' r a'$
$B_1 B_2' r b_1'$	$C_1 C_2' d b_1'$ (3)	$C_2 B_9' s_2 a'$
$B_1 B_1' d a'$		$C_2 B_1' d a'$ (3)
$B_1 B_1' r a'$		$C_2 C_2' s a'$
$B_1 C_1' d a'$		$C_2 C_3' r a'$ (2)
		$C_2 C_4' d a'$ (2)
		$C_2 C_5' d a'$



Climas semiáridos	Climas áridos
D A' d a' (2)	E B <sub>1</sub> ' d a'
D B <sub>1</sub> ' d a'	E B <sub>2</sub> ' d a'
D B <sub>2</sub> ' d b <sub>1</sub> '	E B <sub>2</sub> ' d b <sub>1</sub> ' (2)
D B <sub>2</sub> ' d a' (3)	E B <sub>2</sub> ' d a' (4)
D B <sub>2</sub> ' d b <sub>1</sub> '	E B <sub>2</sub> ' d b <sub>1</sub> ' (2)
D B <sub>2</sub> ' d a' (5)	E B <sub>2</sub> ' d a' (3)
D B <sub>2</sub> ' d b <sub>1</sub> ' (3)	E C <sub>2</sub> ' d a' (2)
D B <sub>2</sub> ' d a' (4)	
D C <sub>2</sub> ' d b <sub>1</sub> ' (2)	Clima helado
D C <sub>2</sub> ' d a' (5)	E'
D C <sub>2</sub> ' d b <sub>1</sub> '	

## XII.—ANÁLISIS CRÍTICO DE DISTINTOS SISTEMAS DE CLASIFICACION CLIMÁTICA EN LA REPUBLICA ARGENTINA

Varios son los ensayos que se han efectuado sobre la tipología climática de la República Argentina.

DAVIES (1902 y 1910) propuso una división climática que sólo resulta una descripción meteorológica de regiones político-geográficas.

Las distintas obras de KÖPPEN (1923 y 1931) y la de KÖPPEN-GEIGER (1936) sobre los climas del mundo incluyen mapas de Sud América con el ensayo de su sistema climatológico. KNOCHE y BORZACOV (1947 : 145 - 163) hicieron una primera crítica sobre su adaptación a la realidad geográfica del país, y describieron el sistema de KNOCHE de "climas mensuales" que, por lo tanto, no permite hacer una síntesis climática definitiva.

En la figura 8 presentamos para su comparación varios sistemas climatológicos aplicados a la República Argentina, especialmente en cuanto a la valoración de las regiones hídricas.

Hemos trazado las regiones hídricas de DE MARTONNE con la fórmula del índice de aridez últimamente propuesto (DE MARTONNE, 1947) que resulta del promedio del índice de aridez anual y el del mes más seco, y los tipos de clima de KÖPPEN los hemos tomado del trabajo ya citado de KNOCHE y BORZACOV.

Todos estos sistemas se basan en una ponderación de la humedad, según la relación que existe en la naturaleza entre la precipitación y el consumo de agua por la evaporación, pero en los cálculos de los índices hídricos interviene la temperatura en lugar de la evaporación. Es decir, que siguen la premisa sentada por KÖPPEN desde sus primeros ensayos de clasificación climática<sup>1</sup>.

Los sistemas de KÖPPEN y DE MARTONNE ejemplifican lo que cabe esperar cuando el balance hídrico se basa en fórmulas teóricas, en las que la temperatura interviene por sí misma, como una medida directa de la evaporación. El sistema de THORNTHWAITE (1930) muestra cuando el balance hídrico o "efectividad de la precipitación" resulta de la

(1) KÖPPEN (1900: 195): «La precipitación aislada no determina el contenido de humedad del suelo ni permite distinguir si un clima es húmedo o seco. Aquí la época y las condiciones de la precipitación así como la intensidad de la evaporación son decisivos». KÖPPEN (1923: 110 y 112): «... En los climas lluviosos los efectos del agua de lluvia son diferentes según la temperatura. Hasta ahora disponemos de muy pocas mediciones exactas de las cantidades de agua contenidas en los distintos suelos. Sin embargo la cantidad de lluvia aislada no nos puede servir de norma climática, porque lo que importa es el tiempo en que el agua vuelve a desaparecer por evaporación. De algunos países tenemos un número regular de mediciones de la evaporación, pero éstas de ninguna manera bastan para formar un cuadro climático, porque tanto los aparatos como los suelos mismos, según estén o no expuestos al viento y a la radiación solar, muestran una discrepancia absoluta en sus valores. Pero en lugar de la evaporación podemos valerlos de la temperatura del aire a fin de encontrar, en combinación con la lluvia, un término aproximado para establecer el valor en cuestión o sea el grado de humedad del lugar ».

intervención de la temperatura como variable experimentalmente calculada, de la evaporación de superficies libres de agua<sup>2</sup>; y el sistema de THORNTHWAITE (1948), que el balance hídrico se obtiene teniendo en cuenta la evapotranspiración potencial del suelo y de la vegetación, y la capacidad de retención del suelo, en cuyo caso la temperatura es sólo una de las variables, calculadas experimentalmente, que determinan la evapotranspiración potencial.

De los tipos de clima de KÖPPEN (Fig. 8, A) no es posible separar las regiones hídricas, por cuanto el criterio para fijar los valores límites entre éstas varía de acuerdo con la región térmica que integran. Pero el hecho de que tales índices límites hayan sido deducidos de la fisonomía vegetal, una confrontación con ésta, en todo el mundo, permite abrir juicio sobre su valor más general de aplicación.

Los trabajos para adaptar este sistema en América, como son los de RUSSELL (1926) en California, VAN ROYEN (1927) en la porción oriental de Norte América y ACKERMAN (1941) en Norte América en conjunto, han mostrado dificultad de conformarlo con los límites naturales de los tipos de vegetación.

En el caso de nuestro país, debemos remitirnos en primer término a la opinión del mismo autor del sistema (KÖPPEN, 1923) de que "la región del Plata opone grandes dificultades al tratar de hacerla caber dentro del gran sistema climatológico"<sup>3</sup>. Si analizamos el mapa de la figura 8, A, veremos que el clima Cf, mesotermal húmedo, que según KÖPPEN (1923) "se distingue por producir bosques lujuriosos de árboles altos, donde el desarrollo de los árboles no es restringido por los fuertes vientos o adversas condiciones de suelo, como en las costas de los mares y en los pantanos" abarca una gran extensión en nuestro país cuyo paisaje fitogeográfico comprende las formaciones de selva, bosque xerofito y estepa. El clima Cw, mesotermal, seco en invierno, que debería corresponder con la vegetación de bosque bajo o arbustiva xerofita, abarca la Selva Tucumano-oranense y los matorrales xerofitos de las sierras de Córdoba. Por último, el clima Cs, mesotermal, con verano seco o clima etésico, que corresponde al clima del Mediterráneo y a la porción central de Chile, en nuestro país abarca la porción norte de los Bosques Subantárticos, que algunos autores han definido como selva.

Probablemente, el error de SCHMIEDER de considerar a la Estepa Pampeana como una pradera inducida por el hombre, que resulta rebatible por argumentos climáticos, edáficos y aun históricos, y que tanta controversia despertara en nuestro país, se deba a que este autor haya adoptado la clasificación de KÖPPEN, sin discriminaciones, en su des-

(2) La ecuación utilizada por THORNTHWAITE (1930) para el cálculo de la efectividad de la precipitación

$$\frac{P}{E} = 11,5 \left( \frac{P}{T-10} \right)^{10}$$
 para usar con temperatura en °F, fué calculada con los valores de evaporación de superficie libre de agua y temperatura del aire en 21 estaciones del oeste de los Estados Unidos de Norte América.

(3) KÖPPEN (192 : 125): «La región del Plata opone grandes dificultades al tratar de hacerla caber dentro del gran sistema climatológico. Si sólo nos atenemos a la cantidad de lluvia, tenemos que considerarlo como templado húmedo, pero las precipitaciones se presentan en forma de grandes aguaceros, que caen en tan pocos días, que la falta de una vegetación arbórea puede muy bien atribuirse, en parte, a la escasez de agua; según la frecuencia de las lluvias, deberíamos clasificar la Pampa entre los climas esteparios, por carecer de una verdadera temporada de lluvia, porque en cualquier otra zona que la incluyamos, la vegetación arbórea se sostiene con cantidades de lluvia más bajas, particularmente en las regiones en que las lluvias caen en la estación más fría. Casos similares son las estepas del sur de Rusia y la misma latitud en Norte América como en Arkansas ».



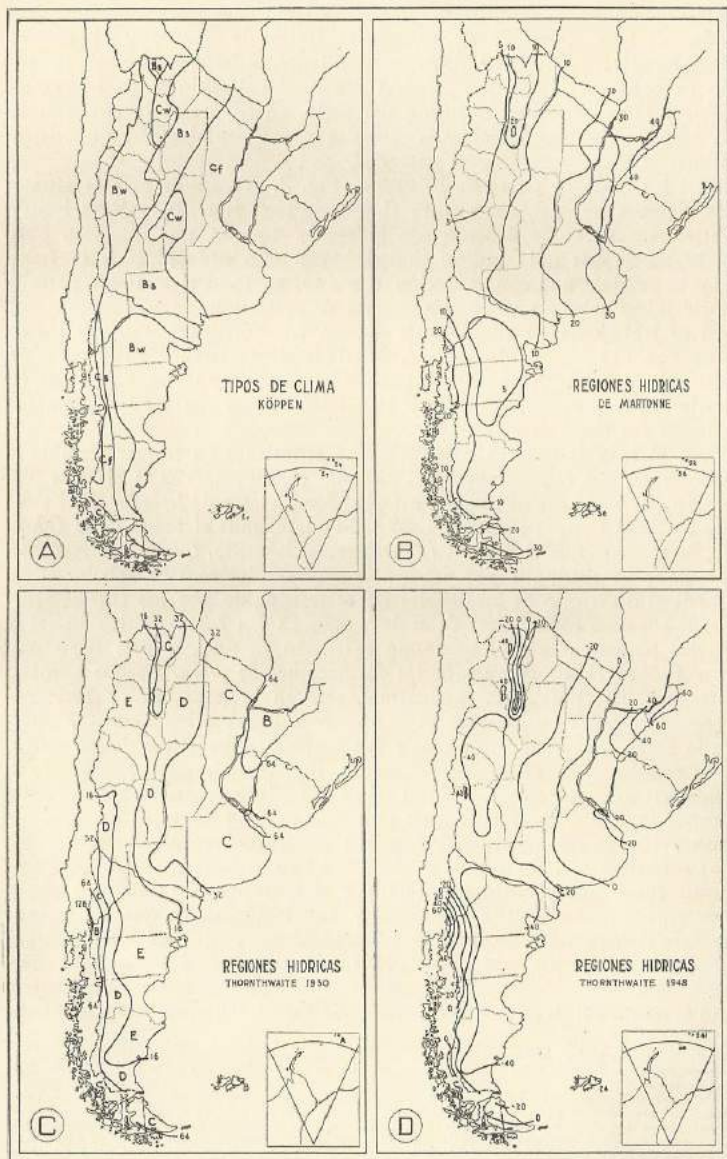


FIG. 8. — Comparación entre varios sistemas climatológicos aplicados a la República Argentina.

cripción geográfica de América (SCHMIEDER, 1927 y 1946: 707 y 829).

Las nuevas regiones hídricas de DE MARTONNE, con todo que mejoren sensiblemente las que pueden obtenerse con su índice de aridez anterior, presentan algunos contrastes interesantes en nuestro país, si se las relaciona con la vegetación natural.

Según su autor (DE MARTONNE, 1941) "en las bajas latitudes no existe bosque denso donde los índices son inferiores a 30; entre 30 y 20 encontramos las sabanas con bosques en galería. En las altas latitudes, las formaciones herbáceas tienden a reemplazar al bosque donde el índice de aridez es inferior a 25 y la estepa, con matorrales espaciados, aparece cuando el índice es inferior a 15.

En nuestro país, en las bajas latitudes encontramos formaciones de selva con índices que oscilan entre 10 y 20, como en Tucumán y Salta. Pero, en esas mismas latitudes, y entre los mismos valores de índice de aridez, se ubican los bosques y matorrales xerofitos del Parque Chaqueño. En las latitudes medias y altas encontramos los bosques higrofitos de la Foresta Valdiviana con índices inferiores a 25, y la Estepa Patagónica, superiores a 15 (Fig. 8, B).

El sistema de clasificación de THORNTHWAITE, de 1930 (Fig. 8, C) tiene la ventaja sobre la de KÖPPEN de introducir el tipo de clima subhúmedo entre los típicamente húmedos y los semi-áridos, como clima de transición, que ubica en su correcto lugar a nuestra Estepa Pampeana. Sin embargo, debemos observar que en la parte Norte del país existen, dentro de una misma región hídrica, la Selva Tucumán-oranense y los bosques xerofitos del Parque Chaqueño.

Por último, el sistema de THORNTHWAITE de 1948 (Fig. 8, D) se nos presenta como el más adecuado a la distribución de la vegetación natural en nuestro país, pero sus consideraciones generales no las repetiremos aquí por haber sido expuestas en los capítulos anteriores.

#### RECONOCIMIENTO

Los autores desean expresar en esta oportunidad su agradecimiento: al Dr. C. W. Thornthwaite, por haberles facilitado la comparación del balance hídrico de Buenos Aires (Fig. 6, E), calculada mediante los datos de humedad del suelo expuestos por A. L. De Fina y A. D. Sordelli en "Un año (1937) de determinaciones semanales de la humedad del suelo y subsuelo en Buenos Aires", *Agronomía*, año XXXIV, Nº 162, Tomo 31 (2): 127-160; al Instituto de Suelos y Agrotecnia del Ministerio de Agricultura y Ganadería, por el suministro de las constantes físicas del suelo que les permitieron realizar las demás comparaciones (Fig. 6, A, B, C, D y F); al Ing. A. Marchetti, Jefe de la División de Hidrología del S. M. N., por el cálculo del derrame de las cuencas analizadas en este estudio; al Ing. Agr. Modesto Carlos Santos, por la dirección de la ilustración gráfica del presente trabajo. Y manifiestan asimismo su gratitud a las señoritas Edith Di Neubourg, Prof. Nélida Gessaghi y Dra. María Campmany, por la eficaz colaboración prestada en el acopio de datos, confección de mapas y verificación de manuscritos, respectivamente.



## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ACKERMAN, E. A. 1941. — « The Köppen classification of climates in North America ». *Geogr. Rev.* 31: 105-111.
- BURGOS, JUAN J. 1949. — « El evapotranspirómetro de Thornthwaite ». Inédito. 10 págs. a máquina. Buenos Aires.
- CANDOLLE, A. DE. 1855. — « Géographie botanique raisonnée, ou Exposition des faits principaux et des lois concernant la distribution géographique des plantes de l'époque actuelle ». Paris et Genève. 2 Vols.
- CANDOLLE, A. DE. 1874. — « Constitution dans le regne végétal de groupes physiologiques applicables à la Géographie botanique ancienne et moderne ». *Bibliothèque Universelle, Archives de Sci. Phys. et Nat.* 50 (N. S.): 5-42.
- DAVIES, W. 1902. — « Climate of the Argentine Republic ». Buenos Aires.
- DAVIES, W. 1910. — « Climate of the Argentine Republic ». Buenos Aires.
- DE MARTONNE, E. 1926. — « Une nouvelle fonction climatologique: l'Indice d'aridité ». *La Météorologie*, oct. 1926: 449-458.
- DE MARTONNE, E. 1941. — « Nouvelle carte mondiale de l'indice d'aridité ». *La Météorologie*, Janvier 1941: 5-26.
- DRUDE, OSCAR. 1890. — « Handbuch der Pflanzengeographie ». Stuttgart.
- GRISERBACH, A. 1866. — « Die Vegetations-Gebiete der Erde, übersichtlich zusammengestellt ». *Petermanns Mitl.* 12: 45-53.
- HAUMAN, L.; A. BURKART; L. R. PARODI y A. L. CABRERA. 1947. — « La vegetación de la Argentina ». « Geografía de la República Argentina » (GAEA). Buenos Aires. VIII.
- KNOCH, W., y V. BORZACOV. 1947. — « Provincias climáticas de la Argentina ». « Geografía de la República Argentina » (GAEA). Buenos Aires. VI: 140-174.
- KÖPPEN, W. 1854. — « Die Wärmezonen der Erde, nach der Dauer der heissen gemäßigten und kalten Zeit und nach der Wirkung der Wärme auf die organische Welt betrachtet ». *Meteor. Zeitschr.* 1: 215-226.
- KÖPPEN, W. 1900. — « Versuch einer Klimaklassifikation der Klimate vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt ». *Geogr. Zeitschr.* 6: 593-611 y 657-679.
- KÖPPEN, W. 1925. — « Die Klimate der Erde. Grundriss der Klimakunde ». Berlin und Leipzig. X + 369 págs., 8 tabl., 19 figs.
- KÖPPEN, W. 1931. — « Grundriss der Klimakunde ». Berlin und Leipzig. Walter de Gruyter & Co. XII + 588 págs., 28 figs.
- KÖPPEN, W., y R. GEIGER. 1936. — « Handbuch der Klimatologie ». Berlin. II (G): K. KNOCH. — *Klimakunde von Südamerika*. 349 págs. (1930).
- PENCK, ALBRECHT. 1910. — « Versuch einer Klimaklassifikation auf physiographischer Grundlage ». *Sitzungsber. Königl. Preuss. Akad. der Wiss., Phys.-Math. Klasse*. Berlin. I: 256-46.
- ROSELL, R. J. 1926. — « Climates of California ». *Univ. of California Publ. in Geogr.* 2 (4).
- SANDERSON, M. 1948. — a. « An experiment to measure potential evapotranspiration ». *Can. J. Research*, Sec. C. 26: 445-454.
- SANDERSON, M. 1948. — b. « The climate of Canada according to the New Thornthwaite Classification ». Reprinted from *Scientific Agriculture* 28: 501-517, 9 figs. Nov. 1948.
- SCHIMPER, A. F. W. 1898. — « Pflanzen-Geographie auf physiologischer Grundlage ». Jena.
- SCHMIEDER, O. 1927. — « The Pampa. A natural or culturally induced grass-land ». *Univ. of California Publ. in Geography* 2 (8). 1927.
- SCHMIEDER, O. 1946. — « Geografía de América. América del Norte, América Central, América del Sur ». 1116 págs. 183 ilustr. México.
- THORNTHWAITTE, C. W. 1931. — « The climates of North America according to a new classification ». *The Geographical Review*, Oct. 1931: 633-655.
- THORNTHWAITTE, C. W. 1946. — « El agua en la agricultura ». *Irrigación en México* 27 (2): 19-43, 15 figs.
- THORNTHWAITTE, C. W. 1948. — « An approach toward a rational classification of climate ». Reprinted from *The Geographical Review*, XXXVIII (1): 55-94, 13 figs., 4 tabl.
- THORNTHWAITTE, C. W., y B. HOLZMAN. 1942. — « Measurement of evaporation from land and water surface ». *Technical Bulletin*, n° 817. May 1942. 75 págs., 9 tabl., 22 figs.
- VAN ROYEN, W. 1927. — « The climatic regions of North America ». *Monthly Weather Review* 55: 315-319.

## BASES PARA EL PRONOSTICO A MEDIO PLAZO DE LAS CONDICIONES DE TEMPERATURA EN EL OTOÑO DE BUENOS AIRES

Por WERNER SCHWERDTFEGER \*

**Resumen.** — Discusión de una correlación múltiple que se refiere a la temperatura de Buenos Aires para 7 días consecutivos, en función de: 1) la desviación de la temperatura de un día fijo respecto a la normal; 2) la diferencia de la presión Buenos Aires-Santa Cruz, la cual se toma como sustituto de un índice de circulación zonal, y 3) la variación interdiurna de la presión en Buenos Aires. Breve descripción de la singularidad en la marcha de la temperatura y otros elementos en la segunda y tercera pentada del mes de mayo, en la Argentina.

**Summary.** — Based on synoptic considerations, the author establishes a multiple correlation for extended temperature forecasts (up to 6 days) for the Buenos Aires region. The three independent variables are: 1) the pressure difference between Buenos Aires (35° S) and Sta. Cruz (50° S), using overlapping three-days-means as an easy substitute for the index of zonal circulation; 2) the deviation of the temperature from normal; and 3) the interdiurnal pressure variation, for 2) and 3) Buenos Aires values only. Then the author gives a short description of the synoptic singularity during the first half of May, which is dominant over the southern part of this continent.

### A) INTRODUCCION

En el hemisferio norte se ha notado, durante los últimos años, una creciente exactitud en el pronóstico del tiempo, en particular en el pronóstico para varios días. Este progreso se ha debido en parte a la considerable ampliación de la red de observaciones en superficie (provenientes de los muchos barcos ubicados en ambos océanos), y en altura (numerosos partes de aviones, e incluso radiosondeos, practicados también en el mar desde buques meteorológicos), y al correspondiente perfeccionamiento de los métodos de trabajo sinóptico-aerológico. Para Sudamérica, las probabilidades de un desenvolvimiento en este sentido son menores, ya que aun cuando en fecha próxima se instalara una red terrestre de estaciones de radiosondeo, quedaría el espacio desconocido del Pacífico Sud, del que no se pueden esperar informes suficientes, en superficie y altura, dada la actual exigüidad del tránsito marítimo.

Por todo lo dicho resultaría conveniente buscar aquí, en el hemisferio sud, otros medios que condujeran al mejoramiento y a la ampliación temporal del pronóstico. Dada la situación de las cosas, podrían ofrecerse en primer término los métodos estadísticos basados en consideraciones sinópticas. Para este proyecto, resulta favorable el hecho de que los procesos meteorológicos, o bien su variación, muestran generalmente menor diversidad en las latitudes medias del hemisferio sud —aproximadamente al norte de los 40° de latitud sud— que en el hemisferio norte.

\* Doctor en Filosofía (Meteorología y Geofísica). Universidad de Leipzig. Meteorólogo en el S. M. N.



El presente trabajo ha de representar, en este sentido, el primer intento de avanzar un pequeño paso, en especial mediante la ayuda de las tablas de frecuencias de correlaciones múltiples.

## B) CORRELACIONES

1. SIMPLE. — En una zona como la de Buenos Aires, en la que aparecen habitualmente marcadas variaciones del estado del tiempo con diferencia de varios días, resulta obvio el contar con un calentamiento en las jornadas que siguen a los días fríos, y viceversa. En la Tabla I observamos hasta dónde se justifica esta conclusión simple. Para ello tomamos los promedios diarios de la temperatura (el promedio da las 24 horas) de Buenos Aires (Observatorio Central, Villa Ortúzar), correspondientes a los meses de marzo a mayo de los 8 años comprendidos entre 1938 a 1944 y 1948; se eligieron estos años a causa de que en ellos se disponía de ciertos valores de la presión atmosférica de la Patagonia — que se emplearán en párrafos posteriores de este trabajo — en forma casi ininterrumpida y exacta.

De este material de 730 días, se anotó la magnitud de la desviación que presenta la temperatura de cada uno de los días con respecto a la temperatura promedio de los 40 años (1901-1940); se efectuó luego una división de los días en cálidos, normales y fríos, según que las diferencias fueran mayores de 2 ó  $-2^{\circ}\text{C}$ , o no. A continuación se procedió a determinar en los 730 casos, la variación de temperatura registrada entre cada uno de los 7 días subsiguientes, y el valor del día de referencia. Con esto se calculó la frecuencia de las variaciones negativas y positivas de la temperatura, se obtuvo el promedio de todos los valores de variación de cada clase, y por fin, la frecuencia de las variaciones de temperatura, mayores o iguales a  $4^{\circ}$ . Lo último resulta fundamental cuando se piensa en la aplicación de estas relaciones para el pronóstico del tiempo; pues una variación de temperatura de por ejemplo  $-0,1^{\circ}$ , que para el recuento general de frecuencias, es un enfriamiento, no lo es para el pronóstico. En cambio, una variación de temperatura de  $4^{\circ}$  ó más, que es fácilmente perceptible, tiene gran importancia para la predicción del tiempo.

El resultado de esta simple correlación es el que aparece en la Tabla I.

TABLA I. — Frecuencia relativa (%) y término medio de las variaciones de temperatura, según días cálidos normales y fríos del otoño en Buenos Aires

	Nº de casos	Día	Diferencia de temperatura						
			1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º
TA $\Delta t > 2^{\circ}$ .....	173	Frec. rel. enf. ...	66	79	82	84	91	89	87 %
		Término medio ..	-2	-3	-4	-5	-5	-5	-5
		Frec. rel. $\leq -4^{\circ}$	30	40	60	65	60	58	61 %
TB $-2^{\circ} \leq \Delta t \leq 2^{\circ}$ ..	352	Frec. rel. enf. ...	38	46	50	50	51	54	58 %
		Frec. rel. $\leq -4^{\circ}$	8	11	19	21	21	21	25 %
		Frec. rel. $\leq +4^{\circ}$	3	10	10	12	13	14	10 %
TC $\Delta t < -2^{\circ}$ ....	205	Frec. rel. cal. ...	69	78	84	86	81	81	79 %
		Término medio ..	1	2	3	3	3	3	3
		Frec. rel. $\geq 4^{\circ}$ ...	8	35	47	46	48	48	48 %
Coeficiente de correlación .....			-0,35	-0,52	-0,58	-0,63	-0,62	-0,61	-0,59

Observamos en la primera fila de las clases TA y TC, que sería posible emitir un dictamen sobre las condiciones de temperatura en los días subsiguientes, si sólo se tratara de dar el signo de la variación de temperatura, sin tener en cuenta su valor. Pero dado que justamente el valor puede ser decisivo, debemos buscar otras relaciones que permitan un juicio más exacto (mayor frecuencia relativa) sobre las variaciones de temperatura  $\geq 4^{\circ}$ , y que, a la vez, den cierta idea de la situación meteorológica correspondiente.

En la última fila se encuentra el coeficiente de correlación entre la desviación de la temperatura del día de referencia y la de los 7 días siguientes.

Ya en esa relación simple, se muestran valores bien notables para los días 4, 5 y 6. El cómputo de estos datos resultó valioso para una apreciación desde el punto de vista estadístico, dado que en los párrafos siguientes se evidenciarán relaciones más estrechas, tal como lo explican las tablas de frecuencias; el volumen del material, empero, no permite el cómputo de coeficientes de correlación múltiple.

2. DOBLE. — Para llevar adelante la investigación hay que tratar con brevedad las situaciones sinópticas que pueden conducir a grandes variaciones de temperatura en esta estación del año, en Buenos Aires. Dado que las condiciones de temperatura sobre tierra y mar, son relativamente parejas (en comparación con otras épocas del año), las variaciones notables de temperatura en Buenos Aires, están por lo tanto vinculadas con la afluencia de masas de aire polar o tropical. Sin embargo, tal afluencia de masas de aire "extrañas a la región" sólo puede ocurrir, cuando la distribución de la presión atmosférica y su variación temporal sea favorable en uno u otro sentido. Con la presión relativamente baja en las latitudes de más o menos  $45$  a  $55^{\circ}\text{S}$ , y la presión alta en las latitudes de  $30$  a  $40^{\circ}\text{S}$ , el aire polar no podría llegar a Buenos Aires; por otra parte, la afluencia de masas polares hasta la latitud de Buenos Aires es muy probable que ocurra cuando en las latitudes australes, sobre la Patagonia, reine presión alta.

De ahí que se haya elegido para una nueva clasificación la diferencia de presión Buenos Aires-Santa Cruz, tomándose el valor medio de 3 días de las observaciones a las 12 hs TMG, para conceder así menor importancia a las variaciones de presión de muy corta duración, aunque a veces muy intensas — como las que aparecen con frecuencia sobre todo en la Patagonia —, que a las amplias variaciones de presión de varios días de duración, las cuales, por sí solas, pueden transformar persistentemente la situación meteorológica general. Y si nos basamos en experiencias realizadas en Alemania, sería mejor aplicar, en vez del valor de la presión atmosférica de un lugar determinado, un "promedio de área" sobre una zona más amplia, por ejemplo, el promedio de área para el espacio comprendido entre los  $45$  y  $55^{\circ}$  de latitud S y los  $80$  y  $65^{\circ}\text{W}$ , para el cual los partes diarios proporcionan bases más o menos seguras. Pero debido a lo laborioso que sería el cálculo posterior de estos valores, se omitió hacerlo en el presente análisis, aunque, desde octubre de 1948, se lo determina para considerarlo en estudios futuros.

Para la diferencia de presión existente entre Buenos Aires (Observatorio Central) y Santa Cruz ( $50^{\circ}\text{S}$ ,  $68 \frac{1}{2}^{\circ}\text{W}$ ), y por cierto para el



promedio de tres días de los valores registrados a las 12 hs TMG, se escogió la siguiente clasificación:

PA = Bs. As. — S. Cr. > 10 mb., en descenso.  
 PB = » » — » » > » » en aumento o constante.  
 PC = » » — » » « » » en descenso o constante.  
 PD = » » — » » « » » en aumento.

Queda aquí incluída la variación temporal de la diferencia de presión entre la media de 3 días del día precedente y la media de 3 días del día de referencia. En la mañana de la jornada siguiente al día de referencia se determina, pues, en forma definitiva la clase a que corresponde el valor de dicho día; es el término en que podría utilizarse la próxima tabla de frecuencias, como elemento auxiliar del pronóstico. Los ya citados fundamentos de esta clasificación admiten aún otra interpretación, según la cual, dado que las masas de aire sobre Santa Cruz, 50° latitud S, son casi sin excepción considerablemente más frías que las de Buenos Aires, tanto en la troposfera media como en la baja, resulta que un valor positivo de la diferencia de los valores de presión en el suelo, equivale a un valor positivo, aún mayor, en la troposfera media. Vale decir, que las clases PA y PB representan una intensa circulación zonal (W a E), sobre la parte Sud del continente Sudamericano, y las clases PC y PD, una circulación más débil. Hemos logrado así una subdivisión comparable, aunque no igual, al "high index" y "low index" de los norteamericanos, vale decir, una subdivisión en tipos que ya se ha probado en otras investigaciones sobre la circulación atmosférica y sus perturbaciones. Aquí se podrían aprovechar también ciertos resultados del trabajo de E. L. DÍAZ, que trata el problema de la previsión de la circulación atmosférica sobre la Patagonia\*.

