

CALCULO DE LAS TEMPERATURAS MEDIAS DE LOCALIDADES MONTAÑOSAS CARENTES DE OBSERVACIONES TERMOMETRICAS ¹

POR ARMANDO L. DE FINA Y LUIS J. SABELLA ²

Para averiguar a qué distrito agroclimático pertenece cada localidad, reconocida agroecológicamente, es necesario conocer cual es la temperatura media del mes más caluroso del año y cual la del mes más frío.

Cuando en una localidad se han realizado observaciones termométricas regulares, durante varios años, los datos mencionados se obtienen, sin mayores dificultades, por los cálculos de rutina.

Lo más frecuente es que las localidades reconocidas agroecológicamente carezcan de observaciones termométricas. Si se está haciendo el estudio de una región más o menos llana, los datos de la temperatura media del mes más caluroso del año y del mes más frío se pueden obtener, con bastante facilidad y suficiente exactitud, por medio de interpolaciones sobre el mapa de las isothermas *reales* ³ del mes más caluroso o del mes más frío, según el caso.

Las cosas se complican notablemente cuando se realiza el estudio de una región montañosa. En efecto, como resultado del relieve accidentado y complicado, por lo general, es muy difícil disponer de mapas adecuados de isothermas *reales* que permitan conocer, con suficiente aproximación, los datos de las temperaturas medias de las localidades reconocidas agroecológicamente.

¹ Comunicación preparada en el Instituto de Suelos y Agrotecnia del I.N.T.A., para la Primera Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, celebrada en Buenos Aires en septiembre de 1959. Trabajo recibido para su publicación el 24 de noviembre de 1959.

² Ingenieros agrónomos de la Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería de la Nación y del citado Instituto de Suelos y Agrotecnia, respectivamente.

³ En esta comunicación, los términos isothermas reales o temperaturas reales se usan en *oposición* a isothermas o temperaturas reducidas al nivel del mar.

Ante esta última eventualidad, que se presenta en amplias áreas del país, se ha ideado un *modus operandi*, muy sencillo, que permite resolver el problema con aceptable seguridad, tratándose de lugares cultivados y poblados, como lo son la generalidad de las localidades reconocidas agroecológicamente, es decir ubicadas en: llanuras, altiplanicies o valles de altura o cualquier otra forma de relieve no muy abrupto; lugares en los cuales también, por lo general, están instalados los observatorios meteorológicos que sirven de base para aplicar el *modus operandi* que se explica. En lo sucesivo, a fin de simplificar el uso de esta expresión latina, en cambio de hablar de *modus operandi* se hablará de la *técnica*, usándose esta última palabra en su acepción más amplia.

La técnica para calcular las temperaturas medias, ya sean mensuales o anual, de lugares carentes de observaciones termométricas, se basa en que la temperatura media de un mes dado o del año, en una región determinada, disminuye en forma casi constante¹ por cada 100 metros de elevación del terreno. Cabalmente, recibe el nombre de gradiente vertical de la temperatura, la fracción de grado centígrado que desciende la temperatura media del aire por cada 100 metros que se eleve el terreno.

La técnica, que se explica más abajo, ha dado resultados que se estiman muy satisfactorios, por ello los autores de esta breve comunicación han considerado de interés darla a conocer, pues su aplicación puede ser de utilidad para cualquier investigación de índole ecológica, geográfica o climatológica a desarrollar dentro de regiones montañosas.

La técnica, que se expone, puede ser dividida en los siguientes pasos sucesivos:

- 1º cálculo del *gradiente* vertical, mediano, de temperatura;
- 2º *triangulación* termométrica de la región bajo estudio;
- 3º trazado de las *isotermas* rectilíneas reducidas al nivel del mar;
- 4º *cálculo de las temperaturas* medias reales de las localidades carentes de observaciones termométricas.

¹ CONRAD, V. 1942. *Fundamentals of physical climatology*. Harvard University Press, 1 vol. 121 pág. Cambridge, Massachusetts.

1º *Cálculo del gradiente vertical, mediano, de temperatura.* — Si en la región existen dos observatorios meteorológicos muy próximos, pero ubicados a alturas apreciablemente distintas, sus datos de temperaturas medias pueden ser usados para calcular el gradiente vertical. Sean, por ejemplo, dos observatorios, A y B distanciados 18 kilómetros en línea recta, que para el mes de enero y la serie de observaciones 1931-1950 acusan las temperaturas medias de 25º 8C y 20º 4C y cuyas alturas, sobre el nivel del mar, son 511 y 1.150 metros respectivamente. Se tiene así que, para una diferencia de temperatura de $25^\circ 8 - 20^\circ 4 = 5^\circ 4C$, la diferencia de altura es de $1.150 - 511 = 639$ metros; si se divide la diferencia de temperatura por la diferencia de altura (expresada en hectómetros) se logra el valor del gradiente vertical de temperatura. En el caso que se está siguiendo se tendrá $5^\circ 4 / 6,39 = 0^\circ 85 C$; es decir que, por cada 100 metros que se eleva el terreno, la temperatura media del aire del mes de enero disminuyó de 0º85.