Con ayuda de esta clasificación, se obtiene la relación doble que se advierte en la Tabla II.

Esta tabla contiene ya algunos campos que tocan el límite de lo aprovechable para un pronóstico. El ítem AT-PC (temperatura en Buenos Aires en el día de referencia: más de 2° sobre la normal; diferencia de presión Buenos Aires-Santa Cruz: pequeña y en descenso o constante) da, por ejemplo, para el 4° día subsiguiente —vale decir, 3 días después de la fecha posible para un informe— en 62 casos, una probabilidad de 79 % de un enfriamiento de 4° ó más, con un promedio de -6° (promedio de los 62 casos). Ya que aun los pronósticos sobre temperatura a corto plazo no pueden suponer más del 80 % de probabilidad, no debe despreciarse una tabla de correlación como ésta, aun cuando sólo pudiera aplicársela a unos pocos días dentro de los tres meses (aquí 62 en 730 = 8,5 %).

Pero nuestro colectivo de 730 casos es suficientemente grande como para admitir aún otra subdivisión, o sea, introducir la aplicación de una condición adicional. Por eso dejaremos para más adelante la discusión de la Tabla II.

3. TRIPLE. — La otra condición se refiere, por conveniencia, a la variación de la presión atmosférica en Buenos Aires durante 24 horas (siempre en el Observatorio Central). La consideración de tales valores

\* EMILIO L. DÍAZ. — *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, tomo CXLIV, 1947.

Tabla II. — Relación doble: Diferencia de presión entre Buenos Aires y Santa Cruz y promedio diario de la temperatura en Buenos Aires mm. (n = cantidad de casos). Recaltante: Desviaciones de temperatura con respecto al día de referencia. Frecuencia (F.R.) y valores medios (T.M.).

	PA	PB	PC	PD
F. R. <0°	56	69	77	71
T. M. ....	76	74	92	64
F. R. <-4°	84	59	95	79
T. M. ....	93	-1	98	64
F. R. <-4°	89	-2	96	79
T. M. ....	86	3	6	57
F. R. <-4°	85	24	5	43
T. M. ....	69	33	52	57
F. R. <-4°	62	55	60	45
T. M. ....	69	55	71	43
F. R. <-4°	69	25	53	49
T. M. ....	58	7	64	35
F. R. <-4°	58	4	58	26
T. M. ....	62	1	55	35
F. R. <-4°	55	5	59	44
T. M. ....	58	15	30	35
F. R. <-4°	57	5	27	26
T. M. ....	67	16	30	28
F. R. <-4°	67	14	4	7
T. M. ....	55	15	6	7
F. R. <-4°	55	20	2	7
T. M. ....	57	19	6	11
F. R. <-4°	57	16	8	11
T. M. ....	55	12	45	16
F. R. <-4°	55	85	58	49
T. M. ....	57	5	58	44
F. R. <-4°	67	2	5	35
T. M. ....	55	4	5	26
F. R. <-4°	57	13	2	7
T. M. ....	67	53	12	49
F. R. <-4°	55	25	19	35
T. M. ....	57	25	38	45
F. R. <-4°	55	17	45	52
T. M. ....	57	46	52	57



Tabla III. — Tabla de frecuencias de la relación triple

	Índice alto			Índice bajo		
	PA	PB	PC	PD	PE	PF
	n	n	n	n	n	n
VA	4	6	6	4	4	4
FR < 0°	41 49 73 73 81 95 90 81 %	30 50 57 70 75 75 80 87 %	44 77 91 95 95 98 93 91 %	9 67 78 85 88 88 85 %	9 67 78 85 88 88 85 %	9 67 78 85 88 88 85 %
Prom.	-1 -2 4 -5 -6 -6 -6 -6	-1 -1 -5 -4 -4 -4 -3 -4	-2 -5 -3 -5 -6 -3 -4 -4	-2 -5 -3 -5 -6 -3 -4 -4	-2 -5 -3 -5 -6 -3 -4 -4	-2 -5 -3 -5 -6 -3 -4 -4
FR ≤ -4°	17 24 51 59 59 61 66 %	17 27 43 60 60 50 53 %	41 61 69 77 71 55 55 %	35 44 55 55 52 44 33 %	35 44 55 55 52 44 33 %	35 44 55 55 52 44 33 %
FR < 0°	10 70 80 90 80 90 100 %	20 70 50 55 45 45 65 65 %	12 67 92 92 100 100 92 %	10 90 70 40 60 60 40 %	10 90 70 40 60 60 40 %	10 90 70 40 60 60 40 %
Prom.	-1 -4 -4 -4 -4 -4 -6	0 0 0 0 1 1 -1 -1	-1 -5 -7 -7 -7 -8 -6	-1 -1 -0 -1 -0 -1 -0	-1 -1 -0 -1 -0 -1 -0	-1 -1 -0 -1 -0 -1 -0
FR ≤ -4°	0 40 70 60 60 80 %	0 5 5 15 35 20 10 %	17 85 75 92 85 83 83 %	0 0 0 4 4 7 15 11 %	0 0 0 10 10 10 10 %	0 0 0 10 10 10 10 %
FR < 0°	52 35 31 44 52 58 60 54 %	82 16 19 33 45 46 56 60 %	69 41 61 65 61 55 57 62 %	29 38 38 28 10 31 38 69 %	29 38 38 28 10 31 38 69 %	29 38 38 28 10 31 38 69 %
Prom.	1 1 0 -1 -1 -1 -2	1 2 1 1 1 0 -0 -1	-0 -1 -2 -2 -1 -1 -1	+0 +0 1 2 1 1 -0	+0 +0 1 2 1 1 -0	+0 +0 1 2 1 1 -0
FR ≤ -4°	2 8 17 25 23 27 31 %	0 0 5 15 15 15 24 %	6 20 35 29 30 23 25 %	3 7 6 1 7 9 9 %	3 7 6 1 7 9 9 %	3 7 6 1 7 9 9 %
FR > +4°	16 6 63 75 56 50 63 69 %	17 0 35 35 47 59 53 47 %	20 30 85 90 80 85 75 70 %	4 4 3 2 -1 -0 -1 0	4 4 3 2 -1 -0 -1 0	4 4 3 2 -1 -0 -1 0
Prom.	2 -1 -2 -1 -1 -1 -2	2 1 0 -0 -0 -1 0	1 -3 -4 -3 -4 -3 -2	5 45 55 50 50 50 56 %	5 45 55 50 50 50 56 %	5 45 55 50 50 50 56 %
FR ≤ -4°	0 12 25 31 31 31 25 %	0 6 18 24 24 24 18 %	5 0 0 0 0 0 0 0	19 37 74 89 89 84 84 95 %	19 37 74 89 89 84 84 95 %	19 37 74 89 89 84 84 95 %
FR > 0°	2 6 63 75 56 50 63 69 %	8 25 75 100 88 100 75 65 %	18 11 35 56 78 89 78 78 %	0 1 3 5 5 5 5 5 %	0 1 3 5 5 5 5 5 %	0 1 3 5 5 5 5 5 %
Prom.	2 -1 -2 -1 -1 -1 -2	0 12 25 37 37 30 12 %	0 0 6 11 44 44 44 %	0 1 3 5 5 5 5 5 %	0 1 3 5 5 5 5 5 %	0 1 3 5 5 5 5 5 %
FR ≤ -4°	0 12 25 31 31 31 25 %	0 6 18 24 24 24 18 %	5 0 0 0 0 0 0 0	50 74 76 84 92 88 86 86 %	50 74 76 84 92 88 86 86 %	50 74 76 84 92 88 86 86 %
FR > 0°	11 100 100 91 73 91 73 75 %	11 100 100 88 100 75 65 %	22 64 64 68 82 77 86 82 %	8 88 88 75 75 88 88 75 %	8 88 88 75 75 88 88 75 %	8 88 88 75 75 88 88 75 %
Prom.	3 4 4 4 4 4 4 4	3 4 4 4 3 3 3 3	1 1 1 1 2 2 3 3	1 2 3 3 4 4 4 4	1 2 3 3 4 4 4 4	1 2 3 3 4 4 4 4
FR ≤ -4°	45 64 55 64 55 45 18 %	9 56 66 58 54 45 49 %	0 18 25 14 27 36 55 %	12 57 50 50 62 62 25 %	12 57 50 50 62 62 25 %	12 57 50 50 62 62 25 %

de variación ha demostrado ser un importante medio auxiliar para el pronóstico en todas las latitudes, aun en los trópicos, y también la sería en Buenos Aires, donde la fluctuación diaria de intensidad variable de la presión atmosférica, que difiere según la situación meteorológica, dificulta la aplicación de los valores de variación para lapsos más breves.

De acuerdo con esto, la nueva clasificación que se da a continuación fué elegida para la variación de la presión atmosférica en Buenos Aires, desde las 12 TMG del día de referencia hasta las 12 TMG del día siguiente:

- VA = ΔP > 4 mb.
- VB = -4 mb. ≤ ΔP ≤ 4 mb.
- VC = ΔP < -4 mb.

También aquí se ha escogido el intervalo de tiempo de tal modo que el valor necesario se halle disponible en la mañana del primer día de los siete consecutivos. Con esta nueva clasificación se obtiene la siguiente relación triple que señala la Tabla III.

Así hemos obtenido, por fin, varios items que ponen al descubierto estrecha relación y que son de valor aplicativo para el pronóstico. Para algunos casilleros ocupados con menos de 8 casos, vale decir, con un promedio de menos de un caso al año, no se han calculado frecuencias relativas, ni se han indicado valores medios, a fin de no depender demasiado de la casualidad. Los demás items, más llenos, serán brevemente tratados en los siguientes incisos en cuanto proporcionan puntos de vista interesantes. En efecto:

a) La mejor y más estrecha relación del grupo TA y del total, la proporciona el item TA-PC-VC, temperatura alta en Buenos Aires el día de referencia, valor bajo y en descenso de la diferencia de presión Buenos Aires-Santa Cruz (vale decir, presión comparativamente alta en la Patagonia), presión en descenso en Buenos Aires. Vale la pena representar esta columna "in extenso" en la Tabla IV.

Tabla IV

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
19- V-38	5	5	7	15.9	3.1	-1	-4	6	6	2	5	5	5
30- V-38	5	13	7	16.7	4.5	4	2	0	2	6	9	6	6
21- V-40	8	7	7	21.0	8.7	-1	-7	12	9	10	11	9	9
2-III-42	9	7	8	24.3	2.8	-2	-9	7	5	1	0	2	2
2-IV-42	5	1	5	20.1	2.4	0	-4	3	8	9	7	4	4
1- V-42	7	8	7	19.7	4.7	0	-6	10	8	10	14	10	10
28-III-45	0	8	5	22.1	3.0	-1	-9	10	7	5	3	1	1
3- V-45	1	8	7	18.4	2.8	-1	-2	5	4	7	6	4	4
6-IV-44	7	11	5	22.8	4.5	2	-4	7	10	12	9	7	7
7-IV-44	-13	7	8	24.7	6.6	-6	-9	12	14	11	9	11	11
4- V-44	9	3	5	17.8	2.3	-5	-7	4	5	5	9	6	6
13- V-48	7	1	14	20.5	7.9	-2	-7	11	11	9	12	11	11

Aclaraciones: a = fecha del día de referencia; b = diferencia de presión Buenos Aires-Santa Cruz (mb); c = variación de la misma desde el día anterior (mb); d = variación de la presión Buenos Aires, día de referencia hasta el día siguiente (mb); e = temperatura media del día de referencia (promedio de 24 horas); f = desviación de la misma del valor normal de los 40 años; g = variación de temperatura entre el día de referencia y el primer día siguiente; h = ídem, 2° día; i = ídem, tercer día, etc.



Vemos que en cada uno de los casos aparecen considerables cambios de temperatura, y que en 11 de 12 casos, se alcanzan temperaturas por debajo de los valores normales de los días de referencia en el 3° y 4° días subsiguientes, y en 10 de los 12 casos, también en el segundo y 5° y hasta el 7° día subsiguiente. La evolución meteorológica típica de este campo de relación es la afluencia de una corriente de aire frío proveniente del sud, formándose a continuación un intenso anticiclón en la parte central del país.

b) También el ítem más lleno TA-PC-VB, situado por encima del anterior, muestra buenas relaciones en el mismo sentido que VC, por lo menos para el 3° y 5° días subsiguientes.

c) En contraposición a esto, los ítems TA-PA-VC y VB dan valores menores de frecuencias relativas y de variaciones, y los valores máximos se alcanzan en días posteriores. En efecto, con intensa circulación W-E (índice alto), el aire frío del sud avanza con menos frecuencia y menor rapidez hacia el norte, hasta Buenos Aires.

d) En el grupo TB —temperaturas del día fijado próximas al valor normal— llaman nuevamente la atención los ítems PC-VC y PC-VB, así como el campo del ítem PA-VC. Es claro que para este grupo una variación interdiurna de temperatura de por lo menos 4° resulta ya una condición muy rigurosa. El hecho de que a pesar de ello aparezca una variación tal hasta el 6° día subsiguiente inclusive, como enfriamiento en la mitad de los casos, y que no aparezca ninguna vez un calentamiento, no debe ser pasado por alto por el pronosticador, aun cuando no baste esta sola circunstancia para emitir pronósticos sobre la marcha de la temperatura.

e) En este sentido, también las pequeñísimas frecuencias de los enfriamientos intensos, del ítem TB-PD-VB, vale decir, con temperatura normal, diferencia de presión Buenos Aires-Santa Cruz pequeña pero en aumento y escasa variación de presión en Buenos Aires, pueden representar un indicio utilizable.

f) También en el grupo TC, las cifras de frecuencias de la tercera fila, calentamiento de 4° ó más, no son tan altas como las del grupo correspondiente TA. De todos modos, es significativo el hecho de que en el campo PD-VA (diferencia de presión pequeña y en aumento, aumento de presión en Buenos Aires), cerca del 70 % hasta el 7° día subsiguiente, hablan en favor de un calentamiento.

La situación meteorológica típica es la formación de un anticiclón estacionario sobre el Uruguay y al Este del mismo.

g) Aun comparando los campos PD-VB y PD-VC, por un lado y PB-VB y PB-VC por el otro (calentamiento después de días fríos en Buenos Aires luego de una débil o intensa circulación W-E), se reconoce la mayor persistencia de tales calentamientos, hasta el 7° día subsiguiente, en la columna primeramente nombrada, vale decir, con "índice bajo".

h) La frecuencia relativa de las filas superiores (variación de temperatura > 0°) en el grupo TC de las Tablas II y III, puede ser una respuesta a la pregunta tan de actualidad en esta época del año, en los días fríos: ¿Hará más frío aún?

La probabilidad de que el 3° día subsiguiente (día de la perspectiva) sea más frío que el día de referencia (que por otra parte estaba a más de 2° por debajo de la normal) es, por ejemplo, en la columna PB sólo de 1:73, pero en la columna PC, es de 17:25, vale decir, que el enfria-

miento en aumento es muy improbable sólo cuando la diferencia de presión Buenos Aires-Santa Cruz es grande y va en aumento, es decir, cuando tiene índice creciente.

Algún especialista en sinopsis podría quizá argüir que con una situación sinóptica como la que se define con las 3 condiciones de la correlación múltiple, no podría surgir otro pronóstico; pero a esto debemos responder, que en vista de la inexactitud que existe, aun en los pronósticos a corto plazo, y teniendo en cuenta las frecuentes sorpresas provenientes del Pacífico, todo informe para varios días se ha tomado hasta ahora con las mayores reservas, y que aun el mejor pronosticador no puede emitir, con sólo los recursos de las sinopsis, un juicio sobre la probable persistencia de determinadas condiciones de temperatura, tal como lo permiten hacer los diferentes ítems de la Tabla III, hasta con un plazo de 6 días. Además, hay que tener en cuenta que la presente tabla de relaciones múltiples no representa más que un primer ensayo y que es concebible y hasta probable que investigaciones ulteriores con condiciones iniciales interpretadas de otra manera, incluso también para otras regiones del país descubran relaciones aún más estrechas.

### C) CASOS ANALOGOS

La consideración de situaciones meteorológicas similares que se hubieran presentado en semanas o años anteriores, ha sido siempre para el pronosticador un elemento auxiliar muy valioso, aunque sólo fuere para obtener una visión general sobre las diferentes posibilidades que se presentan en la evolución meteorológica posterior. Aquí se ofrece otro campo de aplicación para las correlaciones múltiples pues es obvio que *ni aun el mejor pronosticador posee una memoria tan buena y libre de errores como una tabla de correlación.*

En la detallada tabla que sirve de base a este trabajo se encuentran 3 por 4 por 3 = 36 campos del tipo del campo TA-PC-VC, representados en la Tabla IV, sólo que cubiertos en forma diferente, valor máximo 82, valor mínimo 1.

Los campos poco cubiertos se prestan, aun sin estudio previo, para determinar situaciones meteorológicas similares. Los campos más cubiertos necesitan por lo menos de una característica distintiva más, p. ej., condiciones de las corrientes en la altura, desviaciones de la temperatura o de la presión de Cristo Redentor respecto de los valores normales, para acentuar las condiciones de elección, de manera característica y sinóptica-mente aplicable, y facilitar la búsqueda de los casos más similares. El campo que presenta la Tabla IV, nos da un ejemplo útil en este sentido; en cada uno de los 12 casos, la situación original es favorable —de modo similar— para una intensa corriente de aire polar que se dirige hacia el norte, la que se hace efectiva en los días siguientes. Pero cuando se observan las 12 cartas sinópticas correspondientes, se encuentran aún muchas diferencias, y lo mismo puede decirse de las cartas de los días que subsiguen, naturalmente de manera más intensa aún.

Por eso debe atribuirse la importancia de los "casos análogos" al hecho de que es posible orientarse por ellos acerca de las posibilidades de la evolución subsiguiente. Pueden aventurarse pronósticos para varios días *solamente* cuando las consideraciones estén apoyadas por buenas correlaciones múltiples basadas en un material suficientemente amplio. Esta ex-



perencia lograda para Europa, merced a amplios trabajos realizados en el Servicio Meteorológico Alemán, puede considerarse como de validez general.

#### D) LA SINGULARIDAD DE MAYO

Los notas precedentes, sobre particularidades de la marcha de la temperatura en Buenos Aires, en el otoño, serían incompletas sin una referencia a la peculiaridad de la 2ª pñtada del mes de mayo, evidentemente uno de los fenómenos más notables de este tipo, en la marcha anual de la temperatura y de otros elementos meteorológicos. En el lapso de 1901-1940 la temperatura media de los 3 días, del 4, 5 y 6 de mayo es de 15.6°C; de los tres días 12, 13 y 14 de mayo, es de 12.4° (media mensual de mayo, 13.3°). La frecuencia relativa de por lo menos una variación de la media diaria, de un día a otro, de menos 3° ó más, alcanza en los cinco días del 7 al 11 de mayo, a 93 %. En cambio, en los cinco días del 13 al 17 de mayo, es sólo de 48 %. Mediante esta cortadura se define pues, contemplado desde el punto de vista de la frecuencia, el comienzo de la estación fresca para Buenos Aires.

Resulta claro, pero se repetirá para evitar malas interpretaciones, que con sólo estas cifras de frecuencia no se puede confeccionar un pronóstico de la temperatura. Sin embargo, estas cifras pueden servir muy bien al pronosticador, como una especie de "preaviso", vale decir, como una alusión a aquellos momentos de la evolución del tiempo sobre los que debe estar atento en ciertas épocas del año.

Acerca de las posibles causas de las así llamadas "singularidades", así como respecto al problema de su realidad, se ha escrito y discutido mucho en Alemania\*.

Probablemente, no deba atribuirse a cada pequeña irregularidad de la curva anual de temperatura, y de otros elementos, un significado especial. Por otra parte, hay muchos indicios de que las grandes singularidades representan una reacción real de nuestra atmósfera frente al suministro de energía del sol, que varía con la estación del año. El hecho de que estas reacciones no sigan siempre inmediatamente, sino que con frecuencia tengan lugar sólo después de haber sobrepasado límites determinados, haciéndolo luego con amplitud mayor, es un fenómeno natural que no es exclusivo de la meteorología.

Naturalmente, para el pronosticador sinóptico es fundamental el problema de si se trata de un fenómeno más o menos local, o bien, si una región más amplia presenta las mismas características, y si se puede comprobar también un efecto correspondiente en otros elementos, vale decir, si se trata de una singularidad de la situación meteorológica. En nuestro caso debemos admitir esto último. Como prueba de ello se han reunido algunos valores característicos en la Tabla V y en la ilustración.

Estos valores, valores medios de 40 años, muestran que prácticamente puede hallarse la misma caída de temperatura en todo el país, más débil y con cierta anticipación en el Sud, más intensa y algo más tarde en el Norte. Esto coincide, pues, con la suposición de que una masa fría avanza desde el Sud y va extendiéndose, a razón de 8° de latitud por día, en el promedio.

\* SCHMAUSS, «Wiss. Abh. RWD», III, Nr. 6, 1937, Pl. N. — «Met. Rundschau», I, pág., 155, 1948. BARTHELS, *Ann. d. Met.* I, Heft 4/5, 1948.

TABLA V. — Valores de temperatura antes y después del brusco descenso de temperatura de la segunda década de mayo, en promedios de 40 años.

Localidad	Latitud	Antes	Después	Diferencia	Media mensual Mayo
Santa Cruz .....	51	7.7° 1.-5.	5.1° 10.-12.	2.6 <sup>a</sup>	4.8°
Sarmiento .....	45	9.5 2.-4.	6.6 10.-12.	2.7	6.6
Cipolletti .....	39	11.0 3.-5.	8.2 12.-14.	2.8	8.8
Azul .....	37	12.8 4.-6.	9.5 11.-13.	3.3	10.6
Buenos Aires ..	35	15.6 4.-6.	12.4 12.-14.	3.2	13.3
Mend za .....	33	13.4 3.-5.	10.2 12.-14.	3.2	10.8
Cordoba .....	32	15.9 3.-5.	12.5 12.-14.	3.4	15.5
Tucumán .....	27	18.2 4.-6.	14.8 13.-15.	3.4	15.7
Corrientes .....	27	20.6 6.-8.	17.5 13.-15.	3.5	18.6

La Fig. 1 ilustra otras relaciones más. Ya que el intercambio de masas de aire vinculado al avance del enfriamiento va frecuentemente, aunque no siempre, acompañado de precipitaciones, la frecuencia de las lluvias puede representar un índice valioso. Pero dado que las precipitaciones presentan grandes diferencias locales especialmente con el avance del aire frío, y puesto que dependen de la casualidad más que otros elementos meteorológicos, es indispensable, para una estadística como la que nos ocupa, seleccionar el colectivo lo más amplio posible. La única posibilidad de lograrlo la proporciona una referencia a las dos series más largas de precipitaciones en esta zona, la de Buenos Aires y la de Pereyra, situada más o menos 40 Km. al Sudeste de aquélla, con 86 y 64 años de observaciones, respectivamente. Además, resultó conveniente resumir los valores para nuestra representación, en cada caso para tres días, conforme a:  $\frac{a+b+c}{3}$ . De acuerdo con esto, las dos curvas inferiores de nuestra ilustración dan la frecuencia relativa de la aparición de precipitaciones  $\geq 1$  mm, en Buenos Aires y Pereyra, respectivamente, para los días comprendidos entre el 27 de abril y el 30 de mayo. Los valores extremos de la serie (no promediados) de Buenos Aires, son del 24 % (21 de 86 días), para el 7 de mayo y 8 % (7 de 86 días), para el 14 y 16 de mayo. La probabilidad estadística de que en uno de los tres días del 7-9 de mayo llueva por lo menos 1.0 mm, alcanza al 67 %; en cambio, para los tres días del 14-16 de mayo sólo llega al 26 %. Estas son ya diferencias que hacen suponer una singularidad real de la situación meteorológica, tanto más cuanto que se apoyan en un período de tiempo superior al doble de aquél en que lo hacen nuestros valores de temperatura, es decir, con fenómenos puramente casuales debería mostrar una marcha correlativamente más equilibrada.

También los valores característicos de la relación doble tratada en el párrafo B. 2, pueden servirnos en este sentido como otro índice. La curva D-D', de la ilustración, da la diferencia de presión atmosférica. Buenos Aires-Santa Cruz en cada día del mes de mayo, en un promedio de 40 años (1903-1948, con interrupciones), también promediadas por cada tres días. Pese a la inseguridad de ciertos valores de los primeros años, también aquí se advierte un notable descenso en los días del 2 al 10 de mayo, es decir, anticipado de manera característica con respecto a las



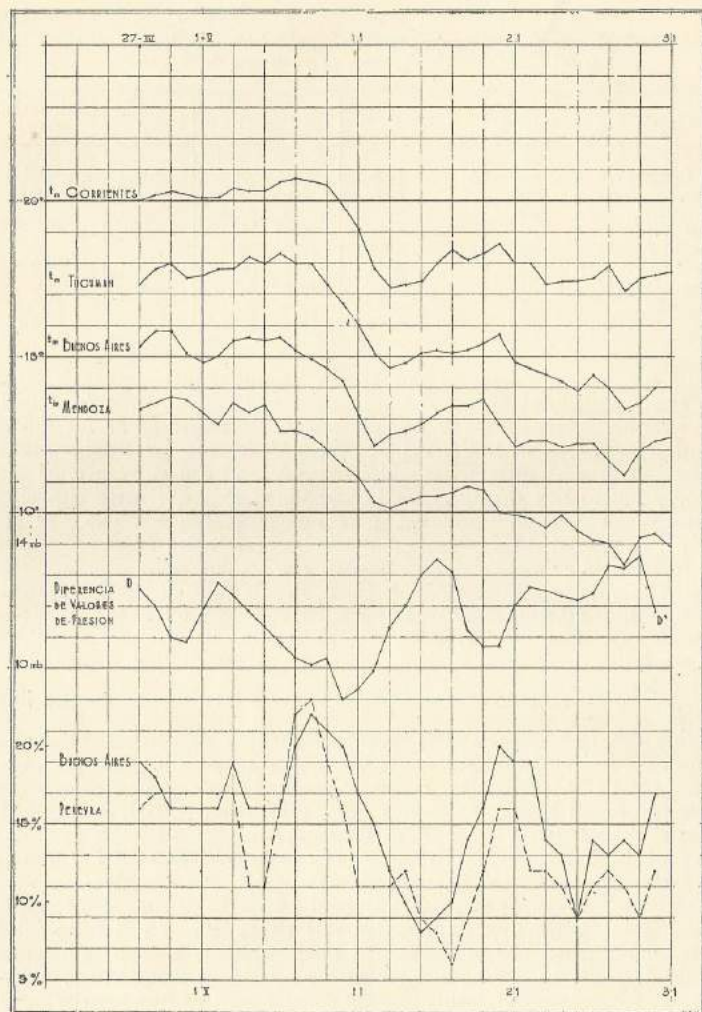


FIG. 1.

curvas de temperatura, totalmente de acuerdo con la correlación TA-PA y TA-PC. El fuerte ascenso del valor de la diferencia que le sigue, coincide también con la formación de intensos anticiclones en los 40 hasta 30° de latitud, concordando con lo expresado en el párrafo B. 3. Sin duda alguna, sería fácil apoyar aún con más amplitud las presentes consideraciones mediante las correspondientes combinaciones estadísticas de otros elementos (dirección del viento, nubosidad y muchas otras). Sin

embargo, aun sin ello, podría determinarse claramente que la singularidad de mayo aquí descripta merece no sólo la atención de los climatólogos, sino también la de los pronosticadores.

#### E) CONCLUSIONES

Terminado este trabajo en marzo de 1949, en la labor diaria de análisis y pronóstico del Servicio Meteorológico Nacional de los meses subsiguientes pudo comprobarse la utilidad de las consideraciones y estadísticas expuestas, de especial manera en el invierno. No obstante, para llegar a conclusiones más seguras aún, convendría tomar en cuenta, como elemento de gran importancia, la presión en la zona de la isla chilena Juan Fernández (34°S. 78°W), única estación meteorológicamente habilitada del Pacífico, por medio de una distribución de clases según la diferencia de los valores respectivos entre aquella isla y Punta del Este (35°S, 55°W), siempre a razón del promedio de tres días. Aprovechando, en efecto, una clasificación similar a la de PA-PD del trabajo presente, es decir, considerando el valor de la diferencia y su variación temporal, podría desistirse de las clases VA-VC y mantenerse así la correlación triple, esta vez con  $3 \times 4 \times 4 = 48$  casillas, la cual resultará muy útil para la previsión de las condiciones de temperatura, en Buenos Aires, y para la selección de casos análogos.

#### RECONOCIMIENTO

El autor agradece a las autoridades del Servicio Meteorológico Nacional el haber puesto a su disposición el material informativo imprescindible para este trabajo de investigación.



## OSCILACIONES EXTREMAS DE LA CANTIDAD DE PRECIPITACION EN LA REPUBLICA ARGENTINA

Por ADOLFO A. MARCHETTI \*

**Resumen.** — Se estudia la fluctuación de la lluvia en función de la relación de los valores extremos de precipitación anual. Esta relación es un índice de la variabilidad de la precipitación, que permite hacer comparaciones entre distintas estaciones de la red. Se han tomado en consideración 58 estaciones convenientemente distribuidas en el territorio argentino, con un registro de 46 años de observación.

**Summary.** — A study is made of rain fluctuations as a function of the relation between extreme values of annual precipitation. This relation is an index of the variability of precipitation permitting a comparison between different stations in the net. Fifty-eight stations conveniently distributed in the Argentine, have been taken into consideration, with a record of 46 years.

### I.—GENERALIDADES

En los estudios pluviométricos es habitual observar que sólo se indican las lluvias anuales, máximas y mínimas, registradas en milímetros dentro de una serie larga de observaciones, así como la diferencia entre esos extremos, para dar a conocer la medida de la fluctuación de la lluvia.

Estos datos por sí solos no pueden lógicamente dar ni siquiera una idea aproximada de la variación extrema de la lluvia, puesto que las cantidades absolutas en sí tienen una importancia relativa según el régimen pluviométrico local. Así, por ejemplo, para San Juan o zonas vecinas, donde la normal anual es menor de 100 mm, debiera considerarse como un valor máximo muy extraordinario, si se llegara a registrar un total anual de 300 mm; en cambio, esa misma cifra representaría para la ciudad de Córdoba una mínima extraordinaria, pues su normal anual es de 750 mm aproximadamente.