Si bien en la forma explicada se obtiene un valor de gradiente vertical de temperatura, no es aconsejable usarlo como base para el estudio de toda la región que se considera.

En efecto, el gradiente calculado, por particularidades locales¹, en especial de relieve, de las dos localidades usadas, puede ser demasiado grande, como en el ejemplo que precede, o demasiado chico, en relación a los gradientes que imperan en la generalidad de los casos de la región objeto de estudio.

Es muy ventajoso, por lo tanto, adoptar un gradiente vertical que no difiera mucho de los que imperan en la región.

Para ello es de mucho provecho obtener un gradiente que sea *mediano*; el valor mediano de una serie de valores presenta la gran ventaja, en relación al valor promedio de la referida serie, de que casi no resulta afectado por valores excesivamente grandes o excesivamente chicos, originados por circunstancias accidentales.

El proceso que se sigue para obtener el gradiente *mediano* es el que se explica de inmediato. Dentro de la región a estudiar, sobre una serie termométrica uniforme, por ejemplo la publicada recientemente por el Servicio Meteorológico Nacional, que da los datos me-

¹ PROHASKA, F. J. Y M. T. UGARTECHE DE GARCÍA. 1951. *Gradiente vertical de temperatura en la zona central de la cordillera*. *Meteoros* 1 (4) : 342-343. Buenos Aires.

dios del decenio 1941-1950 para 160 observatorios argentinos, se eligen 5 observatorios (1 rodeado por otros 4) que se diferencien *apreciablemente* en sus alturas sobre el nivel del mar que, además, sumen una distancia en línea recta, desde el observatorio central a los otros

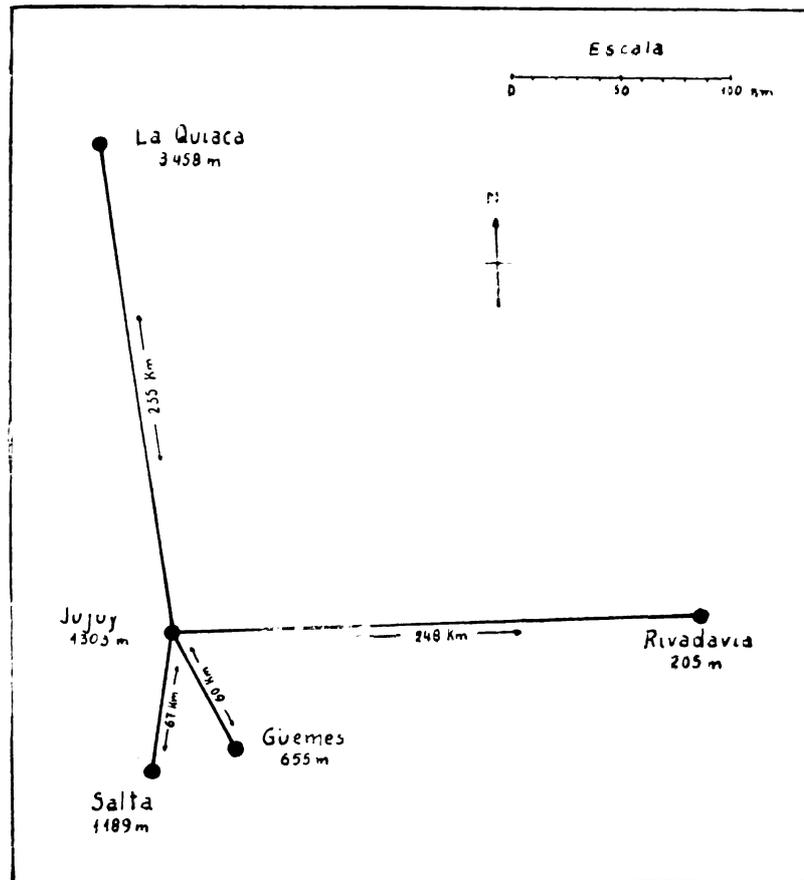


Fig. 1. -- Los 5 observatorios meteorológicos usados para establecer el gradiente vertical *mediano* de temperatura del aire. Los metros (m) indican las respectivas alturas sobre el nivel del mar.

4 restantes, inferior a los 700 kilómetros y que, asimismo, acusen las 4 distancias lo más uniforme entre sí (ver Fig. 1).

Luego se analizan los datos de estos observatorios de 2 en 2 y se calculan los gradientes verticales según ya se explicó. Dado que los observatorios, por lo general, se encuentran algo distanciados entre

si y considerando que la temperatura media tiene variaciones en el sentido horizontal, como tiene también una en sentido vertical, los gradientes verticales hallados estarán afectados por las referidas variaciones en el sentido horizontal.

Teniendo en cuenta que esas variaciones en algunos rumbos *agrandan* el verdadero gradiente vertical y en otros rumbos lo *achican*, se procede a calcular todos los gradientes que permiten los 5 observatorios elegidos; ello da origen a 10 gradientes distintos.

Los gradientes calculados se ordenan de mayor a menor y luego se procede a obtener el gradiente *mediano*; ver cuadro I.

CUADRO I

Tabulación de los datos y cálculo del gradiente vertical « mediano » de la temperatura del aire. Temperatura media de diciembre para el decenio 1941-1950

Pares de observatorios	Altura sobre el nivel del mar			Temperatura media mensual, en °C			Gradiente vertical g/d en °C/100 m	Orden de los gradientes
	Valores en metros		Diferencia en hectómetros	Valores reales		Diferencia		
a	b	c	d	e	f	g	h	i
Jujuy-La Quiaca...	1.303	3.458	21,55	21,4	12,6	- 8,8	-0,41	8°
Jujuy-Rivadavia...	1.303	205	10,98	21,4	28,1	- 6,7	-0,61	3°
Jujuy-Güemes.....	1.303	655	6,48	21,4	24,8	-3,4	-0,52	5° ←
Jujuy-Salta.....	1.303	1.189	1,14	21,4	21,7	-0,3	-0,26	10°
La Quiaca-Rivadav.	3.458	205	32,53	12,6	28,1	-15,5	-0,48	6° ←
Rivadavia-Güemes .	205	655	4,50	28,1	24,8	- 3,3	-0,73 ←	1°
Güemes-Salta.....	655	1.189	5,34	24,8	21,7	- 3,1	-0,58	4°
Salta-La Quiaca....	1.189	3.458	22,69	21,7	12,6	-9,1	-0,40	9°
La Quiaca-Güemes .	3.458	655	28,03	12,6	24,8	-12,2	-0,44	7°
Rivadavia-Salta....	205	1.189	9,84	28,1	21,7	- 6,4	-0,65	2°

$$\text{Gradiente mediano} = \frac{(-0,52) + (-0,48)}{2} = -0.50$$

Signo — en la columna g indica que la temperatura es más baja en el observatorio de mayor altura; signo +, temperatura más alta.

Como se sabe, si el número de gradientes fuera impar, por ejemplo 11, el valor *mediano* correspondería al valor central de la serie ordenada, es decir al valor ubicado en el 6° lugar.

Dado que la serie ordenada, por estar constituida por un número *par* de valores (10 valores) no presenta un valor central, para obtener el valor *mediano* se procede a promediar los 2 valores centrales, es decir los ubicados en el 5º y 6º lugar.

El gradiente vertical *mediano*, así obtenido, por lo que ya se explicó, representa un valor casi totalmente depurado del efecto perturbador de la variación de la temperatura en el sentido horizontal; además no está afectado por valores de gradientes excesivamente grandes o excesivamente chicos. Por otra parte, un error que no exceda de 0º15 C, en la determinación del gradiente *mediano*, por lo general, tiene poca repercusión en los valores finales de las temperaturas medias, calculadas para las diversas localidades carentes de observaciones termométricas.

Es obvio que, para cada mes del año, el gradiente vertical *mediano* de la temperatura será distinto, también será diferente el gradiente para el año en conjunto. Cuando se calcula el gradiente *mediano* del mes más caluroso del año, puede ocurrir que de los 5 observatorios elegidos, algunos acusen el mes más caluroso en un determinado mes y los restantes en otro u otros meses; en tal caso se trabaja con aquel mes que es el más caluroso en la mayoría de los observatorios. Si, por ejemplo, diciembre es el mes más caluroso en 3 observatorios, enero en uno y noviembre en el observatorio restante, se trabajará siempre con los datos del mes de diciembre, al calcular los 10 gradientes posibles entre los 5 observatorios elegidos. Con este procedimiento se busca eliminar, en el cálculo del gradiente vertical de la temperatura, la interferencia que pueda acarrear la variación de la misma, como consecuencia de aparear datos de meses distintos.

Cuando se calcula el gradiente *mediano* del mes más frío del año, se adopta un temperamento similar, al ya explicado para el mes más caluroso.