Lo mismo puede decirse respecto a las diferencias cuyos valores absolutos tomados en distintas zonas de observación no son en manera alguna comparables entre sí. Más lógico parecería ser el considerar la relación entre los valores extremos absolutos, con lo que se obtiene un dato que significa un índice de la variabilidad de la lluvia, que permite hacer comparaciones entre los de las respectivas estaciones.

Así, por ejemplo, la diferencia entre las cantidades anuales máximas y mínimas de lluvia registradas en los últimos 46 años en las localidades de Catamarca, Paraná y Posadas es de 427, 974 y 1675 mm respectivamente, cantidades bien diferentes, que no permiten sacar conclusiones si se comparan entre sí. En cambio, la relación entre las cantidades extremas, correspondientes a esos lugares resultan ser de igual valor, es decir, que tanto en Catamarca como en Paraná y Posadas, el año más lluvioso ha tenido 2.9 veces más cantidad de lluvia que el año más seco.

\* Ingeniero Civil. Jefe División de Hidrometeorología del S. M. N.

A veces se suele representar la diferencia entre los valores extremos de la cantidad de lluvia, en porcentaje respecto al valor de la normal, lo que bien puede considerarse también como una medida de las fluctuaciones extremas de la lluvia anual, por permitir establecer comparaciones entre las distintas cantidades calculadas; sin embargo, a mi entender esa relación no es tan conveniente como la relación directa entre el máximo y el mínimo, por no ser independiente del valor medio. En efecto, llamamos  $N$  valor medio;  $M$  el máximo y  $m$  el mínimo de lluvia; la diferencia porcentual de los valores extremos será:

$$\frac{100 M}{N} - \frac{100 m}{N} = \frac{100}{N} (M - m)$$

es decir, dependiente del valor de  $N$ .

La relación  $\frac{M}{m}$  es del todo independiente del valor medio y puede ser calculada tomando los valores absolutos o los porcentuales de los extremos. Se puede considerar, por lo tanto, a este cociente como un valor único significativo, muy apropiado para la representación de las fluctuaciones extremas de la lluvia anual, siendo por otra parte de fácil deducción. El primero en utilizar esta relación como medida de la fluctuación fué ÅNGÖT.

Si después de un prolijo estudio de las series correspondientes a una determinada zona climática particular, los valores de la relación  $\frac{\text{máxima}}{\text{mínima}}$  varían poco, esos valores pueden utilizarse también en un primer ensayo para comprobar la homogeneidad de series largas de observaciones. Se tiene, por ejemplo, que en una gran parte de la provincia de Entre Ríos, centro y norte de Buenos Aires, centro de Salta y norte de Santiago del Estero, etc., la relación entre el máximo y mínimo de lluvia anual es menor de 3; vale decir, que el año más lluvioso acusa un total menor de 3 veces más que el año más seco. Si en el estudio de una serie de datos correspondientes a un lugar situado dentro de alguna de esas zonas se llegara a encontrar un valor muy superior al mencionado, por ejemplo 4 ó más, podría deducirse de ello que la serie investigada no es homogénea.

Teniendo en cuenta que el cociente  $\frac{\text{máx.}}{\text{mín.}}$  es de fácil interpretación, pues significa cuántas veces ha llovido en el año más lluvioso que en el año más seco, puede por eso admitirse que representa la medida de las fluctuaciones extremas de la lluvia total anual de un lugar determinado.

El valor  $Q$  de la relación  $\frac{M}{m}$  se denomina coeficiente de fluctuación de la cantidad de lluvia anual, utilizándose exclusivamente en la investigación de las variaciones extremas de las lluvias.

Respecto a la extensión de las series con que debe investigarse, puede decirse que todos los valores extremos absolutos son obra de la casualidad y, en general, de acuerdo con las leyes de la naturaleza sus límites se siguen extendiendo cuanto más años de observación se dispongan.



Se formula a menudo la pregunta de cuántos años de observación se consideran suficientes para determinar una ley que tome en consideración los casos extremos nuevos y los existentes. Es natural que cuanto más larga sea la serie de datos que se posea, mayor seguridad se tiene de conocer los valores extremos. Por esa razón se utilizan las series de mayor record que se tengan a disposición, considerándose que por lo menos debe ser de 50 años. Sin embargo, no pudiéndose contar con tal registro, siempre será de utilidad realizar los estudios estadísticos aun con series más cortas.

El empleo del coeficiente de fluctuación, que es fácil de calcular, tiene además la ventaja de poder ser investigado aun con series cortas de datos. Aunque se obtenga un valor grande de ese cociente utilizando una serie corta, se sabe de antemano que al tomar en consideración una serie larga, los valores que se obtengan serán más grandes todavía, pero nunca menores. En esta forma se llega por lo menos a conocer un valor mínimo de las variaciones del valor  $Q$ . Es natural que lo más conveniente es tomar en consideración series largas. Pero como existen muchas estaciones importantes convenientemente distribuidas, con series cortas de datos, a las que conviene incluir para la determinación de leyes relativas a las fluctuaciones, he tratado de buscar un factor de comparación, utilizando series de la misma extensión, eligiendo un período de 46 años, con lo cual ha sido posible reunir 58 estaciones bien distribuidas dentro del territorio del país, y además algunas estaciones con series más cortas.

De acuerdo con las magnitudes elegidas para representar la variabilidad de las lluvias anuales, el cociente de fluctuación puede variar teóricamente entre 1 e infinito. El límite inferior no se presenta en ningún caso, pues no existe en la tierra ningún lugar que año tras año registre la misma cantidad de precipitación. Según el material de observación que he utilizado, el cociente no ha resultado menor de 2.4. Por el contrario el límite superior o sea infinito podría llegar a presentarse, puesto que en las zonas de desierto existen lugares en que no se produce lluvia en todo el año, o mejor dicho, lluvia medible. Sin embargo, teniendo en cuenta algunas observaciones registradas en Egipto nos indican, por ejemplo, que en Wadi Holfá, que siempre fué considerada zona sin lluvia, caen a menudo gotas. Correspondería, en consecuencia, desechar la creencia de que no existe lugar en la tierra que pueda considerarse continuamente exento de lluvia.

El cociente de fluctuación  $Q$  considerado como medida de fluctuaciones extremas anuales de la cantidad de precipitación, tiene tal vez la desventaja de hacerse infinito o muy grande en lugares en que no se registra lluvia o muy pequeña cantidad durante todo un año, mientras que el valor recíproco  $\frac{m}{M}$  varía entre los límites 0 y 1. En realidad  $\frac{m}{M}$  varía en nuestro caso entre los límites pequeños, 0 y 0.43.

Teniendo en cuenta los estudios realizados por HELLMANN respecto al cociente  $Q$  correspondiente a un número grande de lugares de características climáticas, se reconoce primeramente que los valores pequeños comprendidos entre 1.5 y 2.5 se presentan sobre cualquier punto de la tierra, mientras que los valores altos corresponden a zonas climáticas bien determinadas y de características nítidas.

En relación a los puntos de vista de interés práctico que pueden presentarse, denomina HELLMANN al cociente  $Q$  muy favorable si él per-

manece debajo de 2; favorable con valores comprendidos entre 2 y 2.4; medianamente favorable aquellos entre 3.0 y 3.9; desfavorable entre 4.0 y 4.9; muy desfavorable para valores superiores. En general se considera que los cultivos de una determinada zona se perjudican en su desarrollo si la cantidad de lluvia que se registra en la misma durante un año, puede llegar a ser cuatro veces menor que la de otro.

## II.— APLICACION PARA LA REPUBLICA ARGENTINA

Con los datos que existen en el archivo de la División Hidrometeorología, he realizado una aplicación cuyos resultados están consignados en los Cuadros I y III y mapa adjunto, para las lluvias extremas anuales registradas en 58 estaciones de la República convenientemente distribuidas con un record de 46 años como mínimo. En el Cuadro I se incluyen también valores de  $Q$  para algunas estaciones con record de 51 años. Además, se han tomado en consideración, a título ilustrativo, otras 10 estaciones con record inferior, no menor de 36 años, cuyos valores de  $Q$  están consignados en el Cuadro II.

*Variación de  $Q$  con los años.* — Con el objeto de comprobar la importancia de la variación de  $Q$  tomando series de distinto número de años, se calcularon además los valores correspondientes a una serie de 38 años par las mismas estaciones y otra serie de 51 años para 30 estaciones comprendidas entre las 58 anteriores. El resultado obtenido puede observarse en el Cuadro III.

De esos resultados surge que el valor de  $Q$  sufre pequeñas variaciones en sólo 14 de las 58 estaciones cuyo valor oscila entre 1 y 6 décimos, al pasar de 38 a 46 años, con excepción de San Juan y Orcadas cuyas diferencias son 3.4 y 4.3, respectivamente.

En cuanto a la comparación de las series de 46 y 51 años, las diferencias se anulan prácticamente, pues sólo se observa en el valor de  $Q$  correspondiente a la Capital Federal, que de 3.4 pasó a 4.0 (diferencia 0.6); y Gualeguay de 2.7 a 3.1 (diferencia 0.4), debiendo hacerse notar, respecto a la primera, que entre los años 1899 y 1904 se registró la lluvia anual máxima de 2.024.7 mm, que corresponde a todo el record, cuya exactitud siempre se ha puesto en duda, por lo elevado que representa esa precipitación. De manera que en general los valores del coeficiente  $Q$ , correspondientes al record de 46 años, pueden considerarse iguales a los del record de 51 años consecutivos.

Para ilustrar mejor cómo se distribuyen los coeficientes calculados para las distintas zonas del país, se ha indicado en un mapa las localidades elegidas así como los valores correspondientes de  $Q$  trazándose, además, las líneas de igual valor 3 y 4 correspondientes a las series de datos con record de 46 años, o con menor número de años, tratándose que aun en este caso el record es largo.

Del examen de dicho mapa, surge claramente que una extensa zona del país, a saber, toda la zona oeste y sud del territorio; norte del Territorio del Chaco; todo el Territorio de Formosa con excepción de la zona este; y una pequeña zona al noreste de Salta y otra en el sudeste de Corrientes, tienen coeficientes superiores a 4, habiendo lugares como San Juan con 24.4, Mendoza con 9.1, Neuquén con 11.4, Nahuel Ni-yén con 10.3, etc. Es decir que correspondería clasificar de acuerdo con



CUADRO I.— Valor del coeficiente  $Q = \frac{\text{máx.}}{\text{mín.}}$ 

Localidad	46 años (1904-1949)			51 años (1899-1949)		
	Lluvia anual en mm		Q	Lluvia anual en mm		Q
	máxima	mínima		máxima	mínima	
Capital Federal .....	1741.4	504.5	3.4	2024.7	504.5	4.0
<i>Jujuy</i>						
La Quiaca .....	471.2	185.2	2.6	—	—	—
Jujuy .....	1214.0	428.7	2.8	—	—	—
<i>Salla</i>						
Salta .....	1221.9	285.8	4.5	—	—	—
<i>Formosa</i>						
Formosa .....	1744.3	646.6	2.7	—	—	—
<i>Tucumán</i>						
Tucumán .....	1424.2	484.3	2.9	1424.2	484.3	2.9
<i>Chaco</i>						
Pte. R. Sáenz Peña .....	1476.1	402.3	3.7	—	—	—
<i>Santiago del Estero</i>						
Santiago del Estero .....	918.3	239.8	3.8	—	—	—
Campo Gallo .....	1000.3	280.1	2.6	—	—	—
<i>Misiones</i>						
Posadas .....	2565.6	88.85	2.9	—	—	—
<i>Catamarca</i>						
Catamarca .....	655.4	228.9	2.9	—	—	—
Andalgalá .....	519.8	113.1	4.6	519.8	113.1	4.6
<i>La Rioja</i>						
La Rioja .....	672.0	121.0	5.6	—	—	—
<i>Corrientes</i>						
Corrientes .....	1947.2	659.3	3.0	1947.2	659.3	3.0
Santo Tomé .....	2344.6	712.4	3.4	—	—	—
Goya .....	1854.5	505.2	3.7	1854.5	505.2	3.7
Paso de los Libres .....	2185.3	629.9	3.4	—	—	—
Monte Caseros .....	1932.5	424.0	4.6	1932.5	424.0	4.6
<i>Entre Ríos</i>						
Paraná .....	1485.9	512.1	2.9	—	—	—
La Paz .....	1685.0	496.0	3.4	—	—	—
Concordia .....	1874.0	626.6	3.0	—	—	—
Villaguay .....	1749.6	399.1	4.4	1749.6	399.1	4.4
Victoria .....	1419.9	287.5	4.9	—	—	—
Guaileguay .....	1523.3	561.2	2.7	1717.2	561.0	3.1
<i>Santa Fe</i>						
Rosario .....	1587.7	480.0	2.9	1387.7	480.0	2.9
Santa Fe .....	1743.5	435.0	4.0	1743.5	435.0	4.0
Vera .....	1699.0	507.0	3.4	—	—	—
Ceres .....	1462.1	424.8	3.5	1462.1	424.8	3.5
Casilda .....	1281.4	420.0	3.1	—	—	—

CUADRO I (Continuación)

Localidad	46 años (1904-1949)			51 años (1899-1949)		
	Lluvia anual en mm		Q	Lluvia anual en mm		Q
	máxima	mínima		máxima	mínima	
<i>Córdoba</i>						
Córdoba .....	1035.5	401.6	2.6	1035.5	401.6	2.6
Bell Ville .....	1364.0	410.0	3.3	—	—	—
<i>San Juan</i>						
San Juan .....	196.0	8.4	24.4	196.0	8.4	24.4
<i>Mendoza</i>						
Mendoza .....	391.4	43.3	9.1	391.4	43.3	9.1
<i>Buenos Aires</i>						
San Nicolás .....	1248.5	480.0	2.6	1248.5	480.0	2.6
Ramallo .....	1326.0	437.5	3.0	1326.0	437.5	3.0
Pergamino .....	1349.5	494.0	2.7	1349.5	494.0	2.7
Campana .....	1500.0	508.0	3.0	1500.0	508.0	3.0
Junín .....	1425.0	545.0	2.6	1425.0	545.0	2.6
9 de Julio .....	1203.5	377.0	3.2	1203.5	377.0	3.2
Trenque Lauquen .....	1193.0	440.7	2.7	1193.0	440.7	2.7
Bolívar .....	1344.3	532.8	2.5	1344.3	532.8	2.5
Dolores .....	1626.2	458.0	3.9	—	—	—
Azul .....	1252.2	531.0	2.4	1252.2	531.0	2.4
Guamiñí .....	1188.2	306.0	3.9	1188.2	306.0	3.9
Tandil .....	1268.5	511.0	2.5	—	—	—
Pigüé .....	1132.2	329.0	3.5	1132.2	329.0	3.5
Mar del Plata .....	1230.6	397.0	3.1	1230.6	397.0	3.1
Tres Arroyos .....	1287.9	387.0	3.3	1287.9	387.0	3.3
Bahía Blanca .....	1052.4	303.5	3.5	1052.4	303.5	3.5
Patagones .....	593.6	117.3	5.1	593.6	117.3	5.1
<i>La Pampa</i>						
General Acha .....	916.0	234.0	3.9	916.0	234.0	3.9
<i>Neuquén</i>						
Neuquén .....	295.0	2.6	11.4	—	—	—
Chos Malal .....	629.0	105.0	6.1	—	—	—
<i>Río Negro</i>						
Choele Choel .....	479.0	61.5	7.9	—	—	—
<i>Chubut</i>						
Trelew .....	277.5	59.2	4.7	—	—	—
Colonia Sarmiento .....	311.2	36.0	8.5	—	—	—
<i>Zona Militar</i>						
Comodoro Rivadavia .....	444.9	128.8	3.4	—	—	—
<i>Tierras Australes</i>						
Orcadas .....	837.9	129.3	6.6	—	—	—

el criterio expuesto, la región oeste y la Patagonia, según las zonas, como desfavorable o muy desfavorable para los intereses vitales. En cambio, en el resto del país, los coeficientes varían entre 2.4 y 4, encontrándose las zonas de coeficientes menores de 3 en el norte, centro y sudeste de Buenos Aires; mitad sud de Entre Ríos; centro de Córdoba; este



de Salta y casi todo Jujuy, etc. Las zonas en cuestión estarían dentro de las medianamente favorables.

CUADRO II.— Valores de  $Q$  con menos record

Localidad	Años	Lluvia anual en mm		Q
		Máxima	Mínima	
Nueva Pompeya .....	45	1194.6	140.0	8.5
Añatuya .....	38	837.5	210.4	4.0
Mercedes (Corrientes) .....	44	2186.0	650.7	3.3
San Luis .....	44	1145.6	258.2	4.5
Malargue .....	56	612.4	101.5	5.9
Unión .....	37	925.0	252.0	3.6
General Pico .....	45	1085.5	369.0	2.9
Zapala .....	56	244.0	48.0	5.1
Nahuel Niyeu .....	59	423.5	41.0	10.3
Piedra Clavada .....	56	350.0	104.0	3.2

El mapa adjunto demuestra, por lo tanto, un hecho significativo, desde el punto de vista climatológico, puesto que los coeficientes más altos corresponden a las regiones de nuestro país más áridas, más inhospitatorias, de deficiente precipitación y de caracteres climáticos típicos de las regiones frías con nevadas intensas y sometidas a la acción de vientos fuertes.

También comprueba el análisis efectuado que en nuestro territorio no existen regiones con coeficientes menores de 2, es decir, aquellas que están dentro de la clasificación de muy favorables.

CUADRO III.— Valor del coeficiente  $Q = \frac{máx.}{mín.}$

Localidad	Para períodos de:			Localidad	Para períodos de:		
	años 38	años 46	años 51		años 38	años 46	años 51
Capital Federal ..	3.4	3.4	4.0	Córdoba .....	2.6	2.6	2.6
Jujuy .....	2.8	2.8	—	San Juan .....	21.0	24.4	24.4
Salta .....	4.5	4.5	—	Mendoza .....	9.1	9.1	9.1
Tucumán .....	2.9	2.9	2.9	San Nicolás .....	2.6	2.6	2.6
Santiago del Estero	3.8	3.8	—	Ramallo .....	2.8	3.0	3.0
Posadas .....	2.9	2.9	—	Pergamino .....	2.7	2.7	2.7
Andalgalá .....	4.2	4.6	4.6	Campana .....	3.0	3.0	3.0
Catamarca .....	2.9	2.9	—	Junín .....	2.6	2.6	2.6
Corrientes .....	2.5	3.0	3.0	9 de Julio .....	3.2	3.2	3.2
Santo Tomé .....	2.8	3.4	—	Trenque Lauquen ..	2.7	2.7	2.7
Goya .....	5.7	3.7	3.7	Bolívar .....	2.3	2.5	2.5
Monte Caseros ..	4.6	4.6	4.6	Azul .....	2.3	2.4	2.4
La Paz .....	3.3	3.4	—	Guamini .....	3.8	3.9	3.9
Concordia .....	2.6	3.0	—	Pigüé .....	3.2	3.5	3.5
Villaguay .....	4.2	4.4	4.4	Mar del Plata .....	2.8	3.1	3.1
Victoria .....	4.8	4.9	—	Tres Arroyos .....	3.1	3.3	3.3
Gualeguay .....	2.7	2.7	3.1	Bahía Blanca .....	3.5	3.5	3.5
Vera .....	3.2	3.4	—	Patagones .....	5.1	5.1	5.1
Ceres .....	3.5	3.5	3.5	General Acha .....	3.9	3.9	3.9
Santa Fe .....	4.0	4.0	4.0	Chos Malal .....	6.1	6.1	—
Rosario .....	2.9	2.9	2.9	Neuquén .....	11.4	11.4	—
Casilda .....	3.0	3.1	—	Orcadas .....	2.3	6.6	—



FIG. 1.



Cabe destacar, por último, que el trazado de las dos líneas 3 y 4 aunque debe considerarse que representan sólo en forma aproximada la distribución verdadera de los coeficientes, por ser muy reducido el número de estaciones que se han tenido a disposición, conserva cierta semejanza con el trazado de las curvas isohietas de normales anuales, lo que comprueba la existencia de una relación, si bien aproximada, entre el valor del coeficiente y la normal anual de lluvia.

## BIBLIOGRAFÍA

- G. HELLMANN. — «Abh. der Preussische Meteorologische Inst.», Tomo III, N° 1.  
H. MAURER. — «Meteorologische Zeitsch.», Tomo 26, pág. 99.

## ENSEÑANZAS DE UNA NIVELACION BAROMETRICA

Por G. DEDEBANT \*, R. DI MAIO \*\* y O. LUTZOW-HOLM \*\*\*

**Resumen.** — Durante un viaje entre Jujuy y La Quiaca se ha efectuado una nivelación barométrica observando la presión atmosférica y la temperatura en las estaciones del ferrocarril. A la ida, en que reinaba buen tiempo, el resultado fué bueno, pero a la vuelta, en que el tiempo estaba perturbado, se observaron discrepancias que no pueden ser explicadas por el gradiente horizontal de la presión ni por la tendencia barométrica. Se ha puesto así en evidencia una irregularidad en el valor de la presión atmosférica que puede asimilarse a una «turbulencia» de dicho elemento, y que parece estar ligada a la inestabilidad del tiempo.

**Résumé.** — Au cours d'une mission entre Jujuy et La Quiaca a été effectué un nivellement barométrique, le long de la ligne de chemin de fer. A l'aller, par beau temps, le résultat fut très satisfaisant; mais au retour, par temps perturbé, furent observées des différences que ne peuvent expliquer ni le gradient horizontal de pression, ni la variation dans le temps, de la pression. Il a été mis ainsi en évidence une irrégularité dans la distribution spatio-temporelle de la pression atmosphérique, que l'on peut assimiler à une «turbulence» de cet élément, y qui paraît être liée à l'instabilité du Temps.

## I. — INTRODUCCION

Cuando, como en el caso de la República Argentina, la nivelación general (nivelación geométrica) no ha sido concluida, no existe otro recurso que emplear la nivelación barométrica para relacionar ciertas estaciones con la red sinóptica. Es por esta razón que nos ha parecido de sumo interés examinar, desde el punto de vista teórico primero y desde el punto de vista práctico después, cuáles son las posibilidades de la nivelación barométrica. Ahora bien, la oportunidad de una operación de este género nos fué proporcionada en el transcurso de una misión en el noroeste de la República, por cuenta del Servicio Meteorológico Nacional, durante la cual hemos realizado dos nivelaciones barométricas en el trayecto Jujuy-La Quiaca, una a la ida y otra al regreso. En los dos casos, las mediciones fueron hechas con los mismos instrumentos y por los mismos observadores y con pocos días de diferencia. Desde luego, comparamos el barómetro aneroide de precisión Thommen, que empleáramos, con los barómetros Fortin de Jujuy y de La Quiaca, al partir, en la mitad del viaje y al regreso. Estas comparaciones han garantizado su buen funcionamiento. Pero si la nivelación del viaje de ida fué excelente, en cambio la de regreso resultó *muy mala*. Hemos querido investigar la causa y llegamos así a la conclusión de que las anomalías constatadas al regreso no se explicaban *absolutamente*, ni aun *remotamente*, por las causas de error que se atribuyen ordinariamente a la nivelación barométrica.

\* Ancien élève de l'École Polytechnique (France). Asseser técnico de la Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional.

\*\* Doctor en Física Terrestre (Universidad de Pavia, Italia). Asseser técnico de la Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional.

\*\*\* Jefe del Observatorio Geofísico, de Pilar (Córdoba), del Servicio Meteorológico Nacional.



A nuestro parecer, tales resultados no pueden explicarse a menos que se admita que en ciertas circunstancias atmosféricas la presión atmosférica no es más un *elemento sinóptico* como se lo cree habitualmente (es decir un elemento uniforme y bien definido en el interior de una vasta partícula, y estable por un intervalo de tiempo apreciable), sino por el contrario, un *elemento turbulento*, como lo son todas las otras magnitudes meteorológicas. Esto viene a conferir a la presión atmosférica un carácter aleatorio y torna absolutamente imprescindible el empleo del *cálculo aleatorio*, en la Mecánica de la Atmósfera.

Lo que es más: la nueva variable de desviación de la que se acaba de dotar a la presión:

$$\sigma_p = \sqrt{(\rho - \bar{\rho})^2}$$

tiene probablemente una relación *sensible* con el carácter de gravedad del mal tiempo. En el caso que nos ocupa, una perturbación señalada por lluvias notables ha afectado la región estudiada, aun cuando su trazo en los diagramas barométricos y en las cartas sinópticas era apenas visible. Pero ese día, la turbulencia de la presión era muy pronunciada, como lo muestran los errores de nivelación y más susceptible que los otros elementos de revelar la existencia y la importancia de la perturbación.

## II.— LAS BASES TEORICAS DE LA FORMULA BAROMETRICA

La fórmula barométrica que lleva con justo título el nombre de *Laplace*, es considerada como una de las más importantes conquistas de la Meteorología, en el sentido de que es la única ley "cierta" que conocen los meteorólogos; y por "cierta" entendemos que esta ley se encuentra numéricamente verificada con gran precisión, en cada caso concreto, y no solamente de una manera estadística, como todas las otras leyes, reglas y fórmulas que emplean los meteorólogos. Veremos que esta situación privilegiada se debe a la enorme diferencia del valor de la aceleración de la gravedad frente a las aceleraciones de las partículas de aire en la escala aerológica.

Situémonos primeramente en hidrodinámica clásica. La ecuación del movimiento vertical del aire es, para ejes solidarios al globo terrestre:

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + 2 \Omega_x v - 2 \Omega_y u - g$$

donde

$x, y$ , son las coordenadas horizontales.

$z$ , la coordenada vertical.

$u, v$ , las componentes horizontales del viento.

$w$ , la componente vertical del viento.

$p$ , la presión (estática).

$\rho$ , la densidad del aire.

$\Omega_x, \Omega_y$ , las componentes horizontales de la velocidad de rotación del globo.

$g$ , la aceleración de la gravedad.

Si la atmósfera estuviera *en equilibrio*, esta ecuación se reduciría a:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = -g$$

que es la ecuación fundamental de la Hidrostática. Pero puesto que la atmósfera está en movimiento, se está despreciando la aceleración:

$$A = \frac{dw}{dt} - 2 \Omega_x v + 2 \Omega_y u$$

Ahora bien, los cálculos de orden de magnitud muestran que aun en las tempestades más excepcionales y en el seno de las corrientes de convección más poderosas, esta aceleración no excede un milésimo de  $g$  y, la mayoría de las veces, es aún más despreciable. De ahí que se diga que siempre se puede considerar, con gran precisión, a la atmósfera en *equilibrio vertical*, aun en medio de las más fuertes perturbaciones.

Esto es lo que nos enseña la hidrodinámica clásica. Pero se sabe en la actualidad que la turbulencia del aire introduce en la ecuación del movimiento términos suplementarios. Veremos que éstos tampoco pueden comprometer la precisión de la fórmula barométrica. Tales términos suplementarios son:

$$\frac{\partial}{\partial x} \overline{\rho u' w'} + \frac{\partial}{\partial y} \overline{\rho v' w'} + \frac{\partial}{\partial z} \overline{\rho w'^2}$$

donde,  $u', v', w'$  son las componentes de la agitación de la velocidad del aire, y donde el signo trazo indica un *promedio estocástico*.

Por una parte, en efecto, se dice en Meteorología que siempre pueden despreciarse los gradientes horizontales frente a los gradientes verticales, de manera que el único término a tomar eventualmente en consideración es:

$$\frac{\partial}{\partial z} \overline{\rho w'^2}$$

Esto viene a agregar a la presión  $p$  la cantidad  $\overline{\rho w'^2}$  y ésta, aun cuando se tuviera  $\sqrt{\overline{w'^2}} = 1 \text{ m/seg.}$  no valdría más que 0.01 milibar.

Por otra parte, no sabemos exactamente qué mide un barómetro sumergido en un fluido en movimiento, y menos aún en movimiento turbulento. Ya se ha comprobado que un barómetro de mercurio, aun colocado en un local cerrado, es, en cierta medida, sensible a la presión del viento, de modo que no mide la presión estática  $p$ , que figura en las ecuaciones, sino una combinación desconocida de esta presión estática y de las fuerzas de tensión turbulentas. De este modo, el barómetro (aun el de mercurio) tiene en cuenta, en parte, la turbulencia del aire, lo que mejora el valor representativo de sus medidas desde el punto de vista de la Mecánica de la Atmósfera. De todas maneras, parece que este tipo de efecto no puede exceder el medio milibar, en los casos más perturbados.

En resumen, se ve que si la consideración de los términos de turbulencia parece restarnos algunas ilusiones sobre la *absoluta* rigurosidad de la fórmula barométrica, empero no es de una naturaleza tal que comprometa nuestra confianza en su exactitud, sobre todo en circunstancias atmosféricas que no sean absolutamente excepcionales.



En realidad, es necesario que la fórmula barométrica traduzca una ley natural notablemente estable para haber sido descubierta hace tanto tiempo: fué en 1648 cuando Pascal y Perier, pusieron en evidencia la relación entre la altura del mercurio y la altura geográfica, y en 1805 cuando Laplace le dió una forma tan perfecta que todas las modificaciones introducidas después sólo fueron insignificantes, y de las que no puede decirse que siempre la hayan mejorado. Es por esto que la fórmula barométrica merece el nombre de *Fórmula de Laplace* que lleva hoy día, y es muy digna de figurar en un tomo de *Mecánica Celeste*, conjuntamente con las relaciones de rigor cuasi-matemático que rigen el movimiento de los astros. En verdad, es un destino completamente excepcional para una fórmula de Meteorología.

### III. — LA FORMULA DE LAPLACE

Si se agrega a la ecuación de equilibrio vertical de la atmósfera:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} = -g$$

la ecuación de estado de los gases perfectos:

$$p = RT\rho$$

donde  $T$  es la temperatura absoluta y  $R$  una constante, se obtiene eliminando  $\rho$  e integrando con respecto a  $z$  (es decir, suponiendo  $x$ ,  $y$  y  $R$  constantes), la fórmula barométrica:

$$\log \frac{p_0}{p_1} = \frac{g}{R} \int_{z_0}^{z_1} \frac{dz}{T}$$

donde el log. es un logaritmo neperiano.

Para efectuar la integración, Laplace ha admitido además la siguiente ley de decrecimiento de la temperatura con la altura:

$$T = \sqrt{T_0^2 - l(z - z_0)}$$

donde  $l$  es una constante, y esta hipótesis conduce a la fórmula mencionada de Laplace:

$$z_1 - z_0 = K T_m \log \frac{p_0}{p_1}$$

donde:  $T_m = \frac{T_0 + T_1}{2}$  es la *media aritmética* de las temperaturas del aire a las alturas  $z_0$  y  $z_1$ . El valor adoptado actualmente para el coeficiente  $K$  es 29,27.

### IV. — LA FORMULA DE BABINET

La presencia de un logaritmo en la fórmula de Laplace exige el uso de tablas. Como en el transcurso de nuestra comisión, no estábamos provistos de ellas, hemos reconstruido una fórmula cuyo origen se remonta a Babinet y que permite eliminar el uso de logaritmos.

Hagamos:

$$x = \frac{p_0 - p_1}{\frac{1}{2}(p_0 + p_1)}$$

Luego  $\log \frac{p_0}{p_1}$  se convierte en  $\log \frac{x+2}{2-x}$ , que, desarrollado por la fórmula de los incrementos finitos, da:

$$\frac{x}{1 - \frac{\theta^2 x^2}{4}} \quad 0 < \theta < 1$$

Ahora bien; es muy conocido (resultado clásico del cálculo diferencial) que  $\theta \rightarrow \frac{1}{\sqrt{3}}$  cuando  $x \rightarrow 0$ .

Por consiguiente, una excelente aproximación es:

$$\frac{x}{1 - \frac{x^2}{12}}$$

o más cómodamente:

$$x + \frac{x^3}{12}$$

Tomemos simplemente el primer término:  $x$ . La fórmula de Laplace resulta:

$$z_1 - z_0 = 29,27 (t_m + 273) \frac{p_0 - p_1}{\frac{1}{2}(p_0 + p_1)}$$

donde:  $t_m$  es la temperatura media en grados centígrados.

Para hacer el cálculo más fácil, se puede aceptar que el coeficiente 29,27 sea reemplazado por el número redondo 30.

Basta sustituir el número 273 por el número

$$\frac{29,27 \times 273}{30} = 266,4$$

y se tiene:

$$z_1 - z_0 = 30 (t_m + 266,4) \frac{p_0 - p_1}{\frac{1}{2}(p_0 + p_1)}$$

lo que representa, con respecto a la fórmula correcta, un error relativo por exceso de menos de un milésimo.

Simplificaremos aún más la fórmula reemplazando 266,4 por 267, lo que implica un error por exceso correspondiente a un error de 0,6 en la temperatura media. Pero existe interés en introducir este error que compensará en parte el hecho de no tener en cuenta la humedad.



De manera que adoptaremos la fórmula:

$$z_1 - z_0 = 30 (t_m + 267) \frac{\rho_0 - \rho_1}{\frac{1}{2}(\rho_0 + \rho_1)}$$

Babinet había dado la fórmula:

$$z_1 - z_0 = 15980 \left( 1 + \frac{t_m}{250} \right) \frac{\rho_0 - \rho_1}{\rho_0 + \rho_1}$$

que no presenta con la nuestra más que diferencias relativas inferiores al milésimo.

Babinet, por otra parte, no presentaba su fórmula como una aproximación de la fórmula de Laplace, sino como una fórmula semiempírica, cuyos coeficientes habían sido elegidos para representar lo mejor posible las observaciones reales, para

$$z_2 - z_1 \leq 2000 \text{ m}$$

En realidad, nos dimos cuenta que la fórmula de Babinet era, dentro de esos límites ( $z_2 - z_1 < 2000 \text{ m}$ ), mejor que la fórmula de Laplace. A nuestro juicio, sería un error preferir la fórmula de Laplace so pretexto de que se basa sólo en la teoría. En realidad, no se sabe si la ecuación de estado de los gases perfectos, verificada para una pequeña partícula de aire en estado uniforme, se aplica también a una partícula de aire atmosférico, que forma parte de un "campo", y en la que ni la presión ni la temperatura son uniformes.

Por ejemplo, no consideramos faltar a la lógica al hacer el razonamiento siguiente:

$$\rho_0 - \rho_1 = \int_{z_0}^{z_1} \rho g dz$$

Para una capa *no muy espesa*, podemos sacar  $\rho$  de la integral, reemplazándola por su promedio, lo que da:

$$\rho_0 - \rho_1 = \frac{\rho_0 + \rho_1}{2} g (z_1 - z_0)$$

Esta aproximación es más segura que la que se hace, en la fórmula de Laplace, con la temperatura, ya que la densidad siempre tiene un sentido de variación regular y no presenta jamás, como la temperatura, *inversiones*.

Luego, atribuímos a esta capa de aire, en la que la presión, la temperatura y la densidad *no son uniformes*, los elementos medios

$$\frac{\rho_0 + \rho_1}{2}, \frac{T_0 + T_1}{2}, \frac{\rho_0 + \rho_1}{2}$$

y le aplicamos la fórmula de los gases perfectos:

$$\frac{\rho_0 + \rho_1}{2} = R \frac{\rho_0 + \rho_1}{2} \frac{T_0 + T_1}{2}$$

Resultará inmediatamente la fórmula de Babinet:

$$z_1 - z_0 = \frac{R}{g} \frac{T_0 + T_1}{2} \frac{\rho_0 - \rho_1}{\frac{1}{2}(\rho_0 + \rho_1)}$$

En las aplicaciones a los fenómenos naturales, no hace falta, necesariamente, dejarse deslumbrar por el prestigio del cálculo diferencial, ya que el infinitésimo matemático  $dz$  —cantidad *variable* que tiende a cero— debe sustituirse, en la aplicación, por una cantidad finita y *fija*.

Como quiera que sea, es fácil agregar una corrección a la fórmula de Babinet para que llegue a coincidir con la fórmula de Laplace con toda la precisión deseada. Basta tener en cuenta el término

$$\frac{x^3}{12}$$

Esto nos lleva a agregar a la altura la corrección positiva:

$$\Delta (z_1 - z_0) = \left( \frac{z_1 - z_0}{10^3} \right)^3 \frac{1}{850}$$

He aquí los valores de esta corrección:

$z_1 - z_0 \dots\dots$	700	800	900	1000	1100	1200 metros
$\Delta (z_1 - z_0) \dots$	0,40	0,60	0,90	1,20	1,60	2,00 metros
$z_1 - z_0 \dots\dots$	1300	1400	1500	1600	1700	1800 metros
$\Delta (z_1 - z_0) \dots$	2,60	3,20	4,00	4,80	5,80	6,90 metros

Con esta corrección, la diferencia con la fórmula logarítmica nunca pasará de 1 m hasta los 2000 m.

#### V. — LA PRECISION DE LA FORMULA BAROMETRICA

Los barómetros de precisión dan la presión con una aproximación de 0,1 mb. La precisión que resulta para la altura es:

$$|\Delta (z_1 - z_0)| = 8400 \frac{2 |\Delta p_0|}{\frac{1}{2}(\rho_0 + \rho_1)} = \frac{1680}{\frac{1}{2}(\rho_0 + \rho_1)}$$

Por consiguiente es del orden de 2 metros.

Los termómetros miden la temperatura del aire con una aproximación de 0,1°; de manera que si el promedio de las temperaturas representa la temperatura media de la capa, el error relativo sería:

$$\frac{\Delta (z_1 - z_0)}{z_1 - z_0} = \frac{0,1}{280}$$

es decir, un error absoluto inferior a 0,10 m para tramos de 300 m.

Pero el error más importante proviene de que el promedio de las temperaturas no es más que una aproximación de la temperatura media, y







a) un barómetro aneroide THOMMEN, de precisión, que permite lecturas al décimo de milibar.

b) un psicrómetro fronda que da el décimo de grado; no hemos utilizado más que las lecturas del termómetro seco.

25 de Marzo de 1948 - 20 hs.

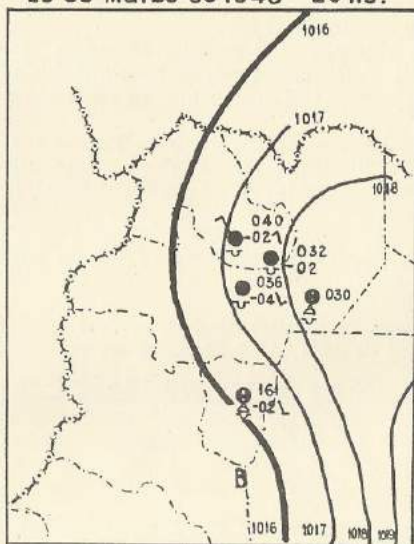


FIG. 2.

El Cuadro I reproduce los datos de observación.

CUADRO I. — Datos de observación

Estaciones	Ida		Regreso	
	Presión mb	Temperatura °C	Presión mb	Temperatura °C
Jujuy .....	884.0	18°.6	882.2	15°.0
Yala .....	865.0	17°.8	863.0	12°.4
León .....	846.5	16°.0	844.5	12°.4
Barsena .....	821.5	15°.0	—	—
El Volcán .....	803.0	12°.6	799.3	11°.8
Tumbaya .....	801.0	13°.0	707.6	14°.4
Purmamarca .....	791.2	11°.8	787.5	16°.0
Maimará .....	773.5	11°.2	769.2	19°.2
Tilcara .....	766.0	10°.5	762.0	19°.5
Huacalera .....	750.0	9°.0	744.9	19°.4
Senador Pérez .....	733.5	9°.4	729.3	20°.2
Humahuaca .....	724.0 <sup>1</sup>	8°.8	719.2	21°.8
	723.0 <sup>2</sup>	9°.4		
Iturbe .....	689.7	8°.0	687.5	22°.0
Tres Cruces .....	661.0	6°.5	660.8	19°.4
Abra Pampa .....	678.2	8°.5	679.2	18°.7
Puesto del Marqués .....	677.5	8°.5	678.0	17°.8
Pumahuasi .....	672.0	8°.0	673.0	17°.4
La Quiaca .....	681.7	9°.0	682.2	12°.0

<sup>1</sup> A la llegada. <sup>2</sup> A la salida.

Los cálculos se hicieron con la fórmula simplificada que hemos indicado, a saber:

$$z_1 - z_0 = 30 (t_m + 267) \frac{p_0 - p_1}{\frac{1}{2}(\rho_0 + \rho_1)}$$

También fueron hechos aplicando la corrección:

$$\frac{1}{850} \left( \frac{z_1 - z_0}{100} \right)^3$$

cuando las diferencias de altura excedían los 700 m. Pero, como se verá, esto, lejos de mejorar sus resultados, los empeora.

#### VIII. — EL CRITERIO DE COHERENCIA

Una nivelación barométrica correcta debe satisfacer evidentemente la condición de coherencia siguiente:

Sean A, B, C, tres estaciones y  $h(AB)$ ,  $h(AC)$ ,  $h(BC)$  los espesores de las capas

$$AB, AC \text{ y } BC$$

Debe tenerse:

$$h(AC) = h(AB) + h(BC)$$

Si esta condición no se cumple, se puede estar seguro de que no se verifican las condiciones de aplicación de la fórmula barométrica, y deben esperarse errores bastantes grandes en las alturas.

Por el contrario, si habiendo efectuado una nivelación para una red de estaciones A, B, C, ..., L, se satisfacen todas las condiciones de coherencia obtenidas combinando las estaciones de todas las maneras posibles, existe la casi certeza de que la aplicación de la fórmula barométrica ha sido legítima.

En el Cuadro II se hallan los resultados de la nivelación de ida (sobre la diagonal escalonada) y de la nivelación de regreso (debajo de ella) para la sección Jujuy-Humahuaca. El Cuadro III da en la misma forma los resultados obtenidos para la sección Humahuaca-La Quiaca. Estas tablas se obtienen de la siguiente manera: se han calculado primeramente los espesores de las capas entre las estaciones consecutivas. Como no exceden los 400 m es indiferente emplear la fórmula de LAPLACE o la de BABINET. Luego, por la sumatoria de esos espesores se han calculado las diferencias de altura entre todas las estaciones combinadas de dos en dos. Estas son las cifras que figuran en el centro de las casillas. Luego, se han calculado directamente las diferencias de altura entre todos los pares de estaciones, vale decir, sin pasar por las estaciones intermedias, por la fórmula de BABINET y por la de LAPLACE a un mismo tiempo. Los desvíos entre estas diferencias de altura y las obtenidas por capas consecutivas se indican en las casillas: arriba y a la izquierda, según BABINET, y abajo y a la derecha, según LAPLACE.

Se comprobará primeramente que la coherencia es tan buena con la fórmula de Babinet como con la de Laplace. Esto es lo que nos ha inducido a decir anteriormente que la fórmula de BABINET no debía ser considerada como una simple aproximación de la fórmula de LAPLACE, ob-







tenida desarrollando el logaritmo, sino como una fórmula de por lo menos igual valor a la de LAPLACE, dentro de los límites de 2000 metros.

Se verá en seguida que, mientras la nivelación de la ida ofrece una coherencia perfecta, la nivelación del regreso presenta, por el contrario, una coherencia menos satisfactoria.

#### IX. — COMPARACION CON LA NIVELACION GEOMETRICA

El Cuadro VIII da para un cierto número de capas la comparación con las diferencias de altura determinadas por la nivelación general.

Se ve que los resultados del viaje de ida son *muy buenos* y presentan desvíos que son totalmente del orden de magnitud que nos permite esperar la discusión que hemos hecho al principio, de las causas de error de la nivelación barométrica. El promedio es prácticamente nulo y la fluctuación media es de 5 metros.

Por el contrario, los resultados del viaje de regreso son *malos* y los desvíos sobrepasan en mucho los límites que habíamos previsto. Sin embargo, ya lo hemos dicho, ni el instrumento ni los observadores pueden ser la causa. Por lo tanto, es absolutamente necesario llegar a la conclusión de que las condiciones teóricas requeridas para la aplicación de la fórmula barométrica no fueron cumplidas ese día, hecho que ya nos había advertido el criterio de coherencia.

30 de Marzo de 1948-15 hs.

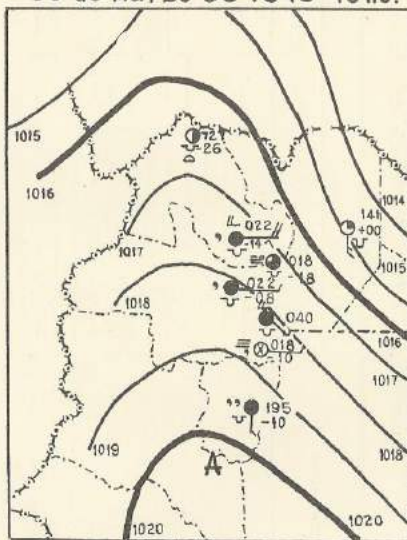


FIG. 3.

Deben atribuirse los errores al gradiente horizontal de la presión y a la tendencia barométrica. Para verlo, hemos hecho preparar las cartas locales del tiempo correspondientes al 23 y al 30 de marzo a las 15 horas, Figs. 1 y 3.

CUADRO V. — Diferencias de altura (sección Humahuaca-La Quiaca)

Regreso	Ida						La Quiaca
	Humahuaca	Iturbe	Tres Cruces	Abra Pampa	Po del Marqués	Pumahuasi	
Humahuaca .....		393	746	532	541	609	489
Iturbe .....	-394		353	139	150	216	96
Tres Cruces .....	-752	-358		-213	-205	-137	-256
Abra Pampa .....	-501	-107	251		9	77	43
Puesto del Marqués .....	-516	-122	236	-15		68	52
Pumahuasi .....	-580	-186	172	-79	-64		-119
La Quiaca .....	-464	-70	288	37	52	116	

En ellas se advierte que la situación barométrica es sensiblemente la misma. En efecto, la región considerada se encuentra, en ambos casos, en un dorsal de alta presión donde el gradiente es de 0,5 mb por grado geográfico, por consiguiente muy débil e incapaz de ocasionar error en tramos que representan apenas una veintena de kilómetros. La tendencia (-1,4 mb en Jujuy y -2,6 mb en La Quiaca) es la misma en los dos casos e indudablemente causada sólo por la variación diurna. Además, hemos calculado también, tan cuidadosamente como fué posible, las correcciones a agregar debidas al gradiente y la tendencia; figuran en el Cuadro IX en el que se puede comprobar que en cualquier circunstancia, por su pequeñez, no pueden modificar en nada nuestras conclusiones. Por consiguiente, debemos convencernos de que queda un resto irreductible e inexplicable con las concepciones clásicas; en otras palabras, que hemos puesto en evidencia un fenómeno que hasta ahora había pasado casi inadvertido. Nosotros lo denominamos *la turbulencia de la presión* y explicaremos ahora en qué consiste.

CUADRO VI. — Desviación de coherencia según la fórmula de Babinet (sección Humahuaca-La Quiaca)

Regreso	Ida						La Quiaca
	Humahuaca	Iturbe	Tres Cruces	Abra Pampa	Po del Marqués	Pumahuasi	
Humahuaca .....			1	2	1	1	2
Iturbe .....				1	1	0	-1
Tres Cruces .....	3				0	0	0
Abra Pampa .....	-2	2				0	0
Puesto del Marqués .....	5	2	-1				0
Pumahuasi .....	4	2	-1	0			
La Quiaca .....	-11	4	3	1	1		

#### X. — LA TURBULENCIA DE LA PRESION

Generalmente los meteorólogos admiten que la presión atmosférica es un elemento "sinóptico", es decir *continuo para la escala de las cartas sinópticas*, contrariamente al caso de la mayoría de los otros elementos meteorológicos. Pero la discusión que acabamos de hacer de la segunda nivelación barométrica: La Quiaca-Jujuy, nos demuestra que, por lo menos en ciertas situaciones atmosféricas, debe renunciarse a esta idea y



dar a la presión, como a los otros elementos, el carácter aleatorio, o también, "turbulento", es decir, extrema y rápidamente variable de un punto a otro y de un momento a otro, siempre que se tengan instrumentos suficientemente sensibles para medirla. Y, entendámonos bien, no se trata aquí de las fluctuaciones de la presión estática, en otros términos, del peso de la atmósfera en un lugar.

Con esta concepción del carácter aleatorio de la presión, el error tipo a esperar en una medición aislada hecha en dos estaciones es:

$$\sigma = \sqrt{(p_2' - p_1')^2}$$

siendo  $p_1'$  y  $p_2'$  las partes puramente aleatorias de las presiones  $p_1$  y  $p_2$ . Si se designa por  $\sigma_p$  el desvío tipo de la presión, supuesto el mismo en las dos estaciones,

$$\sigma_p = \sqrt{p_1'^2} = \sqrt{p_2'^2}$$

y por  $r_{p_1 p_2}$  el coeficiente de correlación entre  $p_1$  y  $p_2$ , se tiene:

$$\sigma = \sigma_p \sqrt{2(1 - r_{p_1 p_2})}$$

Pero, las estadísticas muestran que cuando las estaciones 1 y 2 están situadas en una misma vertical, la correlación entre  $p_1$  y  $p_2$  es muy marcada, de manera que para algunos centenares de metros de diferencia de nivel,  $r_{p_1 p_2}$  es prácticamente igual a la unidad.

CUADRO VII. — Desviación de coherencia según la fórmula de Laplace (sección Humahuaca-La Quiaca)

Regreso	I d a						
	Humahuaca	Iturbe	Tres Cruces	Abra Pampa	Po del Marqués	Pumahuasi	La Quiaca
Humahuaca .....	—	—	0	2	2	2	2
Iturbe .....	—	—	—	1	1	0	1
Tres Cruces .....	3	—	—	—	0	0	0
Abra Pampa .....	— 2	2	—	—	—	0	0
Puesto del Marqués .....	5	2	— 1	—	—	—	0
Pumahuasi .....	4	2	— 1	0	—	—	—
La Quiaca .....	— 11	4	— 3	1	1	—	—

El desvío tipo  $\sigma$  es por lo tanto pequeño y la fórmula de LAPLACE continúa siendo exacta, a pesar del carácter aleatorio de la presión, con la condición de operar en una misma vertical y simultáneamente.

Por ejemplo, teóricamente hemos establecido la fórmula siguiente que es el comienzo de un desarrollo en serie:

$$r_{p_1 p_2} = 1 - \frac{(\Delta h)^2}{2 \zeta^2} + \dots$$

donde:

$$\zeta = \frac{10^7 \sigma_p}{g \sigma_\rho \sqrt{1 - r_{p\rho}^2}}$$

siendo  $\sigma_p$  el desvío tipo en grs/m<sup>3</sup> de la densidad y  $r_{p\rho}$  el coeficiente de correlación entre la presión y la densidad.

CUADRO VIII. — Comparación de las diferencias de altura obtenidas en el viaje de ida y en el viaje de regreso con las de la nivelación geométrica del ferrocarril

Estaciones	Nivelación del ferrocarril	Nivelación barométrica Ida	Desviaciones	Nivelación barométrica Regreso	Desviaciones
Jujuy .....	0	0	0	0	0
El Volcán .....	816	819	3	852	16
Purmamarca .....	115	125	10	127	12
Tilcara .....	267	272	5	284	17
Humahuaca .....	479	473	— 6	501	22
Tres Cruces .....	752	746	— 6	752	0
Puesto del Marqués .....	— 197	— 205	— 8	— 236	— 39
Pumahuasi .....	64	68	4	64	0
La Quiaca .....	— 117	— 119	— 2	— 116	1
Promedios .....			0		5 m

	Ida	Regreso
Errores medios ...	0	5 m
Fluctuaciones ....	5 m	13 m

A la altura de 2000 m, se tiene:

$$\zeta = 7100 \text{ m}$$

Así, para diferencias de nivel:

$$\Delta h = 500 \text{ m}$$

se tiene:

$$r_{p_1 p_2} = 0,99$$

De manera que para  $\sigma_p = 10$  milibares (orden de magnitud observado), se tiene:

$$\sigma = 1,5 \text{ mb}$$

De este modo los errores que provienen del carácter aleatorio de la presión se traducirán en la altura por errores de una decena de metros solamente.

CUADRO IX. — Corrección en metros por gradiente y por tendencia de la presión

Estratos	Ida	Regreso
Jujuy-El Volcán .....	— 4	— 5
El Volcán-Purmamarca .....	— 1	— 3
Purmamarca-Tilcara .....	3	— 2
Tilcara-Humahuaca .....	2	1
Humahuaca-Tres Cruces .....	2	2
Tres Cruces-Puesto del Marqués .....	6	8
Puesto del Marqués-Pumahuasi .....	0	2
Pumahuasi-La Quiaca .....	0	2



Pero si las estaciones están alejadas horizontalmente y si las mediciones no son simultáneas, el coeficiente de correlación decrece y el error aumenta rápidamente.

Por ejemplo, para  $r_{p_1, p_2} = 0,9$  se encuentra ya

$$\sigma = 4,5 \text{ mb}$$

lo que origina fluctuaciones de 35 m en la altura.

#### XI. — CONCLUSION

Así, la operación de nivelación barométrica puede ser excelente o mala según las circunstancias atmosféricas; sin embargo, no es el gradiente horizontal de la presión el que las perturba, o por lo menos, no basta que este gradiente sea débil para que la operación tenga éxito. En nuestra segunda operación (regreso), el gradiente horizontal de la presión no era más importante que en el viaje de ida, y, sin embargo, las mediciones fueron malas. Atribuimos la causa a un nuevo elemento que los meteorólogos no han considerado todavía: la *turbulencia de la presión*. Es curioso observar, además, que aunque la situación barométrica general haya sido casi la misma en los dos casos, el viaje de ida fué acompañado por tiempo bueno y el viaje de regreso concluyó con cielo cubierto y lluvia. Pero existía una diferencia que no aparecía en las cartas y que sólo nuestra operación de nivelación ha revelado: la presión era "*turbulenta*" en el viaje de regreso. Existe, pues, un elemento más sensible a los cambios del tiempo que el barómetro mismo; esto no debe asombrar si se piensa en la estrecha relación puesta ya en evidencia en la escala sinóptica entre la variabilidad de la presión y la nubosidad y la lluvia.

En lo que respecta a la aplicación de las nivelaciones barométricas, se debe llegar a la conclusión de que no es suficiente emplear sin discriminación promedios para nivelar las estaciones, sino que es preferible seleccionar los casos en que las circunstancias son favorables, y siempre se podrá verificarla posteriormente empleando el *criterio de coherencia*.

### LA FLORACION DEL DURAZNERO Y SU RELACION CON LAS TEMPERATURAS DE INVIERNO Y DE PRIMAVERA \*

Por NESTOR RENE LEDESMA \*\*

**Resumen.** — Sobre una colección de 50 variedades de durazneros de 10 años, constituida por 3 ejemplares de cada variedad, bajo cultivo existente en la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires, se estudia el comportamiento fenológico de la floración en relación con la temperatura de los años 1941-42 y 1942-43 en invierno y primavera. Se consideran separadamente con ese objeto las condiciones térmicas de cada año y el comportamiento fenológico de las variedades de la colección. Llegase a las siguientes conclusiones: 1) Cuando el invierno es suficientemente frío disminuye la "energía de floración" y como consecuencia la floración se produce con atraso y es muy prolongada. 2) Las temperaturas de primavera tienen menor influencia sobre el comienzo y desarrollo de la floración. 3) Se clasifican finalmente las variedades de la colección estudiada conforme a su exigencia en frío, en base al comportamiento observado, recomendando para Buenos Aires las variedades de menor exigencia en frío.

**Summary.** — Upon a collection of 50 varieties of peach-trees of ten years old, formed by 3 patterns of each one, under cultivation in the Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires, it is studied the phenological behavior of the flowering in connection with the temperature of the years 1941-42 and 1942-43 in Winter and Spring.

It is separately considered with that object, the thermic conditions of each year and the phenological behavior of the varieties of the collection.

The following conclusions are reached:

- 1) When the Winter is insufficiently cold the "energy of flowering" decreased and, consequently the flowering is late and prolonged.
- 2) Spring temperatures has smaller influence upon the beginning and development of the flowering.
- 3) The varieties of the mentioned collection are classified according to their requirement of cold, in base to the observed behavior, recommending to Buenos Aires the varieties of smaller requirement of cold.

#### I. — INTRODUCCION

El frío invernal ejerce sobre los árboles de follaje caduco <sup>(1)</sup> un efecto estimulante del despertar de la vegetación en la primavera subsiguiente.

Este fué el tema de un estudio anterior <sup>(2)</sup>, en el cual se dejó constataado para el país el fenómeno de floración atrasada, con motivo de las anomalías observadas en la primavera del año 1939 y cuya causa fué la falta de frío del invierno precedente.

Utilizando ahora las observaciones fenológicas registradas en el monte frutal del Instituto de Fruticultura de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires y los registros meteorológicos del Observatorio

\* Trabajo presentado al I Congreso Sudamericano de Investigaciones en Materias Agronómicas realizado en « La Estancia », Rep. Oriental del Uruguay, durante el mes de noviembre de 1949.

\*\* Ingeniero Agrónomo, 2º Jefe de la División de Agrometeorología del S. M. N.

<sup>1</sup> *Follaje caduco*: Para designar a los árboles que se despojan de todas las hojas antes de entrar en la estación invernal se usan diversos términos como « árboles de hojas caducas » o « de hojas caedizas » o « follaje caedizo ». En este trabajo se empleará la designación « follaje caduco », considerando no simplemente el hecho de la caída parcial o total de las hojas, sino que el follaje como tal desaparece antes de entrar en la estación invernal porque su misión está terminada, es decir, ha caducado.



Central del Servicio Meteorológico Nacional, se estudia la floración del duraznero en relación con las características meteorológicas de la primavera y del invierno precedentes.

Las variedades de dicha colección se clasifican en relación a sus exigencias en frío invernal y a la vez se estudian los efectos de su deficiencia sobre la floración del duraznero.

## II. — ANTECEDENTES

El despertar de la vegetación, en los árboles de follaje caduco, está influido grandemente por la acción del frío invernal. Aun cuando las temperaturas de primavera alcancen los valores óptimos para la foliación y floración, éstas no se producen, por lo menos en condiciones óptimas, si las temperaturas de invierno no han satisfecho las exigencias en frío de tales plantas.

Hay que considerar, pues, la acción de la temperatura en dos formas distintas. En invierno actúa como frío; se necesita una cierta cantidad de frío para que las plantas se encuentren en condiciones íntimas aptas para iniciar la *vegetación*. Una vez llegada la primavera la acción estimulante del calor actúa según leyes bien conocidas. En este trabajo se consideran ambas formas de acción, especialmente la de frío invernal.

La bibliografía sobre el tema quedó actualizada en el trabajo anterior ya citado (2) faltando agregar a dicha enumeración, los trabajos aparecidos posteriormente.

BURGOS (4) expone las consecuencias de la deficiencia en frío y cita métodos de lucha directa para combatir su acción negativa.

LAMERTS (12) trabajando en South California, ensaya un método cuantitativo para valorar los efectos del invierno demasiado suave sobre el despertar de la vegetación. Este método consiste en clasificar toda una colección de variedades de duraznero relacionando el comportamiento de cada una de ellas con otra cuya floración se produce todos los años, con muy poca variación, alrededor de una misma fecha. De acuerdo a las diferencias registradas con dicho testigo, se asigna un índice a cada variedad, pudiendo así valorar la necesidad en frío invernal.

BROOKS y PHILIP (2) de N. California, trabajaron simultáneamente y en comunicación con LAMERTS. Estos autores trataron de cuantificar la influencia negativa de los inviernos benignos sobre el duraznero de acuerdo a la cantidad de yemas caídas. Encuentran una estrecha relación entre la exigencia varietal en frío y la cantidad de yemas caídas y dividen a las variedades de la colección DAVIS en cinco grupos en relación a su sensibilidad a la falta de frío invernal.

## III. — MATERIAL

a) COLECCIÓN POMOLÓGICA. — Las observaciones fenológicas se registraron en la colección pomológica del Instituto de Fruticultura de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires.

Entre las especies frutales que hay en dicha colección se eligió el duraznero, al considerar la facilidad que ofrece para registro y análisis posterior de la floración, la presencia de yemas simples, es decir, que la floración y la foliación se producen independientemente una de la otra.

El plantel de variedades de duraznero presenta también la ventaja de ser bastante homogénea y numerosa como para disponer de suficiente material.

Dicho plantel está formado por dos conjuntos distintos entre sí; uno consta de 20 variedades y el otro de 71. Los cómputos se hicieron sobre los datos fenológicos de este último.

Algunas observaciones se perdieron por dificultades de diversa índole, desechándose las variedades en tales condiciones, por lo cual finalmente se trabajó con un grupo de 50. Cada una de las variedades está representada por 3 individuos, que en 1942, tenían 10 años en el lugar.