2º *Triangulación termométrica de la región bajo estudio.*— El segundo paso de la técnica consiste en dividir racionalmente, en triángulos, la región bajo estudio, con el objeto de sacar el mayor provecho posible de los observatorios meteorológicos que suministrarán los datos termométricos, *básicos*, para calcular las temperaturas medias de las localidades *carentes* de observaciones termométricas.

A tal fin, una vez adoptada una serie uniforme de observaciones, por ejemplo las practicadas en la República Argentina en el decenio 1941-1950, se ubican sobre un mapa, de escala no inferior a 1 : 1.500.000, todos los observatorios de la región bajo estudio y sus vecindades más inmediatas que acusen temperaturas medias para el decenio estipulado. A veces, particularmente cuando la región a estudiar se encuentra cerca de las fronteras políticas del país, para cubrir toda el área con triángulos, se hace casi inevitable tener que usar datos, auxiliares, de observatorios que suministran temperaturas medias correspondientes a series de años algo distintas a la adoptada; 1941-1950 en ejemplo que se dió.

Una vez ubicados en el mapa todos los observatorios de la región y de las vecindades más inmediatas, se procede a unir con líneas rectas aquellos más externos, resultando, así, un polígono cerrado.

Posteriormente hay que dividir el área del polígono en triángulos, para ello se parte de la línea poligonal cerrada. Si el polígono ofrece un sector puntiagudo conviene comenzar por esa parte.

Para trazar los triángulos se unen, por medio de líneas rectas, los observatorios entre sí.

Las uniones deben realizarse en forma tal que los triángulos resulten de lados lo más *chicos* y *equiláteros* posibles.

3º *Trazado de las isotermas rectilíneas reducidas al nivel del mar.* — Suponiendo que se desea conocer cual es la temperatura media del mes más caluroso del año, para las diversas localidades, carentes de observaciones termométricas, situadas en el mapa de la triangulación ya explicada, es necesario proseguir el trabajo como se indica enseguida.

Para cada uno de los observatorios, ubicados en el mapa, se debe proceder a calcular cual es la temperatura media, *reducida al nivel del mar*, del mes más caluroso. Ello se hace sobre la base de 3 datos que se conocen, a saber: *a*) altura del observatorio sobre el nivel del mar, expresada en metros; *b*) gradiente vertical *mediano* de la temperatura en la región durante el mes más caluroso del año, obtenido según se explicó en el paso 1º; *c*) temperatura media *real* del mes más caluroso del año.

Sea por ejemplo el observatorio de Tucumán (Capital) situado a 481 metros sobre el nivel del mar; la temperatura media real del

mes más caluroso (enero) según la serie de observaciones 1941-1950 es de $25^{\circ}3\text{C}$; el gradiente vertical *mediano* para la región estudiada y dicha serie, en el *mes más caluroso*, es de $0^{\circ}50$, por cada 100 metros de elevación. Multiplicando la altura expresada en hectómetros, es decir 4,81, por el gradiente vertical *mediano* $0^{\circ}50$, se obtiene un producto $2^{\circ}4$, que es la reducción a sumar a la temperatura media real $25^{\circ}3\text{C}$ para lograr la temperatura media *reducida al nivel del mar*, que en este caso será de $27^{\circ}7$.

Se aclara que el gradiente mediano de $0^{\circ}50$ fué calculado sobre 5 observatorios, de los cuales en 3 el mes más caluroso es diciembre y en los 2 restantes el mes más caluroso es, indistintamente, diciembre o enero.

La misma operación se repite para todos los observatorios ubicados en el mapa y se tendrá así, para cada uno de ellos, la temperatura media, *reducida al nivel del mar*, del mes más caluroso del año, correspondiente a la serie de observaciones 1941-1950:

Estos valores, reducidos al nivel del mar, se escriben en el mapa, al lado de los puntos que señalan la ubicación de los observatorios respectivos.

Luego, sobre cada uno de los lados de los triángulos hay que marcar, por interpolación, los puntos que corresponden a grados centígrados *enteros*, como, asimismo, los puntos que corresponden a los *medios* grados centígrados.

Este trabajo se efectúa en la forma que se explica a continuación.

Recordando que los vértices de los triángulos son observatorios, para cada lado del mismo se halla qué distancia, en milímetros, existe entre ambos observatorios de sus extremos; supóngase 156 milímetros. Luego se busca la diferencia de temperatura entre ambos observatorios, sea por ejemplo la temperatura del observatorio más caliente al nivel del mar $29^{\circ}5$ y la del más frío $27^{\circ}7$, restando el segundo valor del primero se tiene $29^{\circ}5 - 27^{\circ}7 = 1^{\circ}8$; esta diferencia se expresa en *décimos* de grados y se tendrá entonces 18 *décimos* de grado.

Dividiendo los milímetros de distancia, entre ambos observatorios, por la diferencia en *décimos* de grado entre los mismos, se tendrá un cociente, que indica los milímetros que hay que recorrer, en el mapa, desde el observatorio más frío hasta el otro más caliente, para que la temperatura (reducida al nivel del mar) se eleve en 1 *décimo* de grado.

En el ejemplo, que se está siguiendo, se tiene que $156/18 = 8,7$ es decir que recorriendo el lado del triángulo, en cuestión, desde el observatorio más frío al más caliente, cada 8,7 milímetros se opera una elevación de *1 décimo* de grado de la temperatura, reducida al nivel del mar.

Es obvio que conocido este cociente, resulta muy fácil ubicar, entre los dos observatorios, los puntos que acusan grados *enteros*, como, asimismo, aquellos otros que acusan *medios* grados.

En efecto, en el ejemplo que se sigue, el observatorio con menor temperatura reducida al nivel del mar acusa $27^{\circ}7$; para averiguar donde se encuentra el punto al cual corresponde la temperatura de $28^{\circ}0$ hay que medir, sobre el lado del triángulo en cuestión, 3 veces 8,7 milímetros o sea 26,1 milímetros; para buscar el punto con $28^{\circ}5$ habrá que recorrer, a partir del punto anterior, 5 veces 8,7 milímetros, es decir 43,5 milímetros; para alcanzar el punto con $29^{\circ}0$ será necesario recorrer otros 43,5 milímetros y así siguiendo.

Repetido el proceso completo, explicado, para todos los lados de los triángulos existentes sobre el mapa (dibujados con líneas negras, por ejemplo) se tendrán señalados *todos* los puntos a los cuales corresponden grados *enteros* y *medios* grados.

Finalmente se procede a unir con líneas *rectas* (de color rojo, por ejemplo) todos los puntos que presenten la misma temperatura.

Una recta quebrada, verbigracia, unirá todos los puntos de $28^{\circ}0$, otra unirá todos los puntos de $28^{\circ}5$, una tercera todos los de $29^{\circ}0$, etc. Estas *líneas rectas* quebradas nunca deben cruzarse.

Terminada la tarea, se tendrán trazadas sobre el mapa, de *medio* en *medio* grado, todas las isotermas que corresponden.

En el ejemplo, que se está siguiendo, las isotermas trazadas representan la temperatura media, *reducida al nivel del mar*, del mes más caluroso del año, para el período de observaciones 1941-1950.

El mapa de isotermas, resultante, se diferencia de los mapas comunes en que, en estos últimos, las isotermas son siempre *curvilíneas*, mientras que en el mapa, cuyo trazado se acaba de explicar, son *líneas rectas* quebradas.

4º *Cálculo de las temperaturas medias reales de las localidades carentes de observaciones termométricas.* — Una vez trazado el mapa de las isotermas *rectilíneas* de las temperaturas medias, *reducidas al nivel del mar*, se dispone del elemento fundamental de trabajo

para calcular las temperaturas medias reales, *que se habrían registrado* en todas aquellas localidades carentes de observaciones termométricas.

Continuando con el ejemplo, la técnica prosigue así: sobre el mapa de isotermas rectilíneas se ubican todos los pueblos, colonias, villas, ciudades, etc., para los cuales se desea calcular su temperatura media real. Luego por interpolación, realizada simplemente a ojo, se estima, por su ubicación respecto a las 2 isotermas inmediatas que la abarcan, cual es la temperatura media, reducida al nivel del mar, de la localidad en cuestión. La estimación se efectúa, con toda facilidad, al *décimo* de grado.

Para continuar la tarea, es imprescindible conocer, con una exactitud aceptable, la altura, sobre el nivel del mar, de cada una de las localidades que interesan; a este respecto es un elemento de gran ayuda la Carta Aeronáutica Mundial a escala 1 : 1.000.000 que publicó en 1957, el Instituto Geográfico Militar Argentino.

Finalmente, conocida para una localidad su temperatura al nivel del mar y además su altura y el gradiente vertical mediano de temperatura, se tienen todos los datos necesarios para *calcular* la temperatura real que le correspondería.

Para ello, a la temperatura, reducida al nivel del mar, se le *resta* el producto de la altura (expresada en hectómetros) por el gradiente vertical *mediano*, que se ha usado para trazar el mapa de las isotermas reducidas al nivel del mar.

En el ejemplo que se está siguiendo, supóngase que la temperatura al nivel del mar de una localidad dada es de 28°8; su altura sobre el nivel del mar es de 840 metros; el gradiente vertical *mediano* usado es, según se recordará, de 0°50 por cada 100 metros de elevación. Multiplicando 8,40 por 0°50 se tiene un valor de 4°2 que restado de 28°8 da 24°6. Este valor de 24°6 indica la temperatura media real que la localidad en cuestión probablemente *hubiera* registrado en el mes más caluroso del año para el decenio 1941-1950, que es la serie que se utilizó al trabajar con los observatorios que sirvieron de *base* para los cálculos.