Desde el punto de vista frutícola el conjunto de variedades resulta muy valioso porque se encuentran en ellas variedades mayormente cultivadas en nuestro país y en EE. UU. en donde la abundante bibliografía sobre el tema nos provee de excelente material de comparación.

Los árboles han sido sometidos a podas semejantes y de muy poca intensidad en los 2 años y no recibieron curaciones invernales que hubieran podido ejercer influencia sobre el despertar de la vegetación. Todos los cómputos fenológicos se hacen en base a observaciones tomadas personalmente por el autor.

b) OBSERVACIONES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS. — Los cómputos meteorológicos se hacen en base a las observaciones horarias de temperatura del aire, en la casilla, a 1.50 m de altura sobre el nivel del suelo, tomadas en el Observatorio Central de Buenos Aires, de la Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional, que está situado dentro del recinto de la Facultad de Agronomía y Veterinaria a 300 m aproximadamente del monte frutal.

Para computar la cantidad de frío se usa la temperatura de 7°C adoptada por la mayoría de los autores. A dicha temperatura de acuerdo a los estudios de NIGHTINGALE y BLACK (14) el incremento en crecimiento, del duraznero, es apenas perceptible. Con el fin de cuantificar la "cantidad de frío" aprovechable por la planta se ha sumado el número de horas a dicha temperatura e inferior a ella.

Al cómputo de las temperaturas de 7°C o menos se agrega las temperaturas inferiores a 5°C por debajo de la cual según NIGHTINGALE y BLACK (14) ya no se observa, en el duraznero, ningún fenómeno de crecimiento.

c) EL REGISTRO DE LA FLORACIÓN. — Las observaciones fenológicas sobre floración se hicieron teniendo en cuenta las instrucciones de nuestro Servicio de Fenología (7) y las definiciones de Illichewsky (20).

En este trabajo se toman en cuenta solamente las fechas de comienzo y fin de floración con la finalidad de simplificar los cómputos pues aunque el estudio de las fases en detalle resulta de gran interés, complicaría el análisis.

## IV. — CARACTERÍSTICA DE LOS AÑOS ESTUDIADOS

a) CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LOS AÑOS METEOROLÓGICOS 1941/42 y 1942/43. — Para estudiar en forma más ordenada la acción de la temperatura sobre la floración del duraznero, dividiremos en cuatro partes el tiempo comprendido entre "comienzo de invierno" y fin de floración.



1°) *Temperatura durante el invierno.* — Se consideran como tales a las que se producen entre el día 1° de abril y el de comienzo de floración de la primera variedad. Tiene por finalidad computar todas las "horas de frío" anteriores a la floración.

2°) *Temperaturas de los 10 días anteriores a la floración de la primera variedad.* — Se consideran los 10 días anteriores a la floración porque en ese tiempo se producen en el pimpollo las transformaciones preparatorias a la apertura de la flor.

3°) *Temperaturas durante el comienzo de la floración.* — Se consideran en él las temperaturas registradas desde el comienzo de la floración de la primera variedad hasta el fin de la floración de la última.

1° - *Temperaturas durante el invierno.* — Las temperaturas media, máxima y mínima absolutas, así como la media de cada uno de los meses fué más baja durante el invierno de 1942/43.

El número de días con temperaturas inferiores a 0°C como también a 7°C y con temperaturas medias inferiores a 7°C fué mayor en 1942/43. En este año se registraron días en que todas las horas estuvieron por debajo de 7°C lo que no ocurrió en 1941/42.

CUADRO 1. — *Temperaturas durante el invierno*

Temperatura	1941-42	1942-43
	1-IV a 28-VIII	1-IV a 19-VIII
Media .....	15.12 °C	11.35 °C
Máxima absoluta .....	35.5 °C	28.1 °C
Mínima absoluta .....	-0.7 °C	-4.1 °C
Medias mensuales:		
IV .....	16.7 °C	16.5 °C
V .....	12.8 °C	11.6 °C
VI .....	11.4 °C	8.7 °C
VII .....	11.6 °C	7.9 °C
VIII .....	12.5 °C	11.5 °C

También en 1942/43 hubo mayor número de días con temperaturas inferiores a 5°C y en 15 de ellos la temperatura media estuvo por debajo de 5°C lo que no ocurrió en 1941/42.

CUADRO 2. — *Número de horas de 7°C y menos acumuladas en los diversos meses a partir del día 1° de abril*

Hasta el día	Año 1941						Totales
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
28-VIII .....	18	99	142	88	61	—	408
7- IX .....	18	99	142	88	65	45	453
15- IX .....	18	99	142	88	65	89	499
25- IX .....	18	99	142	88	65	129	559
	Año 1942						
20-VIII .....	17	115	241	358	59	—	790
28-VIII .....	17	115	241	358	79	—	790
1- IX .....	17	115	241	358	79	—	790

El número absoluto de "horas de frío", es decir por debajo de 7°C fué muy superior, aproximadamente el doble en 1942/43. Es de advertir que en 1941/43 después del día 28 de agosto ya no se registran horas de frío y en 1941/42 las hubo hasta el 25 de setiembre.

CUADRO 3. — *Frecuencia de algunos niveles térmicos en los inviernos considerados*

Días con temperatura	1941-42	1942-43
Inferiores a 0 °C .....	1	13
"    "    "    7 °C .....	60	81
Medias inferiores a 7 °C .....	9	27
Máximas inferiores a 7 °C .....	0	5
Inferiores a 5 °C .....	57	49
Medias inferiores a 5 °C .....	0	15

Siendo 689 horas por debajo de 7°C el promedio de los 30 últimos años (1912/1942) para Buenos Aires (Observatorio Central) con una desviación standard de 201, por lo cual para el año 1941/42, 50 horas de diferencia con la normal y 101 para 1942/43 la probabilidad de que se repita un número de horas semejante a 1941/42, aplicando la tabla que nos da la probabilidad  $P$  en función del desvío  $x$ , dividido por el error standard (<sup>10</sup>) es de 1 en 1,2 años y para 1942/43 de 1 en 1,6 años.

2° - *Temperaturas de los 10 días anteriores a la floración de la primera variedad.* — Las temperaturas medias, mínimas y máximas fueron más altas en 1941/42.

CUADRO 4. — *Temperaturas de los 10 días anteriores a la floración de la primera variedad*

Temperatura	1941-42	1942-43
	18 a 28-VIII	9 a 19-VIII
Media .....	13.6 °C	11.5 °C
Máxima absoluta .....	22.6 °C	20.5 °C
Mínima absoluta .....	1.2 °C	1.0 °C

La floración se inició en 1942/43 en un día cuya temperatura fué muy baja, habiendo bajado la mínima hasta una temperatura de 3.5°C muy por debajo de la que paraliza los fenómenos de crecimiento (<sup>14</sup>).

CUADRO 5. — *Día de comienzo de la floración*

Temperatura	1941-42	1942-43
Media .....	17.08 °C	10.1 °C
Máxima .....	22.6 °C	16.3 °C
Mínima .....	10.0 °C	3.5 °C

3° - *Temperaturas durante el comienzo de la floración.* — Al considerarse las temperaturas en este tiempo se observa que en 1942/43 fueron un poco más bajas que en 1941/42.



Las temperaturas media y máxima absolutas fueron más altas en 1941/42, pero la mínima fué 0,2°C más baja en 1941/42 que en 1942/43.

Al considerar el número de días en que se registraron temperaturas superiores a 20°C o inferiores a 7°C y 5°C, no es posible tomar valores absolutos teniendo en cuenta que transcurrió mayor tiempo en 1941/42, por lo cual se usará un término comparativo, el por ciento.

Con relación a las temperaturas superiores a 20°C, 1942/43 es más caliente: 39,41 % contra 31,42 % en 1941/42. Con respecto a las temperaturas inferiores a 7°C la diferencia es mínima: 51,14 % de los días en 1941/42 y 52,94 % en 1942/43. En 1941/42 los días con temperaturas inferiores a 5°C representaron el 41,54 % comparativamente muy superior a 1942/43: 23,52 %.

CUADRO 6.— Temperaturas durante el comienzo de la floración

Temperatura	1941-42	1942-43
	28-VIII a 30-IX	16-VIII a 5-IX
Media .....	13.58 °C	12.89 °C
Máxima absoluta .....	30.6 °C	25.8 °C
Mínima absoluta .....	0.6 °C	0.8 °C

Los ascensos de temperatura deben tener una estrecha relación con la floración porque al llegar a los niveles térmicos óptimos, las plantas deben iniciar la floración y los descensos por su parte deben estar estrechamente ligados a la detención o atraso, principalmente cuando la temperatura descendiendo a valores inferiores a 7°C y 5°C. Las oscilaciones que se produjeron en los años estudiados presentan cuatro ascensos térmicos para 1941/42 por tres para 1942/43; y tres descensos para 1941/42 por dos para 1942/43.

CUADRO 7.— Frecuencia de algunos niveles térmicos en las primaveras consideradas

	1941-42	1942-43
Días con temperaturas superiores a 20 °C .....	11 (31.42 %)	5 (31.41 %)
» » » inferiores a 7 °C .....	20 (57.14 %)	9 (53.94 %)
» » » » 5 °C .....	17 (41.57 %)	4 (23.52 %)
Ascensos de temperatura .....	4	3
Descensos de temperatura .....	3	2

4° - Temperaturas durante la floración. — Las temperaturas media y máxima fueron más altas en 1941/42 y la mínima fué 0,2°C más alta en 1942/43.

El número relativo de días con temperaturas superiores a 20°C fué mucho más alto en 1941/42: 44,23 % que en 1942/43: 29,03 %. Fué muy semejante el de días con temperaturas inferiores a 7°C: 44,30 % y 41,93 % respectivamente; pero no es lo mismo en relación a las inferiores a 5°C en que 1941/42 con 32,69 % se presenta mucho más frío que 1942/43 con 19,36 %.

CUADRO 8.— Temperaturas durante la floración

Temperatura	1941-42	1942-43
	28-VIII a 18-X	19-VIII a 19-IX
Media .....	14.77 °C	13.53 °C
Máxima absoluta .....	30.6 °C	25.6 °C
Mínima absoluta .....	0.6 °C	0.8 °C

CUADRO 9.— Frecuencia de algunos niveles durante la floración

	1941-42	1942-43
Días con temperaturas superiores a 20 °C .....	23 (44.25 %)	9 (29.05 %)
» » » inferiores a 7 °C .....	22 (42.30 %)	13 (41.95 %)
» » » » 5 °C .....	17 (32.69 %)	6 (19.36 %)

b) CARACTERÍSTICAS DE LOS AÑOS FENOLÓGICOS 1941/42 Y 1942/43. — La falta de frío invernal provoca diversas anomalías fenológicas en el duraznero, las cuales se manifiestan especialmente en la floración y en la foliación.

Casi todos los estudios sobre el particular se refieren, por ese motivo, a ellas y en este estudio, con el fin de analizar los fenómenos con mayor profundidad, se toma solamente una de ellas, la floración.

Con el fin de estudiar los fenómenos más caracterizados que manifiestan las anomalías provocadas por la falta de frío se considerará solamente:

- 1º) El comienzo de la floración,
- 2º) La duración total de la floración.

1º) EL COMIENZO DE LA FLORACIÓN. — Observando el gráfico de la figura I y el cuadro 10, es posible determinar las diferencias existentes entre la floración de los años fenológicos 1941/42 y 1942/43.

a) Considerando el conjunto de variedades. — x) La floración de las distintas variedades se produjo, en 1941/42, en fecha posterior a la de 1942/43.

La simple observación de la figura I y del cuadro 10, demuestra que este atraso se produjo en casi todas las variedades, pudiéndose señalar sólo dos excepciones:

	1941-42	1942-43
Princess of Wales .....	2-IX	3-IX
Precoce du Canada .....	3-IX	3-IX

Estas variedades florecieron, en los dos años, prácticamente en la misma forma. En las otras, la diferencia en comienzo de floración alcanza hasta una diferencia de 39 días: Alexander.



xx) El atraso se va acentuando de las variedades más precoces en floración a las más tardías, lo cual se observa fácilmente en la Fig. 1 (año 1941/42).

xxx) El tiempo transcurrido entre el comienzo de la floración de la primera variedad y el de la última, fué mucho más amplio en 1941/42, que en 1942/43.

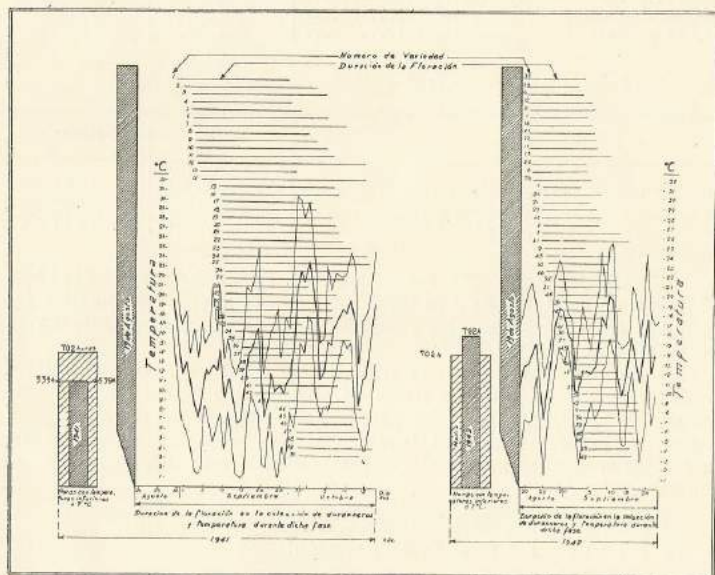


FIG. 1.—Horas de frío, floración de las variedades de durazneros y temperatura durante dicha fase en los años considerados.

En 1941/42 la variedad Nato Angoumoise fué la primera en iniciar la floración, el día 28 de agosto y la última, Royal Sovereign, el 30 setiembre. La primera en 1942/43 fué Kia Ora, el 9 de agosto y el 5 de setiembre las últimas, Lord Napier y May Flower.

Por lo tanto el tiempo transcurrido entre el comienzo de la floración de la primera variedad y el de la última fué:

1941-42 .....	54 días
1942-43 .....	18 »

xxxx) El orden de floración de las variedades es distinto en los dos años, lo cual se observa en Fig. 1 y en el cuadro 10.

b) Considerando la floración de cada variedad.— Para considerar el comportamiento de cada variedad, en relación al conjunto, se ha trazado la curva de comienzo de floración (Fig. 2).

Dicha curva se ha trazado agrupando las variedades en clases de dos días, colocándose en las ordenadas el número de variedades que flore-

cieron en cada día y en las abscisas la fecha de floración. La curva A corresponde a la floración del año 1941/42 y la B a la de 1942/43.

La curva A presenta cuatro modas, que designaremos por los números 1, 2, 3 y 4 y la B, 3 modas que llamaremos de igual manera.

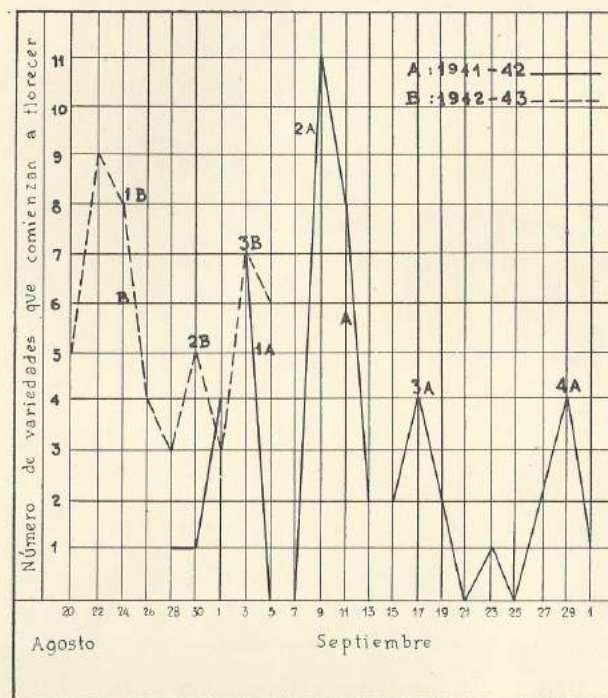


FIG. 2.—Curva de frecuencia de comienzo de floración.

La relación existente entre la floración de cada variedad y las restantes del conjunto, que resulta difícil expresar debido a las diferencias registradas en la fecha de floración, se ve facilitada por la posición de las variedades en cada una de las curvas.

A tal efecto se considerará que las variedades incluídas en cada una de las modas tienen un comportamiento semejante en el año correspondiente. Variedades incluídas en la moda 1 de las dos curvas:

<i>Nato Angoumoise</i>	<i>Fertile de Poitou</i>
<i>Bianco de Sicilia</i>	<i>Lowell</i>
<i>Real Jorge de la Virgen</i>	<i>J. H. Hale</i>
<i>Elberta</i>	<i>New Boy</i>
<i>Recuerdo de V. Peluffo</i>	<i>Tuskan Cling</i>

en la moda 1 de A y en la 2 de B:

*Lady Palmerston*



Variedades incluídas en la moda 1 de A y 3 de B:

*Princess of Wales*                      *Precoce du Canada*

Variedades incluídas en 2 de A y 1 de B:

<i>Gold Mine</i>	<i>Crawford's Late</i>
<i>Madeline Dorée</i>	<i>Stanwick</i>
<i>Powel's Beauty</i>	<i>Croncel's Early</i>
<i>Yellow St. John</i>	<i>Philip's Cling</i>
<i>Tweedthead</i>	<i>Madeline de Courson</i>
<i>Conclin</i>	<i>Mamie Rose</i>
<i>Royal Sovereign</i>	

Variedades incluídas en la moda 2 de A y 2 de B:

*Muir*    *Romano*  
*Palora Cling*

Variedades incluídas en la moda 2 de A y 3 de B:

*George IV*                                      *Lord Napier*  
*American Briggs May*

Variedades incluídas en la moda 3 de A y 1 de B:

*Kia Ora*    *President Garfield*  
*Triunfo de California*

Variedades incluídas en la moda 3 de A y 2 de B:

*Fuekina templada*                      *Real Jorge Amarillo*

Variedades incluídas en la moda 3 de A y 3 de B:

*Triumph*    *Pêche Ophis*

Variedades incluídas en la moda 4 de A y 2 de B:

*Sol de Mayo*                                      *Alexander*

Variedades incluídas en la moda 4 de A y 2 de B:

*Crawford's Early*                      *Amarillo de California*

Variedades incluídas en la moda 4 de A y 3 de B:

*Amsden*    *Favorito de V. Peluffo*  
*May Flower*                                      *Royal Sovereign*

2) LA DURACIÓN DE LA FLORACIÓN. — La floración, considerada en su duración total fué, para casi todas las variedades, más prolongada en 1941/42 que en 1942/43.

Los valores extremos oscilan entre 44 días: *Precoce du Canada* y *Princess of Wales* y 13 días: *Amarillo de California*, para el año 1941/42 y para 1942/43, 22 días *Tweedthead* y 8 días, *Palora Cling* y *American Briggs May*.

Las floraciones de larga duración fueron numerosas durante el año 1941/42, superando 1 mes de floración continua las siguientes variedades:

<i>Precoce du Canada</i> .....	44 días
<i>Princess of Wales</i> .....	44 »
<i>Croncel's Early</i> .....	39 »
<i>Lord Napier</i> .....	36 »
<i>H. J. Hale</i> .....	34 »
<i>New Boy</i> .....	34 »
<i>Bianco de Sicilia</i> .....	34 »
<i>Tuskan Cling</i> .....	33 »
<i>Nato Angoumoise</i> .....	32 »
<i>Gold Mine</i> .....	32 »
<i>Lady Palmerston</i> .....	32 »
<i>Stanwick</i> .....	31 »
<i>Yellow St. John</i> .....	30 »
<i>Crawford's Late</i> .....	30 »

En el año 1942/43, la floración se caracterizó por ser más breve, habiéndose prolongado por más de 15 días solamente en las siguientes:

<i>Tweedthead</i> .....	22 días
<i>Gold Mine</i> .....	20 »
<i>Triunfo de California</i> .....	21 »
<i>Peen To</i> .....	18 »
<i>Almiral Dewey</i> .....	17 »
<i>Bianco de Sicilia</i> .....	17 »
<i>Princess of Wales</i> .....	16 »
<i>Stanwick</i> .....	16 »

Los floraciones breves fueron pocas en 1941/42, si se compara con las de 1942/43: las siguientes duraron menos de 20 días:

<i>Sol de Mayo</i> .....	19 días
<i>Amsden</i> .....	17 »
<i>Crawford's Early</i> .....	17 »
<i>May flower</i> .....	16 »
<i>Favorito de Vicente Peluffo</i> .....	15 »
<i>Alexander</i> .....	14 »
<i>Royal Sovereign</i> .....	14 »
<i>Amarillo de California</i> .....	13 »

En 1942/43, las floraciones cortas fueron muy numerosas y solamente 3 variedades sobrepasaron los 20 días. Por su parte, 22 variedades (44 %) la terminaron en un tiempo menor de 13 días.

La duración total de la floración, disminuye progresivamente en el año 1941/42 de las variedades precoces en florecer a las tardías.

#### V. — ANALISIS

Se tratará en este capítulo la relación existente entre los fenómenos observados y a la vez se buscará indagar su causa posible.

Entre los numerosos problemas que se plantean solamente unos pocos serán analizados, son los que sirven para los fines del presente estudio.

a) BUENA FLORACIÓN. — El primer problema a resolver será la determinación de lo que se ha de llamar una buena floración en lo que respecta a fecha de comienzo y a la duración.

HEDRICK<sup>(11)</sup> después de un estudio de 4 años en la Estación Experimental de N. York, encuentra que el término medio de la duración de la fase en su colección de durazneros fué de 10 días con una mínima de 6 y una máxima de 15 días: ELLENWOOD y SHOEMAKER<sup>(8)</sup> pre-



CUADRO 10.—Floración, fecha y duración en 1941-42 y 1942-43

Orden de fl.		Nombre	Floración				Duración	
41-42	42-43		1941		1942		41/42	42/43
			Com.	Fin	Com.	Fin		
1	6	Ñato Angoumois	28-VIII	29-IX	21-VIII	5-IX	33	15
2	5	Bianco de Sicilia	30-VIII	3-X	20-VIII	6-IX	35	18
3	21	Real J. de la Virgen	1-IX	27-IX	24-VIII	12-IX	27	20
4	20	Fertile de Poitou	1-IX	29-IX	24-VIII	8-IX	29	16
5	32	Lady Palmerston	1-IX	5-X	30-VIII	9-IX	35	11
6	3	Elberta	1-IX	9-X	20-VIII	5-IX	39	15
7	15	Recuerdo V. Peluffo	2-IX	1-X	24-VIII	6-IX	30	14
8	13	Lowell	2-IX	3-X	22-VIII	5-IX	32	15
9	23	J. H. Hale	2-IX	6-X	24-VIII	8-IX	35	16
10	19	New Boy	2-IX	6-X	24-VIII	8-IX	35	16
11	44	Princess of Wales	2-IX	16-X	3-IX	19-IX	45	17
12	4	Tuskan Cling	3-IX	6-X	20-VIII	4-IX	34	16
13	43	Precoce du Canada	3-IX	15-X	3-IX	18-IX	43	16
14	25	Madelaine Dorée	8-IX	7-X	26-VIII	7-IX	30	13
15	11	Gold Mine	8-IX	8-X	21-VIII	11-IX	21	22
16	7	Powel's Beauty	9-IX	1-X	21-VIII	6-IX	23	17
17	10	Conclin	9-IX	4-X	21-VIII	7-IX	26	18
18	31	Tweedderhead	9-IX	7-X	24-VIII	15-IX	29	23
19	39	George IV	9-IX	7-X	3-IX	12-IX	29	10
20	12	Yellow Saint John	9-IX	9-X	22-VIII	4-IX	31	14
21	17	Crawford's Late	9-IX	9-X	24-VIII	5-IX	31	13
22	9	Stanwick	9-IX	10-X	21-VIII	7-IX	32	19
23	49	Lord Napier	9-IX	15-X	5-IX	15-IX	37	11
24	38	Croncel's Early	9-IX	18-X	2-IX	23-IX	40	22
25	2	Phillips Cling	10-IX	28-IX	20-VIII	2-IX	18	14
26	16	Royal Sovereign	10-IX	30-IX	24-VIII	5-IX	20	13
27	35	Muir	10-IX	1-X	31-VIII	9-IX	21	10
28	14	Mamier Rose	10-IX	4-X	22-VIII	6-IX	24	16
29	18	Madelaine de Courson	10-IX	5-X	24-VIII	7-IX	25	15
30	34	Romano	10-IX	7-X	30-VIII	12-IX	27	14
31	28	Almiral Dewey	11-IX	5-X	27-VIII	14-IX	24	19
32	27	Peen To	11-IX	.....	27-VIII	14-IX	.....	21
33	37	Palora Cling	13-IX	6-X	1-IX	9-IX	24	9
34	45	American Briggs May	13-IX	11-X	4-IX	12-IX	29	9
35	1	Kia Ora	15-IX	30-IX	19-VIII	3-IX	16	16
36	30	Fuskina Templada	15-IX	9-X	29-VIII	9-IX	25	12
37	41	Peche Ophix	16-IX	12-X	5-IX	14-IX	28	12
38	40	Early River	16-IX	13-X	1-IX	16-IX	29	16
39	46	Triumph	16-IX	16-X	4-IX	16-IX	31	13
40	26	President Garfield	17-IX	11-X	25-VIII	7-IX	25	13
41	22	Triunfo de California	18-IX	8-X	24-VIII	14-IX	21	21
42	33	Real Jorge Amarillo	18-IX	10-X	30-VIII	9-IX	23	11
43	24	Sol de Mayo	22-IX	11-X	25-VIII	1-IX	20	18
44	48	Amsden	27-IX	14-X	4-IX	18-IX	18	15
45	36	Crawford's Early	27-IX	26-X	31-VIII	12-IX	20	13
46	29	Amarillo California	29-IX	22-X	28-VIII	12-IX	14	16
47	8	Alexander	29-IX	13-X	21-VIII	6-IX	15	17
48	47	Favorito V. Peluffo	29-IX	14-X	4-IX	16-IX	16	13
49	50	May Flower	29-IX	15-X	5-IX	16-IX	17	12
50	42	Royal Sovereign	30-IX	14-X	3-IX	15-IX	15	13

sentan la floración de los durazneros de la colección de la Estación Experimental de Ohio, la fase más corta de 5 días y la más larga de 17.

Estos datos se refieren a regiones en las cuales los inviernos son suficientemente fríos como para satisfacer siempre con amplitud las exigencias del duraznero.

En California, región en donde los inviernos son más suaves, la floración no se produce en la misma forma. LAMERTS<sup>(12)</sup>, compara en un gráfico las floraciones y foliaciones de dos años: 1939, de invierno frío y 1940, de invierno caliente. Se ha copiado, de ese cuadro, el comportamiento de floración de las variedades comunes con las de la colección que se estudia.

CUADRO 11.—Fecha de comienzo y duración de la floración en California durante los años 1939 y 1940

Variedad	1939		1940	
	Comienzo	Duración	Comienzo	Duración
Gold Mine	7-III	12 días	22-III	17 días
J. H. Hale	7-III	7 *	20-III	15 *
Elberta	7-III	7 *	26-III	17 *
Early Crawford	10-III	7 *	5-IV	15 *
Lowell	8-III	8 *	5-III	25 *
Phillips Cling	10-III	16 *	4-III	25 *
May Flower	8-III	8 *	4-III	25 *
George IV	12-III	10 *	4-III	22 *
Stanwick	10-III	7 *	10-III	20 *

Los fenómenos observados son los mismos que los presentados en este trabajo: algunas variedades están atrasadas y otras con la floración muy extendida en 1940, las que en 1939 florecieron temprano y con floración corta.

En los datos presentados y que se irán analizando, es posible observar que la floración de 1941/42 fué precedida por un invierno poco frío, iniciándose tarde con gran intervalo entre las distintas variedades y con la floración prolongada, especialmente en las variedades de floración más precoz, a pesar de que la temperatura fué bastante elevada como para permitirle una evolución rápida.

La floración de 1942/43 se caracterizó por producirse en fecha muy anterior a la de 1941/42, el intervalo entre la floración de las distintas variedades fué menor y la duración de la floración fué más breve y con poca diferencia entre las distintas variedades, aunque las primeras algo más prolongadas que en las últimas.

En vista de los antecedentes citados, de que en las regiones donde el invierno es normalmente bastante frío, el duraznero florece siempre en forma semejante en cuanto se refiere a duración y a época de comienzo y que en las de invierno benigno tiene estas mismas características si se presenta frío, pero si el frío no ha sido suficiente, la floración del duraznero comienza en fecha posterior y se prolonga, podemos llegar a la conclusión de que una floración semejante a la de las regiones de invierno regularmente frío, debe considerarse una buena floración.

En los dos años fenológicos, considerados, las características térmicas fueron muy diferentes, las fenológicas son igualmente diferentes; la flo-



ración del año 1942/43 se asemeja a las características anotadas para las regiones en invierno suficientemente frío, por lo cual será considerada como una buena floración.

b) COMIENZO DE LA FLORACIÓN. — I) En el año 1942/43, la primera variedad comenzó la floración el día 19 de agosto y en 1941/42 el 28 del mismo mes, es decir, que se registra una diferencia de 9 días.

Si se observan, por otra parte, las temperaturas de los 10 días anteriores a esa fecha, es fácil de advertir que en 1941/42 la temperatura media de todo el mes de agosto fué también más alta que en 1942/43.

No fué pues la falta de calor lo que hizo que en 1941/42 la primera variedad floreciera más tarde.

II) Durante los días en que hubo comienzo de floración, la temperatura fué algo más alta en 1941/42, la media fué más alta y también más numerosos los días con temperaturas superiores a 20°C es decir, próximos a la óptima para el desarrollo de las flores. Pero en cuanto a las temperaturas que retardan los fenómenos de crecimiento, las inferiores a 7°C son muy semejantes (57,14 % en 1941/42 y 52,94 % de los días en 1942/43), pero las inferiores a 5°C son más numerosas en 1941/42 (41,57 % de los días contra 23,52 % en 1942/43).

El intervalo entre la floración de las distintas variedades fué más amplio en 1941/42 que en 1942/43. Este atraso, bastante notable según se puede observar en la Fig. 1 y cuadro 10, no parece explicarse dado que la temperatura durante el tiempo que se produjo el fenómeno fué muy semejante en los dos años considerados.