Con la técnica empleada y las substituciones obvias, se puede calcular, para las diversas localidades carentes de observaciones termométricas, la temperatura media real del mes más frío del año, la del mes de enero, la del mes de febrero, como también la de cualquiera de los otros 10 meses y, asimismo, la temperatura media real del año en conjunto.

Como se puede comprender, una vez trazado el mapa de isotermas, reducidas al nivel del mar, de una región montañosa, es posible calcular, con suma facilidad, la temperatura media real de prácticamente *todas las localidades pobladas* existentes en la misma; este objetivo es casi imposible alcanzar, en países extensos como la República Argentina, por la vía directa, es decir *instalando observatorios meteorológicos* en todas las localidades.

Los 6 mapitas, esquemáticos, de la Fig. 2 ilustran todo el proceso a seguir para trazar el mapa de las isotermas reducidas al nivel del mar y, también, sobre la forma de estimar, por *interpolación* a ojo, la temperatura media, reducida al nivel del mar, de cualquier localidad carente de observaciones termométricas.

SEGURIDAD QUE OFRECE LA TECNICA PROPUESTA

Para las provincias de Jujuy y Salta, aprovechando la serie de observaciones 1941-1950, se aplicó la técnica descripta, calculándose para numerosas localidades, carentes de observaciones termométricas, la temperatura media del mes más caluroso y la del mes más frío del año, correspondiente al decenio citado.

Luego se procedió a buscar en distintas fuentes, para las mismas localidades, cualquier serie termométrica observada que existiese, con la condición que las temperaturas medias mensuales fuesen el promedio de por lo menos 4 años de observaciones. En la forma explicada, se lograron las temperaturas medias observadas de 19 localidades; 17 pertenecientes a las provincias de Jujuy y Salta y 2 a la franja limítrofe de Bolivia.

Las series conseguidas son muy heterogéneas en cuanto a su duración; ésta varía desde 4 años en dos localidades hasta 23 años en otra; algo más de la mitad de las localidades acusa duraciones que oscilan entre 4 y 8 años.

Las series son heterogéneas no solamente en cuanto a la duración, sino también, en lo referente al año de comienzo de las observaciones, así por ejemplo, de las series cortas, de 4 a 10 años, algunas comienzan a principios del siglo XX, otras a mediados del mismo y las más de ellas en los decenios intermedios.

De todas maneras, para cada una de las 19 localidades, referidas, se tiene, para el mes más caluroso del año, por una parte, la

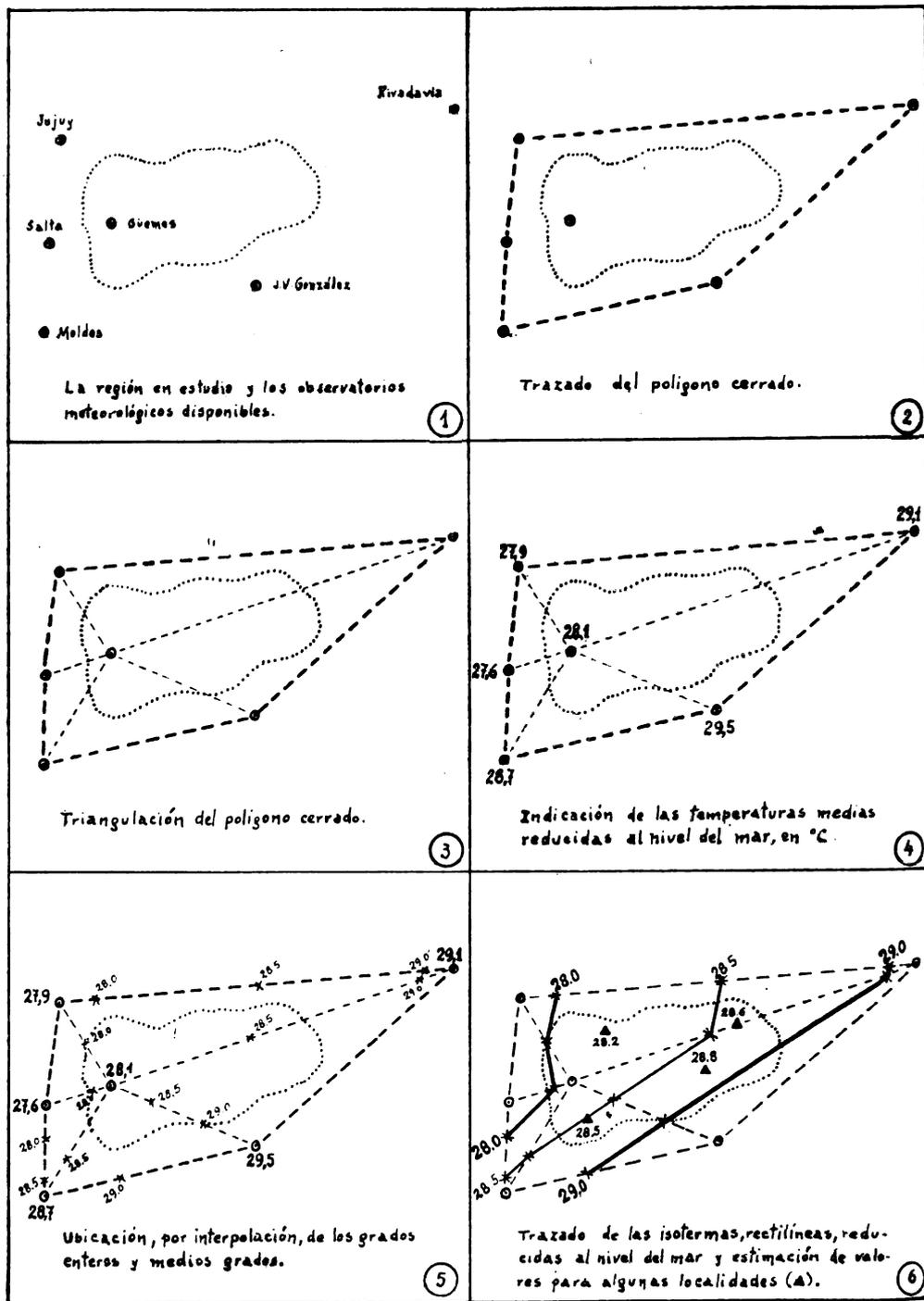


Fig. 2. — Proceso a seguir para trazar las isoterms, rectilíneas, reducidas al nivel del mar y estimar, por interpolación, la temperatura media, también reducida al nivel del mar, de cualquier localidad que interese. Mes más caluroso del año.

temperatura media *calculada* (sobre la base de la altura de la localidad) para el período básico uniforme 1941-1950 y, por la otra, la temperatura media *observada* durante los años que funcionó su observatorio. Con los 19 pares de datos termométricos, así formados, se calculó la correlación existente entre ambos juegos de series; el valor hallado es elevadísimo (+ 0,98) y altamente significativo estadísticamente, en efecto el coeficiente de la correlación entre ambas variables, es decir, entre las temperaturas medias *calculadas* para la serie uniforme 1941-1950 y las temperaturas medias *observadas* en las series heterogéneas, acusa una significancia que supera el nivel del 99 % de seguridad.

Aprovechando los mismos 19 pares de datos termométricos, se computó la recta de regresión que permite indicar o "pronosticar", para cualquier valor de las temperaturas medias *calculadas* para la serie uniforme 1941-1950, el valor más probable de las temperaturas medias *observadas* provenientes de las series heterogéneas. La recta de regresión y su fórmula, conjuntamente con los 19 puntos que se usaron para calcularla, se hallan representadas en la Fig. 3.

La diferencia entre los valores que indica o "pronostica" la recta de regresión y los valores *observados* que arrojan las series heterogéneas, sirven de pauta para conocer la seguridad de la técnica propuesta. En efecto, estas diferencias permiten calcular la Desviación Standard (D. S.) de los valores *observados* respecto a los valores más probables *calculados* que indica la recta de regresión. La Desviación Standard hallada para el mes más caluroso del año y las 19 localidades (19 puntos en el gráfico) ha sido de $1^{\circ}23\text{C}$. De acuerdo a las propiedades de la D. S., ello significa que para el 68,27 % de los casos, los valores *observados* acusan una diferencia, respecto a los valores más probables que indica o "pronostica" la recta de regresión, inferior a $1^{\circ}23\text{C}$.

Indudablemente esta D. S. es la suma del grado de inseguridad que acusa la técnica propuesta, más el grado de inseguridad que se origina al tratar de verificar las temperaturas medias calculadas para el decenio 1941-1950, con datos observados en cualesquiera otros períodos.