III) Comparando las curvas de Fig. 1 con el análisis de la temperatura de los 10 días anteriores a la floración se puede observar que el comienzo de la floración en 1941/42 fué precedido por días de temperaturas más altas que en 1942/43 y la floración de la primera variedad coincide con el día de temperatura más alta, a la inversa de 1942/43 cuya temperatura en los 10 días anteriores a la floración de la primera variedad coincide con el de la temperatura más baja.

IV) En la figura 2 la curva que corresponde al comienzo de floración de todas las variedades en 1941/42 presentan 4 "modas"; por su parte la curva de temperatura del mismo período (Fig. 1), tiene 4 ascensos. De ello se podría deducir que la marcha de la temperatura determinó la forma de la curva A, es decir, que el aumento de la temperatura determinaría la entrada en floración de mayor número de variedades.

Los ascensos térmicos en el mismo año, se corresponden con las bajantes de la curva de comienzo de floración; esto es lógico por el hecho de que las mínimas llegaron a 1,5°C, 1,4°C y 0,6°C en cada uno de los descensos, temperaturas muy inferiores a 5°C<sup>(14)</sup> que detienen los fenómenos de crecimiento en el duraznero.

En cada uno de los ascensos térmicos se alcanzó a temperaturas superiores a la óptima de floración de 21°C<sup>(14)</sup>.

En respuesta al estímulo térmico florecen cada vez solamente algunas variedades, por lo cual debe considerarse que cada uno de los grupos separados de este modo respondió en forma semejante, es decir, en forma homogénea.

Al producirse los descensos térmicos aumenta, en 1941, el número de horas por debajo de 7°C lo cual podría haber ido satisfaciendo la "ne-

cesidad en frío" de las distintas variedades y al ocurrir los ascensos subsiguientes, satisfecha dicha exigencia en nuevas variedades se producía la floración.

La curva de comienzo de floración del año 1942/43 es trimodal, algo parecida a la térmica aunque no igual a ésta, pues la bajante del día 26 de agosto es anterior a la de la floración, que llega a su mínimo con temperatura en ascenso y ya bastante elevada. Entre la segunda y la tercera moda de la curva B, por otra parte, el descenso térmico no baja hasta temperaturas que detengan el crecimiento (5°C), ni aumentan el número de horas de frío computables (7°C).

Se puede deducir de estas consideraciones, que las 3 modas de la curva B, como las 4 de la A, corresponden a grupos de variedades de modalidades fenológicas diferentes, con respecto al comienzo de la floración.

V) Con el fin de analizar el comportamiento de las distintas variedades se considerará la posición de cada una de ellas en las dos curvas.

Podemos considerar como de floración temprana a aquellas variedades que lo hicieron precozmente en los dos años, es decir, a las que están incluidos en la moda de cada una de las curvas. Se considerará del mismo modo como de floración tardía a las incluidas en la moda 4 de la curva A (1941/42) y en la 3 de B (1942/43).

No siendo semejantes las curvas, no se puede proceder con la misma seguridad con respecto a las variedades de floración intermedia. Las modas 2 y 3 de la curva A, no equivalen, evidentemente, a la 2 de la B y solamente las variedades incluidas en la moda 2 de B y a la vez en 2 ó en 3 de A, se pueden considerar de floración intermedia.

La moda 2 de la curva A está constituida en su mayor parte por variedades de la moda 1 en la curva B; esto indicaría que las modas 1 y 2 de la curva A tienen un valor semejante a la 1 de B.

Por esta razón, las variedades incluidas en A 2, pueden definirse como tempranas aunque de menor precocidad. Las que están incluidas en la moda A 1 y en las B 2 y B 3 serán objeto de un análisis especial más adelante.

Las variedades restantes presentan un comportamiento no bien definido y por esta razón en el presente estudio quedan como incógnitas para ser resueltas en estudios posteriores.

Las variedades quedan divididas pues, en 4 grupos respecto a la época de floración:

1º grupo: *Variedades de floración temprana.* — Está constituido por 2 conjuntos: las más precoces incluidas en la moda 1 de las 2 curvas y las de menor precocidad en A 2 y B 1.

2º grupo: *Variedades de floración intermedia.* — Está constituida por las incluidas en la moda 2 de ambas curvas y A 3 y B 2.

3º grupo: *Variedades de floración tardía.* — Son las incluidas en A 4 y B 3.

4º grupo: *Variedades no bien caracterizadas.* — Son las que tienen una posición relativa en las 2 curvas que no permite definir las por este método.

VI) En relación con la sensibilidad, ante la acción estimulante del frío invernal, algunas variedades se manifiestan como muy sensibles mientras otras parecen indiferentes.

La influencia que tienen la sensibilidad varietal ante la acción del frío invernal en grande, pues determina variaciones en el orden en que florecen las variedades. A este respecto se pueden clasificar en 3 grupos:



1º grupo: *Varietades indiferentes*. — Florecieron en fecha idéntica o muy próxima los dos años. Esta clasificación se hace considerando en antecedentes de LAMERTS (12) quien usa la variedad LUKENS HONEY casi insensiblemente a la falta del frío invernal, por lo cual florece siempre alrededor de una misma fecha, para clasificar las anomalías que, en las restantes, provoca la falta de frío invernal.

2º grupo: *Varietades de gran sensibilidad*. — Incluidas en las modas 4 de A y I de B.

3º grupo: *Varietades intermedias*. — Se clasifican en este grupo a las variedades restantes.

VII) Las variedades de floración temprana son las que tienen menor exigencia en frío y recíprocamente, las de floración tardía son las de mayor exigencia en frío.

Si comparamos el comportamiento de nuestras variedades de floración temprana, media y tardía con las citadas por CHANDLER y sus colaboradores (6), LAMERTS (12) y BROOKS and PHILIP (2) se advierte que coinciden con lo enunciado en el párrafo precedente.

CHANDLER y sus colaboradores al hacer mención de las variedades afectadas por la deficiencia en frío, citan como de poca exigencia a las que en nuestro caso se comportan como de floración temprana y de mucha exigencia a las nuestras de floración tardía.

LAMERTS (12) clasifica las variedades de duraznero, respecto a la falta de frío invernal comparándolas con la variedad LUKENS HONEY de fecha muy poco variable. Al hacer la comparación, asigna a cada variedad un índice o valor de comparación, tanto menor cuanto menor es su exigencia en frío. Así:

a Gold Mine	se le han asignado 4 puntos
» J. H. Hale	» » » » 4 »
» Elberta	» » » » 4 »
» Muir	» » » » 6 »
» Lowell	» » » » 6 »
» Early Crawford	» » » » 6 »
» Phillips Cling	» » » » 7 »
» George IV	» » » » 7 »
» Alexander	» » » » 7 »
» May Flower	» » » » 7 »
» Stanwick	» » » » 7 »

BROOKS, and PHILIP (2) en su clasificación de variedades, valorando la resistencia a la falta de frío en relación a la caída de yemas dividen a las variedades en 4 grupos o clases:

Clase I: (ninguna variedad es común con las nuestras).

» II: Elberta	corresponde a nuestras tempranas
» J. H. Hale	» » » » »
» Lowell	» » » » »
» New Boy	» » » » »
» Gold Mine	» » » » » de menor precocidad
» Stanwick	» » » » »
» III: Phillips Cling	» » » » »
» St. John	» » » » »
» Lady Palmerston	» » » » » medias
» Muir	» » » » »
» Palora	» » » » »

Clase IV: Amsden	» » » » tardías
» May Flower	» » » » »
» Triumph	» » » » » en 1942-43
» George IV	» » » » » 1942-43
» Alexander	» » » » » 1942-43
» Late Crawford	no coincide con esta clasificación.

El comportamiento de las variedades comunes, clasificadas de acuerdo al método de BROOKS y PHILIP, coinciden con la clasificación de este trabajo, salvo en el comportamiento de una de las variedades.

Podemos así llegar a la conclusión de que las variedades de floración temprana, media y tardía, pueden ser clasificadas como de poca, mediana y gran exigencia en frío, respectivamente.

c) DURACIÓN DE LA FLORACIÓN. — I) La duración de la floración fué más larga en 1941/42 que en 1942/43, según se analizó en el capítulo correspondiente.

La temperatura de este tiempo fué, sin embargo, más alta en 1941/42 que en 1942/43 tanto en los valores correspondientes a la media como a la máxima, siendo casi idéntica la mínima; los ascensos alcanzaron, por otra parte, valores más altos en 1941/42 y los descensos bajaron más en el mismo año.

La causa que prolongó la floración no fué, pues, la falta de temperatura durante el año 1941/42.

II) La duración de la floración en 1941/42 fué notablemente más prolongada en las variedades que florecieron primero que en las que lo hicieron al final; en 1942/43 todas las variedades tuvieron un comportamiento muy uniforme.

La floración, que normalmente es algo más prolongada en las variedades de floración precoz, exageró esa tendencia, de tal modo que las variedades que florecieron primero alargaron la fase en la forma que se analizó en el capítulo correspondiente. La temperatura 1941/42 fué algo más baja al principio de la floración que al final, pero es de advertir que aún en ese tiempo fué más elevada que la de 1942/43.

## VI.— CONCLUSIONES

1. Durante el año 1941/42, la floración del duraznero en Buenos Aires presentó anomalías cuya causa probable fué la falta de frío en el invierno que precedió dicha floración.

2. La floración del año 1941/42 comparada con la de 1942/43 que se puede considerar como una buena floración ofrece las siguientes anomalías:

a) La fecha de comienzo de floración se atrasa siendo las variedades de mayor exigencia en frío las que sufren este atraso en mayor grado.

b) La duración de la floración se prolonga; las variedades de menor exigencia en frío son las que sufren dicha prolongación en mayor grado.

c) La distinta exigencia en frío de las variedades consideradas determina modificaciones en el orden de la floración.

d) La falta de frío invernal disminuye en el duraznero la "energía de floración", como consecuencia de esto la acción de las temperaturas de primavera como estimulante de la floración pierde en importancia.



3. Hay variedades que parecen poco sensibles a la influencia del frío invernal en cuanto se refiere a la iniciación de la floración.

4. Las variedades de menor exigencia en frío son las primeras en florecer (variedades de floración temprana) y las de mayor exigencia en frío, las últimas en florecer (variedades de floración tardía).

5. Como una consecuencia práctica de este estudio y dadas las características térmico-climáticas del invierno de Buenos Aires, las variedades de más fácil adaptación en esta región deben ser las de poca exigencia en frío, es decir las de floración temprana.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

1. BLAKE, M. A. 1930. — « Length of the fruit development of the Elberta and some other varieties of peaches ». *New Jersey Agr. Exp. St. Bull.* 511.
2. BROOKS, REID M., and PHILIP, GUY L. 1941. — « Climate in relation to deciduous fruit production in California. I: Effect of the warm winter of 1940-41 on peach and nectarine varieties in N. California ». *Amer. Soc. for Hort. Sci. Proc.* 39 (1941) 190-194.
3. BURGOS, J. J., y LIEDESSA, N. R. 1942. — « Anomalías fenológicas en los árboles frutales durante el año 1939 ». *Rev. Arg. Agr.* 9 (1942), 295-309. Buenos Aires.
4. BURGOS, J. J. 1945. — « La influencia del invierno sobre los frutales de hojas caducas ». *Almanaque M. A. N.*, XVIII, pág. 345-348. Buenos Aires.
5. COVILLE, F. V. 1920. — « The influence of cold stimulating the growth of plants ». *Jour. Agr. Res.* XX (1920), pág. 151. Washington.
6. CHANDLER, W. H.; KIMBALL, M. H.; PHILIP, G. L.; TUFTS, W. F., and ELDON, G. F. 1937. — « Chilling requirements of opening buds in deciduous orchard trees and some other plants in California ». *Calif. Agr. Exp. Sta. Bull.* 611. Berkeley.
7. DIRECCIÓN DE METEOROLOGÍA, GEOFÍSICA E HIDROLOGÍA. — División Meteorología Agrícola. 1945. Servicio de Fenología. Instrucciones. Buenos Aires.
8. ELLENWOOD, C., and SHOEMAKER, J. J. 1935. — « Dependable fruits: varieties for commercial and some use ». *Ohio Agr. Exp. Sta. Bull.* 528. Ohio.
9. ESTRADA, MARIO. 1935. — « La foliación atrasada ». *Revista Mensual B. A. P.*, feb., pág. 9-11. Buenos Aires.
10. HAVLE, J., and GOURLEY, J. H. 1937. — « Peach production in Ohio ». *Agr. Exp. St. Bull.* 581. Ohio.
11. HEDRICK, U. P. 1915. — « The booming season of hardy fruit ». *New York Agr. Exp. Sta. Geneva Bull.* 107. Geneva.
12. LAMERTS, W. E. 1941. — « An evaluation of peach and nectarine varieties in terms of winter chilling requirements and breeding possibilities ». *Amer. Soc. for Hort. Sci. Proc.* 39 (1941), 205-211.
13. MAGNESS, J. R., and TRAUB, H. P. 1941. — « Climatic adaptation of fruit and nut crops ». *Climate and Man, Yearbook U. S. D. A.* 1941, pág. 400-416. Washington.
14. NIGHTINGALE, G. T., and BLAKE, M. A. 1934. — « Effect of temperature on the growth and metabolism of Elberta peach trees with notes on the growth responses of other varieties ». *N. Jersey Agr. Exp. Sta. Bull.* 567. N. Brunswick.
15. OVERHOLSER, E. L.; KENWORTHY, A. L., and BULLOCK, R. M. 1941. — « Peach growing in Washington ». *State Coll. of Washington Agr. Exp. Sta. Pop. Bull.* 1162. Washington.
16. PATERSON, D. D. I. 1939. — « Statistical technique in agricultural research ». Mc. Graw Hill Book Co. 263 pág. N. Y. and London.
17. YARNELL, S. A. 1939. — « Texas studies on the cold requirements of peaches ». *American Soc. Hort. Proc.* 27 (1939), 349-352. Geneva, N. York.
18. WELDON, G. P. 1934. — « Fifteen year studies of delayed foliation of deciduous fruits trees in S. California ». *California St. Dept. Agr. Month. Bull.* 23 (1934), 160-181.
19. WELDON, G. P., and LESLEY, J. W. 1935. — « The Babcock peach ». *California Agr. Exp. Sta. Cir.* 326.
20. YLLICHEWSKY, S. 1932. — « Sobre los métodos de las observaciones fenológicas ». *Acta Phaenologica*, T. I, p. 177. Wageningen.

## PRONOSTICO DE LAS CRECIENTES DEL RIO PARANA

Por JOSE MARIA RAFFO \*

Resumen. — En este trabajo se describe el método utilizado para formular el pronóstico de las crecientes del río Paraná, la anticipación con que se prepara este pronóstico y su aproximación.

Asimismo, se destaca la importancia de un pronóstico de esta naturaleza para la actividad económica y social de una extensa zona del sud de la provincia de Entre Ríos, gran parte del Delta del Paraná y determinadas regiones de las provincias de Corrientes y Santa Fe. Inclúyense también los principales datos de la cuenca imbrífera y de su régimen de escurrimiento.

Summary. — This work describes a method used for forecasting floods of the Paraná river with its height and approximate date.

The importance of this forecast is also described, as regards the economic activities and social aspect, in an extensive zone in the South of the Province of Entre Ríos, a large part of the Paraná Delta, as well as certain regions in the provinces of Corrientes and Santa Fe. The primary data relating to the basin of the Paraná and its run off have also been included.

## I. — INTRODUCCION

El pronóstico de las crecientes del Río Paraná tiene importancia fundamental para los pobladores de una extensa zona del sud de la provincia de Entre Ríos, del Delta del Paraná y parte de las provincias de Corrientes y Santa Fe.

Las zonas que se inundan en los periodos de creciente, y de un modo especial, el sud de la provincia de Entre Ríos, se encuentran en su mayor parte pobladas y con establecimientos ganaderos muy importantes, puesto que en las épocas de sequía o de deficiente precipitación, son campos que por la proximidad a que se encuentra la napa freática, siempre están en mejores condiciones que los del resto de la provincia de Entre Ríos.

En esa región, al producirse las crecientes del río Paraná, ocurren inundaciones que cubren los campos en forma parcial cuando no total, obligando a los pobladores a retirarse y sacar las haciendas, con el consiguiente perjuicio. En muchos casos las pérdidas sufridas por los pobladores, al no haber sido informados a tiempo, han representado centenares de millones de pesos.

Por la gran extensión que tiene la zona inundable, y las dificultades que se presentan al querer trasladar los animales a campos situados fuera de esa zona, es necesario que el pronóstico de la altura que alcanzarán las aguas en determinadas escalas hidrométricas, tomadas como referencia, se efectúe con la mayor anticipación posible. Además, las alturas pronosticadas deben ser muy aproximadas, porque dada la escasa pendiente que tiene el terreno en esa región, pocos centímetros de aumento de nivel de las aguas agrandan considerablemente la zona inundada.

La investigación matemática realizada hasta el presente para obtener

\* Agrimensor Nacional. 2º Jefe División de Hidrometeorología del S. M. N.



fórmulas que permitan calcular las alturas hidrométricas se ha basado en la ley hidrométrica, es decir, que la pronosticación se realiza en función de las alturas hidrométricas ocurridas aguas arriba. De este modo, la anticipación con que puede realizarse el pronóstico es lógicamente igual al tiempo que emplean las aguas en trasladarse de un lugar a otro, pero cuando se disponga de suficientes datos pluviométricos de la cuenta activa, se podrán deducir nuevas fórmulas que permitirán efectuar el pronóstico inmediatamente después de producidas las lluvias.

En el primer caso, el pronóstico de lo que ocurrirá en el curso inferior del Paraná, respecto del cual hay más interés, se efectúa con una anticipación de veinte a treinta días; en cambio, una vez determinada la ley udométrica, se podrán efectuar con una anticipación de dos a tres meses.

Las fórmulas que se dan más adelante son las que actualmente utiliza la División de Hidrometeorología de la Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional, para formular los pronósticos de crecientes. Cuando las alturas previstas indican que se han de producir inundaciones, se propalan dichos datos por medio de la prensa y las radio-difusoras.

## II. — GENERALIDADES

El Río Paraná, que por su longitud de más de cuatro mil kilómetros es el sexto en el mundo, y que por sus caudales, que varían entre 65.000 m<sup>3</sup>/seg. y 2.500 m<sup>3</sup>/seg., en sus grandes crecientes y estiajes, respectivamente, ocupa el tercer lugar también en el mundo, tiene una cuenca imbrífera de 2.600.000 km<sup>2</sup>, la cual se extiende aproximadamente desde el paralelo 14 hasta el 34 de latitud Sud y desde el meridiano 44° hasta el 68° de longitud Oeste.

Esta extensa zona, que abarca una gran parte de nuestro país, todo el Paraguay y parte del Brasil y Bolivia, está surcada en su mayor parte por una riquísima red hidrográfica.

Su verdadera cuenca activa se encuentra en la región de Matto Grosso y zonas adyacentes del Brasil y Paraguay donde se originan sus principales afluentes. Los ríos Grande y Parahíba que lo forman, el Paraná Panema, el Tieté, el Iguazú y el Paraguay, cada uno de los cuales tiene a su vez una extensa cuenca con numerosos ríos y arroyos muy caudalosos (ver Fig. 1).

## III. — REGIMEN DE ESCURRIMIENTO DEL RIO PARANA

Por su gran extensión de norte a sud, la cuenca del Río Paraná ofrece una gran variedad de climas, desde los típicamente tropicales, con grandes lluvias que pasan normalmente de los 3.000 milímetros anuales, hasta los de tipo semi-desértico del altiplano de Bolivia, donde parte de la precipitación es en forma de nieve.

Sus caudales dependen casi exclusivamente de las lluvias tropicales de la parte norte de la cuenca y de las subtropicales del sud del Brasil, Paraguay y del Territorio de Misiones de la República Argentina. El resto de su cuenca tiene muy poca influencia y prácticamente sus aportes se pierden en el inmenso caudal originado en su cuenca superior.

El análisis del gráfico de la Fig. 2, en el cual se da la curva media de variación anual de las alturas hidrométricas, demuestra que como

condición promedia del río Paraná tiene una máxima anual en el mes de febrero o marzo y una mínima en el mes de agosto o septiembre.

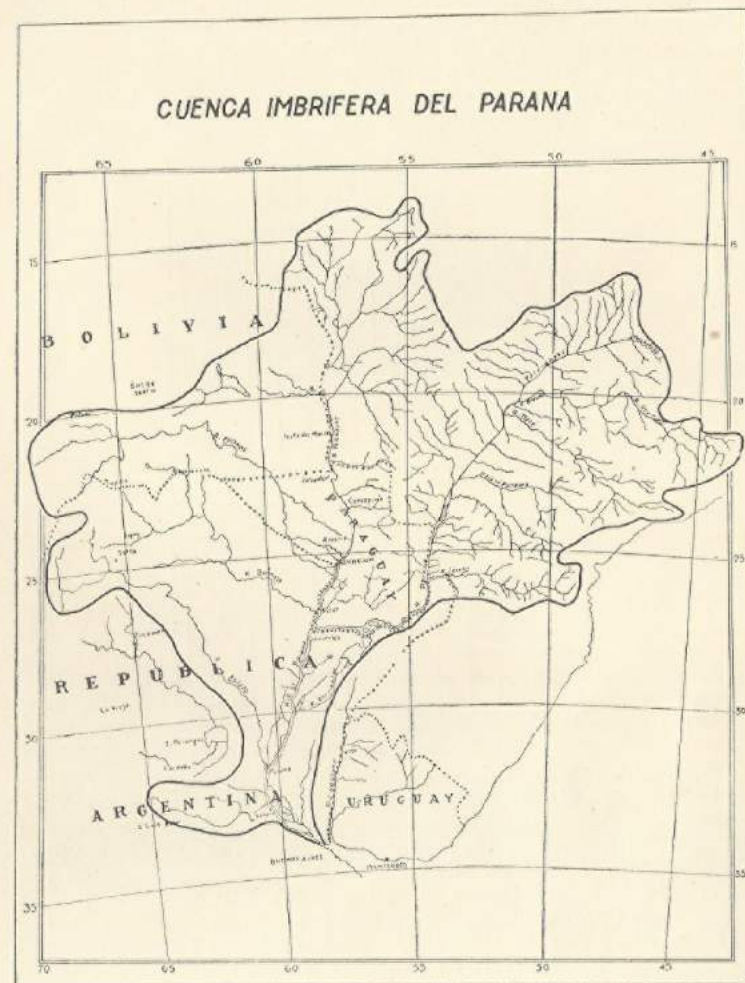


Fig. 1.

A partir de la mínima el nivel del agua aumenta debido a la influencia de las lluvias de septiembre en la zona subtropical y alcanza un máximo en el mes de octubre. En noviembre y diciembre las alturas permanecen más o menos estacionarias o creciendo lentamente, para aumentar después hasta febrero o marzo, que es cuando alcanzan el máxi-



mo del año. El incremento de diciembre a marzo se debe a las intensas lluvias tropicales. Luego descienden las aguas rápidamente hasta mayo, en cuyo mes y en el siguiente también permanecen más o menos estacionarias debido a que la disminución de las lluvias tropicales se compensa con el aumento de las subtropicales.

Estos datos corresponden a Puerto Iguazú, situado en el punto de contacto del río Paraná con el territorio argentino, o sea donde se unen Brasil, Paraguay y la Argentina.

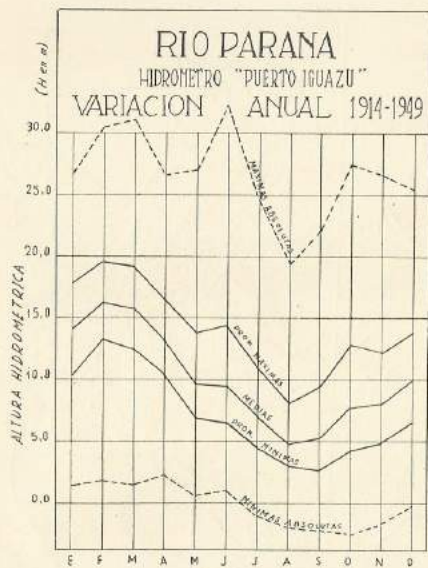


FIG. 2.

En Rosario, Fig. 3, o sea ya próximo a su desembocadura en el río de la Plata, se registra también la misma curva, con un máximo y un mínimo, pero desplazados en un mes, debido al tiempo que demoran las aguas en recorrer los 1506 kilómetros que median entre ambos puntos. También se nota un sensible aplanamiento de esta curva con respecto a la de Puerto Iguazú, el cual responde a la gran diferencia de las secciones transversales en uno y otro lugar.

La amplitud entre las alturas hidrométricas máxima y mínima absolutas en Puerto Iguazú, teniendo en cuenta la crecida extraordinaria del año 1905, es de 42,35 metros, mientras que en Rosario sólo llega a 7,48. La altura máxima alcanzada por la crecida del año 1905 en el primero de los puertos mencionados, ha sido calculada conforme a los valores registrados en Puerto Bertone, situado ocho kilómetros aguas abajo de Puerto Iguazú.

En los mismos gráficos se dan los promedios de las máximas y mínimas y las máximas y mínimas absolutas ocurridas durante todo el registro de observaciones.

El análisis detallado de tales registros demuestra que en promedio, se producen crecientes de importancia cada tres o cuatro años, y que, aun cuando la mayoría ocurre entre febrero y abril, ha habido crecientes, y por lo general las más importantes, en otros meses del año.

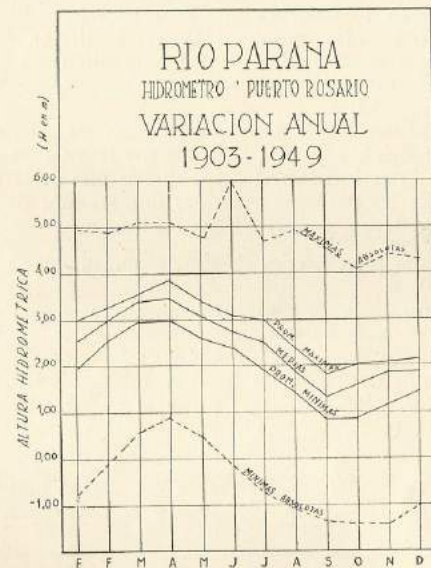


FIG. 3.

No es del caso, ni el espacio lo permitiría, hacer un detallado estudio del río Paraná, sino que sólo hemos querido dar una idea general de la importancia de su cuenca y de su régimen de escurrimiento antes de ocuparnos del pronóstico de sus crecientes.

#### IV. — PRONOSTICO DE LAS CRECIENTES

Las alturas que alcanzarán las aguas en los hidrómetros situados aguas abajo de una estación tomada como base, pueden pronosticarse conforme a los siguientes procedimientos.

- Por comparación directa de la onda de crecida considerada, con otras ocurridas anteriormente.
- Por medio de gráficos de regresión entre el hidrómetro tomado como base y aquellos para los cuales se pronostica.
- Utilizando fórmulas con las cuales la altura pronosticada se obtiene en función de todas las causas que se complementan para producirla.

En el primer caso, el análisis de las curvas comparativas que es necesario tener en cuenta, es engoroso y exige que el pronosticador posea mucha experiencia.



En el segundo caso, las rectas de regresión se obtienen por correlación total entre las series de datos de dos hidrómetros, de modo que tienen valor cuando las estaciones se encuentran muy próximas y no existen otras causas capaces de modificar esa relación.

En el caso del río Paraná no es aplicable para deducir, por ejemplo, lo que ocurrirá en Rosario, cuando se conoce la altura alcanzada en Puerto Iguazú o Posadas, porque a alturas iguales en los hidrómetros del curso superior, corresponden alturas muy diferentes en el curso inferior, o sea, que los errores que se cometerían empleando este método invalidarían el pronóstico.

En cambio, utilizando el método estadístico de correlación múltiple lineal pueden deducirse fórmulas en las cuales se tienen en cuenta todos los factores que intervienen en el desarrollo de una onda de creciente.

Del análisis de las crecientes ocurridas durante más de cuarenta años, se llegó a la conclusión de que dichos factores son:

a) La altura hidrométrica máxima alcanzada por las aguas en la escala inicial o base.

b) La altura hidrométrica que tenía el río al comienzo de la onda de creciente en la escala inicial.

c) El número de días de duración de la onda de creciente en la escala inicial, desde que comienza hasta su culminación.

d) La altura hidrométrica en distintas escalas, ubicadas en la parte del curso comprendida entre el punto inicial y aquel para el cual se efectúa el pronóstico.

Aplicando los métodos estadísticos de correlación múltiple rectilínea, se relacionaron los factores mencionados y se obtuvieron las siguientes fórmulas:

#### PUERTO IGUAZÚ-POSADAS:

Coefficiente de correlación múltiple  $R = 0,994$ .

Error standard de estimación  $\sigma$  y  $(AB) = 0,011$ .

$$Y = -0,083 + 0,766 A + 0,048 B.$$

$Y$  = Altura hidrométrica pronosticada en Posadas.

$A$  = Altura máxima en Puerto Iguazú.

$B$  = Altura en Posadas, en la fecha en que culmina la creciente en Puerto Iguazú.

#### POSADAS-PARANÁ:

Coefficiente de correlación múltiple  $R = 0,950$ .

Error standard de estimación  $\sigma$  y  $(ABCDEF) = 0,205$ .

$$Y = 0,777 - 0,006 A - 0,251 B + 0,216 C + 0,279 D - 0,107 E + 0,642 F.$$

$Y$  = Altura hidrométrica pronosticada en Paraná.

$A$  = Número de días de duración de la onda de creciente en Posadas.

$B$  = Altura hidrométrica en Posadas, al iniciarse la onda de creciente.

$C$  = Altura hidrométrica máxima de la creciente en Posadas.

$D$  = Altura en Corrientes, en la fecha en que culmina la creciente en Posadas.

$E$  = Altura en La Paz, en la fecha en que culmina la creciente en Posadas.

$F$  = Altura en Paraná, en la fecha en que culmina la creciente en Posadas.

#### POSADAS-CORRIENTES:

Coefficiente de correlación múltiple  $R = 0,983$ .

Error standard de estimación  $\sigma$  y  $(ABCDEF) = 0,173$ .

$$Y = 0,857 + 0,004 A + 0,017 B + 0,598 C + 0,049 D + 0,123 E - 0,353 F.$$

$A$  = Número de días de duración de la onda de creciente en Posadas.

$B$  = Altura hidrométrica en Posadas, al iniciarse la onda de creciente.

$C$  = Altura hidrométrica máxima de la creciente en Posadas.

$D$  = Altura en Itá-Ibaté, en la fecha en que culmina la creciente en Posadas.

$E$  = Altura en Asunción, en la fecha en que culmina la creciente en Posadas.

$F$  = Altura en Corrientes, en la fecha en que culmina la creciente en Posadas.

#### CORRIENTES-PARANÁ:

Coefficiente de correlación múltiple  $R = 0,957$ .

Error standard de estimación  $\sigma$  y  $(ABCDE) = 0,190$ .

$$Y = -0,241 - 0,008 A - 0,137 B + 0,128 C + 0,372 D + 0,727 E.$$

$A$  = Número de días de duración de la onda de creciente en Corrientes.

$B$  = Altura hidrométrica en Corrientes, al iniciarse la onda de creciente.

$C$  = Altura hidrométrica máxima de la creciente en Corrientes.

$D$  = Altura en La Paz, en la fecha en que culmina la creciente en Corrientes.

$E$  = Altura en Paraná, en la fecha en que culmina la creciente en Corrientes.

#### PARANÁ-ROSARIO:

Coefficiente de correlación múltiple  $R = 0,977$ .

Error standard de estimación  $\sigma$  y  $(A) = 0,268$ .

$$Y = 0,609 + 0,791 A.$$

$A$  = Altura máxima de la creciente en Paraná.

#### V. — ANTICIPACION CON QUE SE EFECTUA EL PRONOSTICO

Como el pronóstico se formula en base a una ley hidrométrica, el tiempo máximo con que se puede efectuar es lógicamente igual al que emplea la onda de creciente en trasladarse entre el punto inicial o base y aquel para el cual se pronostica.

En el caso del río Paraná, estos tiempos de traslación varían algo con el estado hidráulico del río, lo que debe tenerse en cuenta a los efectos de establecer las fechas en que se producirán las alturas hidrométricas pronosticadas.

Como condición media, estos tiempos son:

Puerto Iguazú-Posadas .....	1 día
Posadas-Corrientes .....	4 a 5 días
Posadas-Paraná .....	20 a 25 días
Posadas-Rosario .....	25 a 30 días
Paraná-Rosario .....	4 a 5 días



Agua abajo de Rosario es más difícil establecer el tiempo de traslación de la onda de creciente, y más aún, dar la altura precisa con que la creciente culminará, por la influencia que adquieren en esa zona las crecientes del río de la Plata. Tal influencia es tanto más notable cuanto más se aproxima a su desembocadura, de modo que en esa parte del curso la altura pronosticada es la media de varios días, o sea, la que corresponde a la curva suavizada.

#### VI. — CONCLUSIONES

En resumen, puede afirmarse que aun cuando la investigación del problema de la predicción de crecientes del río Paraná no está agotada e incluso falta todavía determinar la ley udométrica, las fórmulas obtenidas permiten calcular las alturas hidrométricas que alcanzarán las aguas en las distintas escalas de su curso, con un elevado porcentaje de seguridad.

En la parte inferior del curso del Paraná, que es donde mayor interés tiene el pronóstico, éste se puede preparar casi con un mes de anticipación y con un 80 a 90 % de seguridad de que el error no pasará de cinco centímetros en más o en menos.

Cuando puedan obtenerse suficientes datos de precipitación de la cuenca activa, se calcularán también, aplicando la estadística matemática, ecuaciones que permitirán formular el pronóstico con una anticipación de dos a tres meses.

### LA TEMPERATURA BIOLÓGICA ÓPTIMA

Por DEMETRIO BRAZOL \*

**Resumen.** — Después de analizar 15 definiciones de la temperatura biológica óptima para la raza humana, obtenidas de Argentina, Brasil, Uruguay, Paraguay, Inglaterra, Francia, Alemania, Rusia, Estados Unidos de N. América, España, Italia y Portugal, se demuestra que la sensación de bienestar climático es universal, y se determina por la entalpía del aire de 9.2 K.cal/kg, que puede expresarse como la temperatura húmeda de 13°8 C o una temperatura equivalente de 37°5 C.

**Summary.** — Confronting some 15 selected determinations of the ideal comfort temperature obtained from Argentine, Brazil, Uruguay, Paraguay, England, France, Germany, Russia, United States, Spain, Italy and Portugal, the universal character of the human climatic optimum may be established and is analytically expressed by the air enthalpy of 9.2 K.cal/kg corresponding to a wet-bulb temperature of 13°8 C or an equivalent temperature of 37°5 C.

En muchas actividades humanas es útil y hasta indispensable colocar al ser humano en condiciones climáticas óptimas. Estas condiciones son deseables y necesarias, en realidad, en todas las circunstancias de la vida, al trabajar y descansar, durmiendo y en estado de vigilia, siendo joven o viejo, sano o enfermo. Hay algunas circunstancias especiales, en que la falta de un clima óptimo puede perjudicar las actividades desarrolladas, al punto de hacer imposibles las tareas, tal como sucede, por ejemplo, en las salas de máquinas de los buques, en trabajos de minería, en los altos hornos, donde el calor es sofocante y hasta mortífero. Viene, luego, el frío, con su extensa gama de sensaciones glaciales que pueden también terminar en la muerte, de modo inesperado. Entran en esta categoría, como víctimas del frío, los heridos con hemorragias abundantes, los profundamente anestesiados, los niños lactantes, los ebrios y las personas hambrientas y cansadas.

Se conocen casos especialmente dolorosos de fallecimientos de criaturas recién nacidas, extremadamente sensibles al frío y al calor, por ser todavía casi poikilotermos, que se mueren por millares en todos los países, por no disfrutar en sus primeras semanas de vida de una temperatura óptima, ignorada por las madres y todavía desconocida para los médicos generales. En una sala de operaciones, todos los esfuerzos de un cirujano brillante terminan a veces en la muerte por pulmonía postoperatoria de otro "semi-poikilotermo", el paciente anestesiado, colocado en un ambiente, cuya temperatura es inferior al optimum biológico.

Un accidente de ferrocarriles o de subterráneo, debido a un mareo repentino del maquinista de locomotora o del motorman, puede provenir de una hipertermia ocasionada por alta temperatura de la caldera o del túnel subterráneo. Algunos estudiantes, con un sistema nervioso débil o irritado por cansancio acumulado, pueden fracasar en los exámenes, no obstante su buena preparación y a causa de alta temperatura bioló-

\* De la Dirección de Investigaciones Meteorológicas e Instrucción, del Servicio Meteorológico Nacional.



gica del ambiente. El frío de las habitaciones, no calentadas en invierno, paraliza el trabajo mental. En la guerra, los soldados se enferman o perecen por millares, a causa del frío o del calor. La temperatura biológica óptima es ansiada por todos y comprendida por pocos.

En nuestra época, tanto en invierno y mucho más todavía en verano, grandes contingentes humanos, parecidos a bandadas de aves migratorias, se trasladan en todas direcciones, buscando una temperatura óptima, produciéndose migraciones de muchedumbres imponentes, verdaderas evasiones biológicas, las que comprueban la importancia biológica, económica y social del factor meteorológico considerado. Millones de personas y grandes capitales se movilizan por el mismo, en cumplimiento de una ley biológica inexorable.

Dentro del organismo humano actúa un mecanismo fisiológico preciso como un reloj, aunque invisible, que es la homeotermia del ser mamífero de sangre caliente. La isotermita de la sangre es la condición imprescindible del bienestar climático, y sólo es perfecta cuando la temperatura biológica ambiental es óptima, encontrándose para el ser humano la máxima actividad de las células vegetativas entre las temperaturas internas cercanas a 40°C.

La temperatura biológica óptima para el hombre, debe permitir una temperatura central invariable de 37°C. Al alejarse la temperatura ambiental de la óptima, se dificulta la homeotermia, produciéndose en casos extremos la hipotermia o la hipertermia, con cambios importantes en la temperatura central, y apareciendo los fenómenos patológicos que pueden llevar a la muerte.

Existen casos y se conocen situaciones donde la temperatura biológica óptima debe ser conocida con absoluto rigor. Se podrá citar, como ejemplo, la determinación del metabolismo basal de una persona, examen biológico imprescindible para muchos enfermos y sanos, oficios y ocupaciones. El verdadero valor del metabolismo basal puede obtenerse únicamente cuando el sujeto se encuentra en su zona de termoneutralidad, donde el metabolismo de base coincide con la temperatura biológica óptima. De hecho, en los mejores institutos fisiológicos del mundo entero, este índice fisiológico, se determina con temperaturas alejadas de la óptima, según consta en algunos registros en poder del autor. De este modo, aun los especialistas eminentes corren el riesgo de entregar al examinado una ficha de metabolismo errónea, establecida para un sujeto que se encontraba en una leve o en considerable hipertermia o hipotermia, y no en estado indispensable de homeotermia y homergia perfectas. Podrían multiplicarse tales ejemplos en varios dominios de la ciencia y de la vida común.

Se publican en este estudio los materiales de investigación relacionados con la temperatura biológica óptima, problema viejo humano y siempre nuevo en su enunciación. No hay todavía unidad de criterio, aunque no faltaron ni esfuerzos ni buenas voluntades, en testimonio de lo cual encontramos en la ciencia meteorológica, dentro de su capítulo de bioclimatología humana, métodos e índices tan heterogéneos como la temperatura de la piel, temperatura sensible, sensitiva, húmeda, equivalente, efectiva, resultante, el poder refrigerante del aire y otros índices más, acompañados de escalas climáticas numerosas y muchas veces contradictorias.

Figuran en el presente estudio las definiciones más conocidas y más seguras, las obtenidas en la Argentina y en otros países. En un trabajo anterior del autor (\*), se dió una definición meteorológica, termodinámica y fisiológica de la temperatura biológica óptima, basada en la entalpía del aire.

En este nuevo trabajo se agregan definiciones ampliadas y suplementarias, las que parecen confirmar los resultados previamente obtenidos en la República Argentina (\*\*).

Para poder asegurar una base firme de juicio crítico y como medida de precaución necesaria en un problema bioclimático tan trascendental, fueron reunidos y cotejados testimonios provenientes de distintos países y de varios otros autores, bien versados en la materia, algunos de ellos mundialmente conocidos y otros que se destacaron por su especialización o competencia indiscutible.

A continuación se reproducen los cómputos y definiciones agrupados por países de procedencia o por zonas geográficas, con indicación de autores en cada caso. Cada definición está acompañada por una breve nota del autor.

#### 1. - TEMPERATURA BIOLÓGICA DE LA TIERRA (AMBOS HEMISERIOS) DETERMINADA POR D. BRAZOL (1950).

	Hemisferio Norte			Hemisferio Sur			Toda la Tierra		
	Enero	Julio	Año	Enero	Julio	Año	Enero	Julio	Año
Temperatura del aire °C .....	8.0	22.5	15.2	17.3	10.3	13.4	12.6	16.4	14.3
Humedad absoluta gr/m <sup>3</sup> .....	8.2	13.7	10.7	12.9	11.5	11.6	9.6	13.5	11.2
Temperatura equivalente °C .....	24.4	49.9	36.6	43.1	33.3	36.6	31.8	45.0	36.6
Entalpía del aire k.cal/kg .....	5.9	12.3	9.0	10.7	8.1	9.0	7.8	10.7	9.0

Nota: Los valores de la temperatura del aire son los calculados por el profesor J. HANN y la humedad absoluta, por el Dr. SVENT ARRHENIUS (\*). Todos los demás cálculos son del autor. Los resultados obtenidos son importantes, demostrándose que la biosfera terrestre se caracteriza por una TE de unos 37°C, correspondiente a la entalpía del aire igual a 9 k.cal/kg, siendo este último valor el índice térmico óptimo para la raza humana.

La temperatura biológica planetaria indica las normas del bienestar climático individual. Así las temperaturas planetarias del invierno y del verano corresponden al bienestar humano individual durante las mismas estaciones, y la temperatura planetaria anual corresponde al bienestar máximo, en cualquier estación.

Esta ley bioclimática, aquí formulada, demuestra la superioridad biológica de la especie humana, especialmente adaptada a las condiciones atmosféricas medias de nuestro planeta.

#### ARGENTINA

#### 2. - BIENESTAR CLIMÁTICO UNIVERSAL DETERMINADO POR EL DR. W. KNOCH *Jefe de Climatología del Servicio Meteorológico Nacional* (1941).

Estado atmosférico confortable, con tendencia al fresco:

TE 25.°1C a TE 40.°0C.



Estado atmosférico confortable, con tendencia a cálido:

TE 40.°1C a TE 50.°0C

Nota: El bienestar máximo es igual a  $\frac{TE\ 25^\circ + TE\ 50^\circ}{2} = TE\ 37.5^\circ C =$  temperatura húmeda 13°8 C = 9.2 k.cal/kg (entalpía).

3. - BIENESTAR CLIMÁTICO UNIVERSAL DETERMINADO POR D. BRAZOL (1949).

Sensación climática	Temperatura húmeda (°C)	Temperatura equivalente (°C)	Entalpía del aire (k.cal/kg)
Bienestar en verano .....	14°8-16.6	40-45	10 -11
"  máximo .....	12.8-14.8	35-40	8.5-10
"  en verano .....	10.8-12.8	30-35	7.5- 8.5

Nota: El bienestar climático máximo se determina por la temperatura húmeda = 13°8 C = TE 37.5 C = 9.2 k.cal/kg (entalpía).

#### URUGUAY

4. - BIENESTAR CLIMÁTICO DETERMINADO POR JOSÉ M. BERGEOIRO (MONTEVIDEO), Jefe de Bioclimatología General del Servicio Meteorológico del Uruguay (1947-1948).

	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Año
Temperatura del aire (°C) .....	19.4	17.7	14.0	14.9	16.5
Humedad relativa (%) .....	72	76	78	70	74
Temperatura equivalente (°C) .....	44	40	33	33	37.5
Entalpía del aire (k.cal/kg) .....	11.0	9.8	8.0	8.0	9.2

Nota: Valores calculados por el autor, de acuerdo con las observaciones y cómputos originales de J. M. BERGEOIRO (1). La temperatura biológica anual corresponde al máximo bienestar climático.

#### PARAGUAY

5. - BIENESTAR CLIMÁTICO DETERMINADO POR D. BRAZOL (1949).

Se dice en la Enciclopedia Universal Espasa, Tomo XLI, artículo "Paraguay": "La región oriental (del Paraguay), por su posición geográfica, pertenece a la zona templada y tórrida, y goza de un clima suave y saludable, hasta el punto de que la ASUNCIÓN, de algún tiempo a esta parte, es, en invierno, lugar de cita obligatorio para viajeros y familias comodadas de las capitales vecinas, que afluyen atraídas por su dulce temperatura".

Calculando la temperatura biológica se obtiene:

	Junio	Julio	Agosto	Observaciones
Temperatura equivalente (°C) ....	40.0	41.2	41.7	Invierno en Asunción (Paraguay).
Entalpía del aire (k.cal/kg) .....	9.8	10.1	10.3	

Nota: De acuerdo con la escala termodinámica, el invierno de Asunción se caracteriza por el bienestar climático correspondiente al verano universal, y próximo a la zona de bienestar máximo.

#### BRASIL

6. - BIENESTAR CLIMÁTICO DETERMINADO POR EL DR. H. MORIZE, Jefe del Servicio Meteorológico del Brasil (1922).

Decía el Dr. Henrique Morize en su trabajo "Clima de Brasil" (?): "Curityba y Caxias han sido los principales núcleos de la inmigración germánica, italiana y polaca en el Brasil, habiendo encontrado esas razas condiciones (climáticas) favorabilísimas, sin ninguna necesidad de aclimatación".

Curityba (Paraná). — 8 meses de bienestar climático, variando en estos meses la temperatura húmeda desde 10°8C (Junio) a 15°8C (Noviembre), y la entalpía del aire desde 7.4 k. cal/kg hasta 10.6 k.cal/kg.

Temperatura anual húmeda = 14°5C = TE 39°C = 9.7 k. cal/kg. (entalpía). Este valor es muy próximo al bienestar máximo.

Caxias (Rio Grande do Sul). — 8 meses de bienestar climático, variando en estos meses la temperatura húmeda desde 10°9C (Julio) hasta 16°5C (Marzo y Diciembre), y la entalpía desde 7.5 k. cal/kg. hasta 11.0 k. cal/kg.

Temperatura anual húmeda = 14°0C = TE 38°C = 9.3 k.cal/kg. (entalpía), valores coincidentes con el bienestar máximo.

Nota: Son valores bioclimáticos calculados por el autor, de acuerdo con los datos meteorológicos del Dr. MORIZE. Apreciando el estado de gran bienestar climático, la inmigración europea ha afluido a las regiones examinadas. En Caxias se formó últimamente un gran centro de vitivinicultura, industria íntimamente dependiente de un clima de bienestar.

#### INGLATERRA

7. - BIENESTAR CLIMÁTICO MÁXIMO DETERMINADO POR EL PROFESOR SIR D. BRUNT (1943).

La temperatura óptima (seca) = 19°4C

Nota: Con humedad relativa igual a 50 %, se obtiene

TE = 36°0 C = 8.7 k.cal/kg (entalpía)

8. - BIENESTAR CLIMÁTICO MÁXIMO DETERMINADO POR EL DR. LEONARDO HILL.

El bienestar climático máximo se expresa por la temperatura húmeda = 13°3C.

Nota: Corresponde a TE = 36°3 C = 8.9 k.cal/kg (entalpía).

#### FRANCIA

9. - BIENESTAR CLIMÁTICO DETERMINADO POR LOUIS BESSON, Jefe del Servicio Meteorológico de la Ciudad de París (Servicios Técnicos de Higiene).

Maximum de bienestar en un aire en calma, para un hombre ligeramente vestido.

Temperatura seca del aire = 37°5C. Humedad relativa = 0 %.

Temperatura seca del aire = 14°0C. Humedad relativa = 100 %.

Nota: Corresponde a temperaturas equivalentes:

TE = 37.5° C = 9.2 k.cal/kg

TE = 38° C = 9.3 k.cal/kg

Ambos valores corresponden al máximo bienestar humano.



10. - BIENESTAR CLIMÁTICO DETERMINADO POR ANDRÉ MISSEN-ARD, *experto en aire acondicionado* (1946).

Norma para los climas artificiales (<sup>o</sup>): Temperatura seca a 18°-19°C. Humedad relativa de 40 % a 60 %.

*Nota:* Con la temperatura seca de 18°C se obtiene:

Con H. R. = 40 % ..... TE = 31°C = 7.6 k.cal/kg (entalpía)

Con H. R. = 60 % ..... TE = 37°C = 9.2 k.cal/kg (entalpía)

El segundo valor corresponde al máximo bienestar del ser humano; ambos valores están dentro de la zona universal de bienestar.

#### ALEMANIA

11. - BIENESTAR CLIMÁTICO DETERMINADO POR C. H. PRÖTT, *experto en aire acondicionado* (1911-1913).

La temperatura óptima es igual a 37°5 Prött.

*Nota:* Corresponde a TE = 37°C = Temperatura húmeda = 15°C = 9.2 k.cal/kg (entalpía).

Es el valor del máximo bienestar humano.

12. - BIENESTAR CLIMÁTICO DETERMINADO POR EL DR. E. BREZINA y W. SCHMIDT (1937).

Se determina por temperatura efectiva de 17°C y la H. R. = 40 % y  $t' = 13^{\circ}\text{C}$ .

La temperatura húmeda de 13°C = TE 35°C = 8.7 k.cal/kg (entalpía).

Es un valor que se aproxima al bienestar máximo.

#### RUSIA

13. - BIENESTAR CLIMÁTICO DETERMINADO POR EL DR. N. N. KALITIN (1935).

La temperatura óptima del aire es igual a 20°C, y la humedad relativa puede variar de 30 % a 60 %.

*Nota:* Con  $t^{\circ} = 20^{\circ}\text{C}$  y H. R. = 30 % se obtiene TE = 30°C = 7.5 k.cal/kg (entalpía).

Con  $t = 20^{\circ}\text{C}$  y H. R. = 60 % se obtiene TE 41°C = 10.1 k.cal/kg (entalpía).

El promedio es TE 35°C = 8.75 k.cal/kg (entalpía).

Todos estos valores están dentro de la zona universal de bienestar, y el valor medio es próximo al bienestar climático máximo.

#### CLIMA MEDITERRANEO

14. - BIENESTAR CLIMÁTICO DETERMINADO POR D. BRAZOL (1949).

Condiciones climáticas óptimas correspondientes a la gran civilización greco-latina, determinadas en ciudades renombradas por su clima privilegiado (clima de Rivieras), incluyendo:

Málaga (España), Palma de Mallorca (Islas Baleares), Lisboa (Portugal), Nápoles (Italia), Palermo (Sicilia), Messina (Sicilia). Se ha incluido también en este conjunto San Diego de California, célebre por su clima suave.

	Enero	Mayo	Agosto	Octubre	Año
Temperatura seca del aire (°C) .....	10.8	17.8	24.2	18.5	17.1
Humedad relativa (%) .....	71	67	64	70	68
Temperatura húmeda (°C) .....	8.4	14.5	19.7	15.3	13.8
Temperatura equivalente (°C) .....	25	39	55	42	37.5
Entalpía del aire (k.cal/kg) .....	6.2	9.6	13.5	10.3	9.2

*Nota:* La temperatura biológica anual del conjunto corresponde al bienestar climático máximo de la raza humana, caracterizado por una temperatura húmeda = 13°C = TE 37°C = 9.2 k.cal/kg (entalpía).

#### ESTADOS UNIDOS DE NORTE AMERICA

15. - BIENESTAR CLIMÁTICO DETERMINADO POR E. HUNTINGTON (1935).

El geógrafo norteamericano E. HUNTINGTON, utilizando un gran caudal de datos estadísticos recopilados por institutos privados y oficiales, que se referían a 9.000.000 de fallecimientos, estableció que las condiciones climáticas óptimas, durante el día, corresponden a una temperatura media (seca) igual a 20°C y a una H. R. = 60 %. Durante la noche, la temperatura óptima es igual a 15°C siendo el promedio de las 24 horas igual a 17°C.

*Nota:* Corresponde a la temperatura diurna TE 41°C. Admitiendo para la noche una H. R. = 80 %, obtenemos la temperatura nocturna TE 36°C. Con una humedad media de 70 %, se obtiene TE 38°C = temperatura húmeda 14°C = 9.4 k.cal/kg (entalpía). Todos estos valores son muy cercanos al bienestar climático máximo.

Se han examinado en este trabajo las quince definiciones de la temperatura biológica óptima obtenidas desde los principales países del mundo, entre ellos Argentina, Brasil, Uruguay, Paraguay, Inglaterra, Francia, Alemania, Rusia y Estados Unidos de Norte América. También fueron estudiados dos grandes conjuntos bioclimáticos: uno que describe el clima Mediterráneo (España, Italia, Portugal) y un otro, el vasto complejo planetario que corresponde a toda nuestra Tierra.

Comparando los datos aquí incluidos, nos convencemos de que la sensación del bienestar climático es universal y se determina por la entalpía del aire. Tenemos derecho de creer que la *temperatura biológica óptima* se define por una entalpía de 9.2 k cal/kg. Su expresión más accesible y usada sería una temperatura equivalente TE = 37°C o una temperatura húmeda  $t' = 13^{\circ}\text{C}$ . Cabe decir que los caracteres comunes o idénticos, los que hemos podido encontrar en tan grandes extensiones, con climas absolutamente distintos, obedecen a la gran ley fisiológica de homeotermia universal y única para todos los pueblos de la Tierra.

No hemos buscado datos climáticos a través del mundo; hemos buscado y creemos haber encontrado la definición bioclimática de la homeotermia, porque la temperatura biológica óptima es condición indispensable de homeotermia, y esta última, cuando es perfecta, indica una temperatura biológica óptima. La sensación del bienestar climático es signo de homeotermia.

Se podrá agregar todavía que la uniformidad y la buena concordancia de datos aquí presentados fué posible únicamente después de introducir



en los cálculos el concepto termodinámico de la entalpía del aire, la que se perfila como un denominador común para unificar y dar un sentido real a definiciones aparentemente dispersas, confusas y heterogéneas.

Con base de la entalpía del aire, podemos definir la temperatura biológica óptima de las atmósferas externas e internas, sin contradecirnos y con la posibilidad de llegar a un grado de seguridad muy razonable.

El estudio termodinámico de la temperatura biológica nos introduce en la futura climatología termodinámica y sinóptica, destinada a reemplazar paulatinamente a la anticuada climatología descriptiva y estadística del siglo XIX.

#### BIBLIOGRAFÍA CITADA

1. BERGEIRO, J. M. — « Dos años de observaciones sobre concepto biotérmico ». *Revista Meteorológica*, N° 51, octubre 1949. Montevideo.
2. BRAZOL, D. — « El Climograma Termodinámico ». Círculo de Aeronáutica. Buenos Aires, 1949.
3. HANN, J., y SÜRING, R. — « Lehrbuch der Meteorologie ». Leipzig, 1926.
4. HUNTINGTON, E. — « Civilization and Climate ». New York, 1935.
5. KNOCHE, W. — « Clima decimal ». *Notas del Museo de la Univ. Nac. de La Plata*, 1941.
6. MISSENERD, A. — « La Chaleur Animale ». París, 1946.
7. MORIZE, H. — « Contribução ao Estudo do Clima do Brasil ». Río de Janeiro, 1922.

## ARTICULOS BREVES

### Apunte sísmico del noroeste de la Provincia de la Rioja

Por RAIMUNDO CELESTE \*

El Bolsón de Jagüé, en el Noroeste de la Provincia de La Rioja, se halla comprendido dentro de lo que geológicamente denominamos fosa tectónica.

Las fracturas que delimitan por el oeste el Bolsón son claras y corren a lo largo de las sierras de Potrerillos, Morteritos, Ingrato y Punta Negra, en sus bordes orientales. En cambio, las márgenes orientales del Bolsón han sido determinadas por bloques del Terciario, que probablemente por un juego de fallas han quedado buzando uniformemente hacia el Este.

La prolongación occidental del Bolsón queda delimitada al naciente por la fractura descrita anteriormente y al poniente por otra gran fractura que pasa al Este de la Sierra de Punta de Agua.

El 13 de abril de 1899 los pueblos de Jagüé, Vinchina y Villa Castelli fueron destruidos por un violento sismo de corta duración. Las réplicas continuaron haciéndose sentir durante un largo tiempo, hasta fines del citado año, aproximadamente.

En abril de 1932, tembló nuevamente la zona, ocasionando el sismo algunos daños y observándose, al igual que en 1899, grandes grietas, algunas de ellas circulares.

Es interesante que el centro del foco sísmico fuera ubicado por los pobladores "a unas 5 leguas de Jagüé y a 10 de Vinchina". Efectivamente, los sismos locales, son con toda probabilidad, debidos a la reactivación de la gran falla que delimita el borde occidental del Bolsón de Jagüé.

Esta gran falla de rumbo Norte-Sur, posible de reconocer a lo largo de 60 Km, está acompañada por lo menos por cuatro fallas bien claras y por lo tanto determinables, también de rumbo Norte-Sur y que forman ángulos agudísimos con el rumbo general de la región.

Con toda seguridad, el aspecto con que se presentan estas fracturas recuerda el tipo de fallas en galería o fallas "en echelon" de los autores norteamericanos.

El Bolsón de Jagüé ha sido con toda probabilidad rellenado por sedimentos del Plioceno, provenientes de las sierras que lo circundan al Oeste.

El desequilibrio producido entre la parte de sierra erosionada y la parte sedimentada, ha concluido con la rotura que se observa actualmente. Al

\* Doctor en Ciencias Naturales, Jefe de la Sección Sismología del Servicio Meteorológico-Nacional.



producirse la fractura, la elasticidad de las rocas provoca naturalmente un descenso del bloque donde se han acumulado los sedimentos y un ascenso del bloque que ha sufrido la erosión continua. De esta suerte la sierra se ha levantado y el bloque de sedimentación se ha hundido, posiblemente no más que algunos metros, lo suficiente empero para que vuelva a realizarse el proceso antedicho, nueva erosión de la sierra y nueva deposición de material arenoso en la fosa de sedimentación, llegándose así a un nuevo estado de desequilibrio, lo cual se soluciona con un nuevo terremoto originado por las ondas elásticas emanadas del frotamiento producido al desplazarse verticalmente los bloques.

Esta gran falla impresionada como la prolongación de algunas viejas líneas de fractura del basamento cristalino, por lo que no sería de extrañar que los bloques en juego sufrieran también algún desplazamiento horizontal.

#### Frecuencia de series de días de visibilidad horizontal de 10 kilómetros o más en el Observatorio de las Islas Orcadas 1932

Por BRUNO COLLASIUS \*

La visibilidad horizontal en las Orcadas del Sud es un factor meteorológico muy importante, quizás el más importante para el marino, que tiene que conducir su barca a una de las bahías en la Isla Laurie para el relevo del personal del Observatorio allí instalado. La navegación en las cercanías del archipiélago se hace muy difícil sin buena visibilidad, debido a témpanos flotantes o varados e islotes, que rodean las entradas a las bahías fondeaderas. A pesar de los medios auxiliares de la técnica moderna no arriesgará ningún comandante una recalada en las bahías sin buena visibilidad, por lo que me he propuesto en esta breve nota dar un ejemplo sobre las leyes de probabilidad de la frecuencia de series de días de buena visibilidad, comparándola con la verdaderamente habida.

Durante el año 1932, quiere decir entre  $N = 366$  días, hubo los siguientes números  $a'_n$  de series de  $n$  días seguidos de visibilidad horizontal de 10 kilómetros o más:

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	> 10
$a'_n$	19	13	10	7	6	4	2	3	1	—	2

El total de días de visibilidad de 10 Km o más fué de 228.  
La correspondiente probabilidad es

$$p = \frac{228}{366} \text{ y } q = 1 - p = \frac{138}{366}$$

Los números a esperarse de una serie de  $n$  días seguidos en una distribución completamente casual son  $a_n = p^n \cdot q^2 \cdot N$ , siendo el error medio  $\alpha_n = \sqrt{a_n}$ .

\* Jefe Sección Geomagnetismo, División Geofísica, Servicio Meteorológico Nacional.

Los siguientes valores calculados con esta fórmula:

$n$	=	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$a_n$	=	32	20	12	8	5	3	2	1	0,7	0,5
$\alpha_n$	=	6	4	3	3	2	2	1	1	1	
$\frac{a_n}{\alpha_n}$	=	1,7	1,5	1,2	1,1	0,8	0,7	1,0	0,3	0,7	

demuestran, que hasta  $n = 4$  el cálculo de probabilidad supera a las series efectivamente habidas, mientras de  $n = 5$  en adelante hubo más series (para  $n = 7$  iguales) de lo que podía esperarse según el cálculo, lo que hace suponer, que las condiciones atmosféricas reinantes tienen cierta tendencia de conservación.

Naturalmente un año es poco material para esta clase de estadística, por lo que considero de interés realizar este mismo trabajo con las observaciones existentes de todos los años.



## CRÓNICA

## 78° Aniversario del Servicio Meteorológico Nacional

El cuatro de octubre último se cumplieron setenta y ocho años de la creación del organismo que hoy se denomina Servicio Meteorológico Nacional y que con jerarquía de Dirección General funciona dependiente del Ministerio de Asuntos Técnicos. Con tal motivo reunió el personal en una de las salas del establecimiento para oír la palabra del Director de Investigaciones Meteorológicas e Instrucción, Dr. Martín S. Cappelletti, designado al efecto por el Director General, Cap. de Fragata (R.) Carlos Núñez Monasterio. El disertante evocó el aniversario dando a conocer la breve síntesis de un trabajo que tiene actualmente en preparación, titulado "Fechas significativas en el itinerario del S. M. N.". Al referirse a la marcha cronológica del Servicio, dijo:

## LA INICIACIÓN

Al llegar a nuestro país en 1870 el astrónomo norteamericano Dr. Benjamín A. Gould, contratado por el gobierno de Sarmiento para establecer un observatorio astronómico en Córdoba con destino al estudio del cielo austral, no dejó de manifestar sorpresa al confirmarse que no se tomaban aquí oficialmente datos meteorológicos y que por lo tanto nada se hacía en favor de la ciencia de la atmósfera, ya relativamente adelantada en otros países.

Indagando supo Gould que sólo cuatro personas, dos de ellas residentes en Buenos Aires, una en Mendoza y la otra en Bahía Blanca, habían efectuado observaciones serias durante algunos años, movidas por una afición individual. Uno de ellos, don Manuel Eguía, había efectuado observaciones meteorológicas en Buenos Aires en ininterrumpida serie que abarcaba casi veinte años (1856-1875), con la que podía tenerse un cuadro bastante completo del clima de la Capital Federal.

El astrónomo Gould se creyó en el deber moral de aprovechar su estadía para iniciar un cambio en el panorama, y al efecto expresó al entonces ministro de Gobierno de Sarmiento, doctor Nicolás Avellaneda, que no sólo había reflexionado acerca de la importancia que tendría la organización de un sistema de observaciones meteorológicas que incluyera puntos adecuados

del territorio nacional, sino que la red no insumiría mayores gastos, y que él en persona se ofrecía para orientar la organización no obstante el escaso tiempo que podría dejarle el observatorio astronómico.

Luego de un cambio de ideas con el ministro Avellaneda resolvió elevarle un informe (mayo de 1871) en el que expresaba que « existía otra manera de utilizar las fuerzas del Observatorio Astronómico, consistente en la organización y mantenimiento de un sistema de observaciones meteorológicas coordinadas, mediante las cuales se pondrían de manifiesto las características climáticas y leyes atmosféricas que dominan las regiones del territorio nacional, y que serían del mayor valor técnico y práctico ».

Proponía que el personal de los colegios nacionales, de las escuelas normales y demás institutos educacionales diseminados en el territorio de la República atendiera las observaciones meteorológicas, dado que él mismo había auscultado ya el ambiente y averiguado el buen número de personas cultas que estaban dispuestas a colaborar en tal sentido. Sabía, además, que muchos hombres de cierta preparación, inclinados hacia las disciplinas científicas, aceptarían como un honor el que se les confiara la observación meteorológica.

Al año siguiente, el 15 de marzo de 1872, Gould enviaba un nuevo informe al ministro, en el que expresaba que la investi-

gación astronómica exigía a menudo el conocimiento de datos sólo revelables por el termómetro y el barómetro, a fin de determinar la influencia de la refracción atmosférica, capaz de afectar sensiblemente la verdadera posición de las estrellas. Además, se permitía anticipar que los trabajos topográficos y geodésicos que el país iba a emprender requerirían necesariamente los datos meteorológicos aludidos.

Insistía en destacar que el conocimiento climatérico del país tendría no solamente alto valor científico sino que incluso gran importancia económica, y se permitía adelantar que ya había preparado instrucciones sobre la manera de efectuar las observaciones, redactadas en lenguaje sencillo e ilustradas con ejemplos muy claros, con vistas a lograr que cualquier persona medianamente culta pudiera desempeñarse con eficacia y placer en la medición de los elementos que observara.

Su método se fundaba en el principio de que son preferibles las observaciones más sencillas y en menor número, continuadas con perseverancia y escrupulosidad, que otras más elaboradas y abundantes, las cuales, por la dificultad que ofrecen, están más expuestas a ser descuidadas.

Para Gould todo se concretaría si se dispusiera de una pequeña suma de dinero destinada a compra del instrumental, con el cual se equiparían los puestos de observación.

En la oportunidad y fuerza de su argumentación se basó el ministro Avellaneda para interesar al primer magistrado, y para que, en nota dirigida al Honorable Congreso de la Nación, el 18 de agosto de 1872, el gobierno de Sarmiento presentara el proyecto de ley creando la Oficina Meteorológica Argentina, encareciendo el pleno interés del cuerpo legislativo. El proyecto fué convertido en ley de la Nación el día 4 de octubre de 1872, fecha a partir de la cual el hoy Servicio Meteorológico Nacional se inició en la vida del país, y en la que, bajo distintas denominaciones pero siempre con idéntica finalidad y espíritu, lleva cumplidos 78 años.

## FUENTES LEGALES

Es interesante destacar algunos párrafos de la exposición de motivos con que el presidente Sarmiento apoyaba su proyecto de ley: « El Poder Ejecutivo ha creído que debía acoger las indicaciones que le ha hecho el director del Observatorio Astronómico Nacional, en el interés de establecer una serie de observaciones meteorológicas que nos dará el conocimiento climatérico de toda la República, y, por consiguiente, los datos más claros para la mejor dirección económica de nuestra agricultura. Prensa, además, que es inútil enca-

recer ante la ilustración de V. H. la importancia técnica y práctica, científica y económica de estos estudios, que se relacionan, además, con intereses valiosos y visibles. La plantación de un sistema de observaciones meteorológicas aumentará la utilidad del Observatorio y de los Establecimientos de Enseñanza, haciéndoles reunir los materiales de una estadística de los fenómenos atmosféricos del país. Para que los resultados sean, desde luego, prácticos, se ha estimado conveniente emplear pocos y sencillos instrumentos, de fácil arreglo. No faltan en las provincias profesores y algunos hombres inclinados a las ciencias, que han manifestado espontáneamente al director del Observatorio Nacional el deseo de practicar con regularidad las observaciones que se les encomiendan, y su número ha de aumentar al paso que el espíritu de observación y la afición a las investigaciones científicas se desenvuelvan en el país ».

Por su parte, la ley de creación de la Oficina Meteorológica Argentina establece: « Créase la Oficina Meteorológica Argentina. Esta Oficina tendrá por objeto hacer ejecutar convenientemente observaciones meteorológicas y elaborar sus resultados para su eventual publicación. El Director del Observatorio Astronómico lo será también, por ahora, de la referida Oficina, y sus servicios serán gratuitos. Se nombrará un secretario para los trabajos de cálculo y arreglo de las observaciones con un sueldo de 150 pesos mensuales. Se autoriza al Poder Ejecutivo para invertir hasta la cantidad de 6.500 pesos para la adquisición de aparatos meteorológicos, su conducción y emplazamiento ».

## MODESTIA Y EFICIENCIA

Vino a la existencia, pues, el hoy denominado Servicio Meteorológico Nacional, en la forma más modesta imaginable, y su organización y funcionamiento costaron muy poco dinero al Estado. La buena voluntad de los hombres de aquella época su clara visión y su eficiencia en la labor emprendida hicieron posible que un nuevo organismo se iniciara en la vida y se robusteciera bajo la dirección de una figura extraordinariamente dinámica y leal a nuestro país: el astrónomo Benjamín A. Gould, quien ha dejado su nombre indeleblemente impreso en los anales científicos de la República.

Gould dirigió la Oficina durante 12 años, hasta fines de 1884, en que se retiró. Durante este tiempo se instalaron 52 estaciones meteorológicas, de las cuales 23 practicaron observaciones durante períodos mayores de dos años, y aunque muchos observadores abandonaron luego voluntaria o involuntariamente su labor — que,



repetimos, era gratuita, — ya estaba fundado y actuando el servicio de meteorología sobre una base permanente. Bajo la dirección de Gould se publicaron cuatro grandes tomos sobre resultados y discusiones.

La vasta labor abarcó también los datos de precipitación, no sólo de todo el país sino incluso de algunas naciones vecinas en sus regiones fronterizas, lo que permitió conocer la distribución de las lluvias en la parte austral del continente sudamericano.

#### EVOLUCIÓN POSTERIOR

Aunque el Observatorio Astronómico y la Oficina Meteorológica estaban dirigidos por una misma persona, se mantuvieron funcionando independientes. Al retirarse Gould le sucede su colaborador inmediato, el Dr. Gualterio Davies. Se aumenta el personal técnico y se incorporan nuevas actividades con las instalaciones para el estudio de la evaporación y de la temperatura del suelo.

A fines de 1901 la sede de la Oficina se trasladó a Buenos Aires con el propósito de poder publicar diariamente la Carta del Tiempo, puesto que el Servicio Telefónico Nacional, así como el de capital extranjero (el de ferrocarriles), ya permitía centralizar informaciones.

A principios de 1902 se totalizaban 88 estaciones entre las de primera, segunda y tercera clases, cuya distribución geográfica incluía regiones apartadas de los centros de población.

Como hecho relevante debe mencionarse que el 21 de febrero de 1902 se dió principio a la publicación de la tan esperada Carta del Tiempo, gran acontecimiento que colmó los anhelos de la repartición, dada la proyección que ella tuvo en la economía nacional.

La Carta del Tiempo traía datos meteorológicos de las 8 horas, y, asimismo, de las 20 horas del día anterior. Se distribuía en el día.

En el mes de septiembre de 1904 acontece otro hecho de relieve: se inicia el pronóstico del tiempo para las subsiguientes 36 horas, a partir de las 8 horas de cada día.

En el momento de iniciar la predicción se disponía de 140 estaciones sobre líneas telegráficas y de 420 puntos pluviométricos, además de contarse con la cooperación de estaciones de Chile, Bolivia, Paraguay Brasil y Uruguay.

En 1904 el Servicio Nacional de Meteorología se enriquece al incorporarse el Observatorio Meteorológico y Magnético de la Isla Laurie, del grupo de las Orcadas del Sud, fundado en 1903 por la expedición escocesa de W. S. Bruce. Las

instalaciones fueron cedidas al gobierno argentino, quien dispuso continuar las investigaciones.

En los 46 años que actualmente lleva de existencia el observatorio aludido se ha logrado recoger un valioso material de observación y medición de la fenomenología meteorológica y geomagnética, único en su género, el cual permitirá realizar análisis e interpretaciones ulteriores sobre el régimen de los meteoros en la región polar austral.

Ya en julio de 1902, por decreto nacional, fué creada la sección Hidrométrica, cuya organización y actividades fueron puestas bajo la dirección del Ing. Canardo Lange, al retirarse el cual, en 1909 le sucede el Ing. Enrique Wolff, quien da gran impulso a las mediciones de ese carácter. A fines de 1915 este servicio dispone de 115 estaciones hidrométricas.

En 1904 se crea el Observatorio Magnético y Meteorológico de Pilar, en las márgenes del río Segundo, en la provincia de Córdoba. Centralizó toda la labor magnética del país, ya en la observación de la variación de los elementos, ya en la concierne al relevamiento magnético para confeccionar la primera carta isogona del país, la que fué publicada en 1904. Las cartas actualizadas sucesivamente, mediante mediciones directas, efectuadas en campañas especiales, se publicaron en 1908, 1914, 1931 y 1944.

El observatorio de Pilar amplió bien pronto su labor con el estudio de la radiación solar y la exploración del disco solar, con ubicación de manchas y fáculas. Más tarde se organizaron las observaciones de la electricidad del aire, con registro permanente del potencial eléctrico.

En 1925 se habilita en La Quiaca, zona limítrofe con Bolivia, un observatorio heliofísico equipado por la Institución Smithsonian, estadounidense, con el objeto de determinar un elemento sumamente valioso — la constante solar — aprovechando las condiciones de sequedad de aire en el altiplano jujeño. Luego de algunos años de actividad heliofísica, y en virtud de los inconvenientes que se presentan al aumentar la población de La Quiaca, el observatorio pasa a dedicarse únicamente a la toma de datos meteorológicos y magnéticos. Es en la actualidad el tercer observatorio magnético del país.

Las actividades ulteriores de la Oficina Meteorológica Argentina se fueron ampliando siempre, tanto en su red de estaciones y puntos de observación, distribuidos convenientemente, como en lo relativo a la labor de gabinete, en ampliación de su servicio de Predicción, en la colaboración internacional, y en la publicación de los *Anales*, manteniendo, con pocas va-

riantes, su estructura primitiva, aunque la Oficina, en 1924 (julio) y en 1927 (septiembre), cambia de nombre por los de Dirección Meteorológica y Dirección de Meteorología, respectivamente.

En 1927 se crea la actividad aerológica y se inician en el hoy llamado Observatorio Central de Buenos Aires las correspondientes observaciones con globos pilotos.

La estructura de la Repartición sufrió un cambio sensible en 1935, a raíz del decreto del 5 de octubre del mismo año, por el cual se organiza la ampliación de las actividades específicas y se incorporan otras. Así, por la denominada Ley Cafferata, la Dirección de Meteorología cambia su nombre por el más amplio de Dirección de Meteorología, Geofísica e Hidrología. Dentro de la rama específicamente meteorológica, se incorpora en la nueva estructura la importante actividad que hoy conocemos con el nombre de Agrometeorología, la que está llamada a prestar al país, dada la naturaleza de sus servicios e investigaciones, el gran aporte técnico científico que necesitan la vida y el desarrollo racionales del agro, en correlación con los factores climáticos y sus adversidades. La actividad agrometeorológica fué organizada en base a las observaciones que se realizaban ya en años anteriores. Se crearon observatorios meteorológicos regionales, con el objeto de atender mejor los servicios generales y con el propósito de estudiar la formulación de pronósticos regionales en base a los de carácter general que se efectuaban en la sección central de análisis y predicción del tiempo. El primer observatorio de este carácter es el de Mendoza, instalado en el parque San Martín.

Mientras tanto la red se amplía y perfecciona de continuo, no sólo en cuanto a las estaciones de carácter meteorológico y aerológico, sino también a las hidrometeorológicas, nivométricas, geomagnéticas, sismométricas y de radiación solar.

En 1945 comienza a funcionar la estación sismográfica de primera categoría instalada en el subsuelo del Observatorio Central Buenos Aires, en Villa Ortúzar.

#### ORGANIZACIÓN ADMINISTRATIVA ACTUAL

El 5 de mayo de 1945 la ley 12945, reglamentada en diciembre de 1949, modifica la estructura del organismo que venía regulando la ley 12252, llamada ley Cafferata. Por la nueva ley el organismo se llama Servicio Meteorológico Nacional y tiene jerarquía de Dirección General. Distribuye su actividad en tres direcciones: la del Servicio Público de Meteorología, la de Servicios Técnicos y la de Investigaciones Meteorológicas e Instrucción.

Cabeza de la entidad es el Director General. Al Subdirector General compete, a

la vez, la función de Director del Servicio Público de Meteorología.

El Servicio Público de Meteorología, integrado por cuatro Divisiones, comprende las actividades meteorológicas, agrometeorológicas, hidrometeorológicas y geofísicas. Orienta y fiscaliza la labor de los observatorios, las estaciones y los demás puntos de observación. Proyecta las campañas destinadas a la medición de elementos significativos, analiza los resultados, establece correlaciones y valora los métodos de trabajo, para introducir finalmente en ellos las modificaciones adecuadas. Prepara el material para ser publicado en los *Anales* de la repartición, y evacua las consultas técnicas que se le formulan por parte de entidades nacionales o extranjeras.

La Dirección de Servicios Técnicos tiene bajo su responsabilidad el eficaz equipamiento de los centros de Observación. Provee, repara y contrasta el instrumental general, y realiza inspecciones periódicas con el fin de verificar la exactitud de las observaciones efectuadas en todos los puntos de la red.

A la Dirección de Investigaciones Meteorológicas e Instrucción corresponde el cálculo general y estadístico, y la interpretación de los datos observacionales ya depurados. Asesora sobre problemas científicos. Forma, incluso, gran parte del personal técnico que exige el desenvolvimiento natural de todo el organismo.

A partir de mayo de 1950 el Servicio Meteorológico Nacional pasa, como estructura operativa y científico-técnica, a incorporarse al Ministerio de Asuntos Técnicos de la Nación.

#### AMPLITUD DE LA RED DE OBSERVACIÓN ARGENTINA

Este organismo vive su actividad diaria en los campos de la meteorología, agrometeorología, hidrometeorología y geofísica, merced no sólo a sus propias estaciones sino incluso a las pertenecientes a las Fuerzas Armadas — que le transmiten determinados datos, — y asimismo, a la información que recibe de los barcos de todas las banderas que surcan el Atlántico. Análogamente, por convenios internacionales, capta los comunicados que a horas fijas emiten radioeléctricamente los países vecinos. Dijimos al principio que en 1872 no había prácticamente puntos de observación meteorológica. Hoy, 78 años más tarde, el conjunto de estaciones argentinas que contribuyen al estudio de nuestra atmósfera, y al de los fenómenos heliofísicos, magnéticos y sísmicos, se ve reflejado en el siguiente cuadro, por demás alentador: 4 observatorios meteorológicos, 180 estaciones meteorológicas sinópticas, 72 estaciones climáticas, 86 estaciones meteo-



rológicas de la Red Escolar de Colaboración, 11 estaciones agrometeorológicas de primera, segunda y tercera clases, 13 estaciones de colaboración agrometeorológica, 3 observatorios geomagnéticos, 4 estaciones sísmicas, 200 puntos de observación absoluta de relevamiento geomagnético, 33 estaciones de radiación solar, 2 estaciones de electricidad atmosférica, 62 estaciones de evaporación, 64 estaciones freáticas, 167 estaciones hidrométricas, 80 estaciones nivométricas y 3.450 estaciones pluviométricas.

#### COORDINACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL

La ley 12945 reconoce, además del Servicio Meteorológico Nacional, la existencia de tres servicios de meteorología con funciones específicas de gran importancia.

Son los pertenecientes a los ministerios de Ejército, de Marina y de Aeronáutica, los cuales coordinan ciertos aspectos de su labor privativa con la que realiza el S. M. N. El enlace se establece en el Consejo Técnico, cuerpo constituido por los representantes de cada uno de los tres servicios de meteorología de las Fuerzas Armadas, el Director General del Servicio Meteorológico Nacional, y el Subdirector General y a la vez Director del Servicio Público de Meteorología del mismo organismo.

Por otra parte, en virtud de su participación en la Organización Meteorológica Internacional, el Servicio Meteorológico Nacional contribuye con su aporte eficaz y cotidiano al progreso de los servicios operativos de las demás naciones, y de la ciencia y la técnica universales.

## ACTUALIDADES

**Primer Congreso de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).** — Entre los organismos especializados de las Naciones Unidas tiene singular importancia la Organización Meteorológica Mundial (OMM), actualmente en formación, cuyo primer congreso se celebrará en París entre el 15 de marzo y el 30 de abril de 1951. En la Conferencia de Directores de la Organización Meteorológica Internacional (OMI) realizada en Washington en octubre de 1947, se resolvió celebrar una sesión tan pronto como entrara en vigencia la Convención de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), a fin de adoptar las medidas conducentes a la transferencia de las funciones y obligaciones de la OMI a la OMM. El acuerdo predicho entró en vigor el 23 de marzo de 1950, y, conforme a sus disposiciones, se ha convocado a los Estados miembros para la Conferencia de Directores de los servicios meteorológicos de los países signatarios de la Convención, a realizarse en París en la segunda quincena de marzo. A la celebración de la Conferencia seguirá de inmediato la reunión del Primer Congreso de la OMM, que se prolongará hasta el 30 de abril, y del cual surgirán recomendaciones adecuadas al progreso de la meteorología mundial.

**Quinta Reunión de Consulta del Instituto Panamericano de Geografía e Historia.** — En la segunda quincena del mes de octubre último se llevó a cabo en Santiago de Chile la Quinta Reunión de Consulta del Instituto Panamericano de Geografía e Historia, en la que estuvieron representados numerosos países del continente. La delegación argentina fué presidida por el Director del Instituto Geográfico Militar, Coronel CARLOS A. LEVE-

NE. En los comités de Sismología, Gravitimetría y Geomagnetismo, y Cartas Especiales, la delegación de nuestro país contó con el aporte del Dr. RAIMUNDO CELESTE, en función de delegado del Servicio Meteorológico Nacional. Los proyectos de recomendaciones aprobados por la asamblea, entre los que se cuentan numerosos de la Argentina, figuran en la actualidad como resoluciones del IPGH presentadas a los gobiernos de las repúblicas latinoamericanas.

**Primera Conferencia de Economía Frutícola de la Provincia de Buenos Aires.** — Durante los días 7, 8 y 9 de noviembre último se realizó en la localidad de Tigre la Primera Conferencia de Economía frutícola de la Provincia de Buenos Aires, organizada por el Ministerio de Hacienda, Economía y Previsión de dicha provincia. El Servicio Meteorológico Nacional, invitado a participar del mismo, estuvo representado por una delegación integrada por los ingenieros agrónomos JUAN J. BURGOS, NÉSTOR R. LEDESMA, JUAN J. PUCHULU y MODESTO C. SANTOS. Por vía de sus delegados, la División Agrometeorológica de este Servicio presentó siete trabajos científico-técnicos de investigación, los que obtuvieron el acuerdo aprobatorio del Congreso y la recomendación de que el Gobierno de la provincia les diera una difusión amplia. Decidió asimismo el Congreso presentar a las autoridades bonaerenses la recomendación de intensificar la acción conjunta entre la provincia y el Servicio Meteorológico Nacional tendiente a desarrollar un « plan integral que contemple el estudio del ambiente climático y microclimático de los cultivos, por una parte, y la reacción de las plantas a ese ambiente, por otra ».



## RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS

**Meteorological Abstracts and Bibliography.** (American Meteorological Society), Vol. I, N° 1, 2, 3 (Lancaster, 1950) (73/CXXI).

Contiene normas generales acerca del uso del Boletín, con la Clasificación Decimal para Meteorología y lista de publicaciones periódicas especializadas. La parte I trae comentarios explicativos de publicaciones meteorológicas y geofísicas (periódicas) y extractos de libros y artículos. La parte II incluye bibliografía histórica sobre diversos temas que en los números aparecidos han sido: 1) contaminación atmosférica por humo y gases; 2) aerobiología (microorganismos e insectos); 3) física de las nubes y precipitación artificial; 4) granizo; 5) tornados.

La parte III se dedica a artículos aparecidos en publicaciones recientes y la IV contiene un índice de autores y temas. — R. M. Q.

**R. Mugge.** — *Meteorologie und Physik der Atmosphäre* (Wiesbaden, 1948) (551-510).

Este tomo de 300 páginas forma el número 19 de una amplia serie « *Naturforschung in Medizin in Deutschland 1936-46* » (investigaciones en ciencias naturales, exactas y en medicina, efectuadas en Alemania durante los años 1939-46). La edición de esta serie, que se publica simultáneamente en idiomas alemán e inglés, se sugirió y organizó en el « *Field Information Agency Technical* » (FIAT), de los Aliados Occidentales de la última guerra, con el fin de hacer conocer todos los trabajos respectivos publicados en revistas alemanas o en reproducciones provisionales que no habían podido llegar al extranjero.

El tomo 19 se compone de 8 capítulos:

- 1) Climatología: escrito por KNOCH, KUHLEBRODT, FLOHN, KRUTZ y BUTTNER;
- 2) Los procesos de radiación en la atmósfera: por MOLLER y MOYER;
- 3) Termodinámica y física de las nubes: por MOLLER;
- 4) Dinámica de la atmósfera: por LETTAU;
- 5) Tiempo y previsión del mismo: por SCHERHAG, SEILKOPF y FLOHN;

6) Meteorología de las capas muy altas de la atmósfera: por PENNDORF y STRANZ;

7) Instrumentos meteorológicos: por H. G. MULLER, y

8) Química de la atmósfera: por Cauert.

Cada capítulo contiene una breve descripción general de los progresos alcanzados en la especialidad respectiva; menciona el título y lugar de cada publicación, y da comentarios de los trabajos más importantes. Se trata en total de más de mil publicaciones (de más de 500 autores).

No es posible dar una síntesis completa de tal sumario. Tal vez merece interés especial el subcapítulo 5, 3 de FLOHN, que trata las « singularidades y ondas », vale decir, fenómenos que han suscitado gran interés en Alemania y cierto escepticismo en Inglaterra y Estados Unidos.

Mucho material nuevo contiene también el subcapítulo 4, 2 de LETTAU, que describe los trabajos modernos de la escuela de PRANDTL en Gotingen sobre teorías aerodinámicas y de la turbulencia, vinculados con problemas meteorológicos. El tema de SCHERHAG, meteorología sinóptica, ha encontrado entre tanto una exposición más amplia y profunda en su libro « *Nuevos métodos de análisis y pronóstico del tiempo* », Heidelberg 1948, Editorial Springer.

El subcapítulo 7, 3 de MULLER, ofrece un sumario de unos 40 trabajos sobre « instrumentos aerológicos de transmisión sin hilo », que comprende experiencias muy valiosas en esta disciplina y desconocidas fuera de Alemania. — W. S.

**A. Murneck y R. Whyte.** — *Vernalization and Photoperiodism* (Waltham, USA, 1948) (551-586: 58).

Symposium dirigido por MURNECK y WHYTE. Prologado por THIMANN, comprende la mayoría de los trabajos básicos publicados últimamente sobre el tema, y que, si bien no se han inspirado en una cadena continua de investigaciones y deducciones, han promovido la realización de una gran cantidad de experimentos e importantes aplicaciones prácticas en la agricultura de las zonas templadas y tropical. La obra

consta de 11 capítulos en inglés y 3 en alemán. — J. A. B.

**L. Dufour.** — *Sur quelques résultats obtenus dans le domaine de la prévision à longue échéance. (Miscellanées. Inst. Royal Met. de Belgique, Fasc. XXXIX)* (Bruxelles, 1950) (495-IX).

Considera el pronóstico a largo plazo en su doble utilidad: una, la directa con especial referencia a la agricultura, y la otra como auxiliar del pronóstico a breve plazo.

Luego de tratar las hipótesis más encomiables para la consecución de tal finalidad, reseña el sistema empleado por el « *Extended Forecast Section del U. S. Weather Bureau* », que consiste esencialmente en un diagnóstico meteorológico de carácter puramente automático y que comprende simplemente: el cálculo de índices zonales, trazado de isotermas y sobre todo de isobaras e isohías de superficie y altura, que hacen aparentes los centros de acción de la atmósfera. El pronóstico es en cambio muy complicado y comprende sucesivamente: pronóstico de índice, dibujo de cartas pronosticadas y de anomalías de temperatura y precipitaciones. — J. A. B.

**A. Missenard.** — *Cours Supérieur de Chauffage, Ventilation et Conditionnement de l'Air* (Paris, 1950) (628-8 (02)).

Esta obra del conocido técnico francés consta de 4 tomos, de los cuales tienen interés meteorológico el II y el IV. El tomo II se ocupa del estudio detallado de la transmisión del calor y sus leyes, de los principios que rigen la higrómetros y la evaporación y del escurrimiento de los fluidos. En el tomo IV, MISSEWARD efectúa

el estudio fisiológico del acondicionamiento climático, introduciendo sus ideas con respecto a la temperatura resultante y a las equivalencias de pasaje y de régimen, que hizo conocer en trabajos anteriores (« *Equivalence thermique des ambiances* », « *L'homme et le climat* », artículos en « *Chaleur et Industrie* », y conferencias en Buenos Aires). MISSEWARD ha conseguido armonizar en sus investigaciones tres aspectos distintos de la climatización artificial: el del fisiólogo, el del bioclimatólogo y el del ingeniero. — R. M. Q.

**J. de Sampaio Ferraz.** — *Iminencia duma grande seca nordestina* (Rio de Janeiro, 1950) (551-577, 38).

El autor manifiesta que uno de los objetivos de sus estudios meteorológicos de los últimos años ha sido el comprender y determinar la influencia de la actividad solar sobre la circulación atmosférica en el Brasil, habiendo comprobado que, con frecuencia, el pasaje de manchas en las proximidades del meridiano central del sol coincidía con el aumento de las lluvias en el sudeste del Brasil. Intenta explicar esta influencia por la acción directa de la mayor actividad solar sobre las masas de aire tropical que se extienden en dirección sur y aumentan la frecuencia de los frentes fríos, cuando se produce el encuentro de estas masas continentales con los anticiclones migratorios oriundos del sudoeste sudamericano. Además de estas investigaciones con cartas del tiempo, el autor realizó el examen de curvas de grandes series pluviométricas con el empleo del método de FUHRICH. Del análisis de la curva de Fortaleza parece posible anticipar una nueva sequía alrededor del próximo mínimo solar, más o menos en 1956. —



SE TERMINO DE IMPRIMIR EL DIA  
27 DE DICIEMBRE DE MIL NOVECIE-  
TOS CINCUENTA. AÑO DEL LIBER-  
TADOR GENERAL SAN MARTIN, EN  
LOS TALLERES GRAFICOS PALUMBO,  
LA MADRID 311-325, BUENOS AIRES,  
REPUBLICA ARGENTINA



**DIRECCION GENERAL**  
DEL  
**SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL**

PASEO COLON 317 — BUENOS AIRES  
(REPUBLICA ARGENTINA)

Precio  
del ejemplar:  
4 pesos m/n

PALUMBO  
BS. AIRES