Para tener una idea aproximada de la segunda componente de la D. S. se aprovecharon las temperaturas medias del mes más caluroso del año, observadas en 25 observatorios meteorológicos argentinos, que funcionaron en las provincias montañosas de la re-

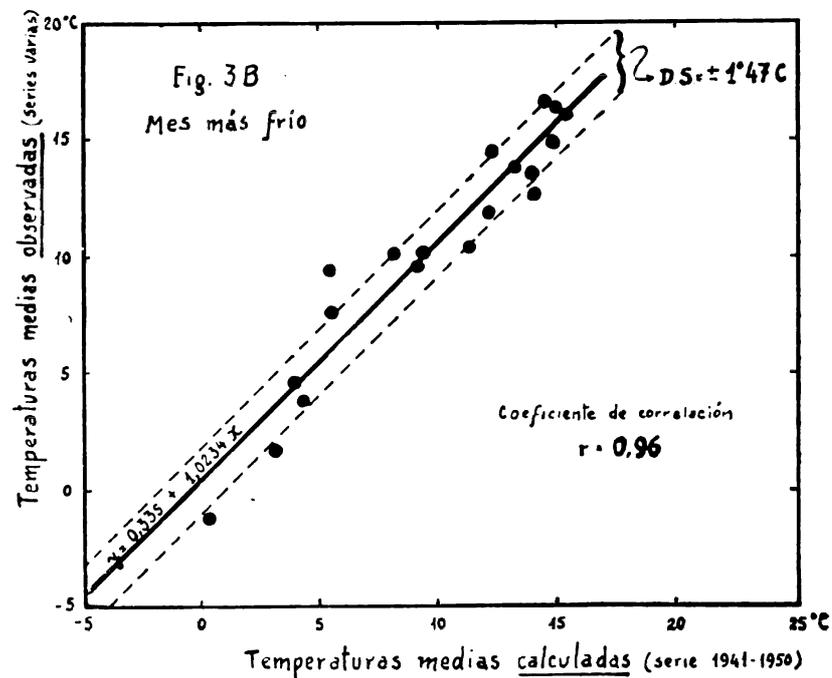
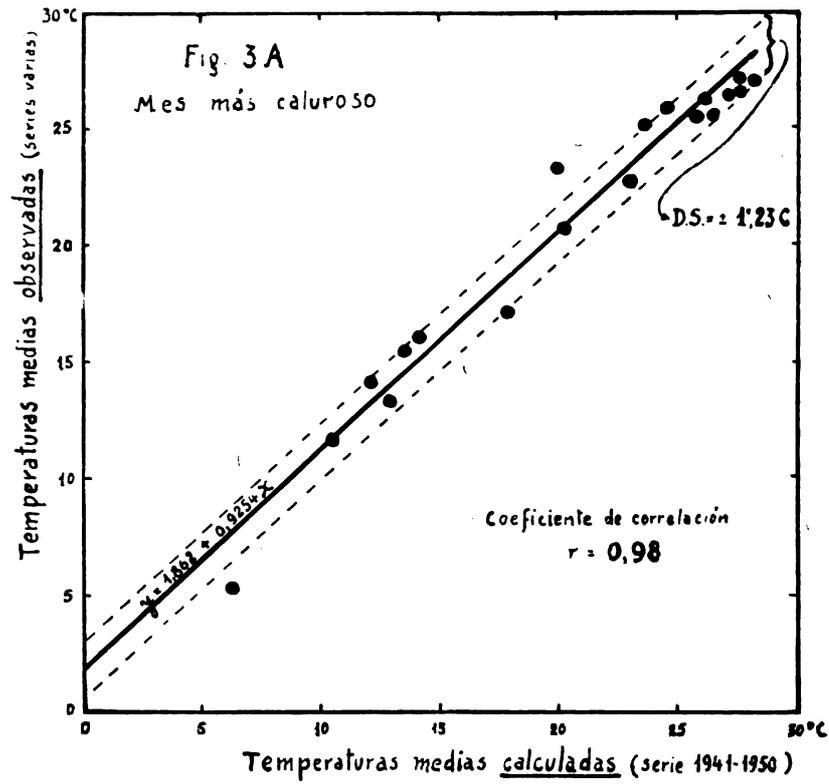


Fig. 3. — Verificación de las temperaturas medias *calculadas* por la técnica propuesta, para la serie 1941-1950, con las temperaturas medias *observadas* en series diversas. La Fig. 3 A corresponde al mes más caluroso y la Fig. 3 B al mes más frío.

gión noroccidental del país durante 2 decenios distintos, uno que comprende los años 1928 a 1937 y el otro los años 1941-1950.

Como en el caso anterior se obtuvieron pares de valores, ahora 25 pares, que muestran también un coeficiente de correlación elevadísimo $+ 0,98$ y altamente significativo.

Asimismo, utilizando de base las temperaturas medias *observadas* durante el decenio 1941-1950 se calculó la recta de regresión que permite indicar o "pronosticar" la temperatura más probable *observada* que corresponde, para cualquier caso, durante el decenio 1928-1937. Dicha recta de regresión resultó $y = 2,592 + 0,8962x$ mostrando una gran analogía con la anteriormente calculada que es, según muestra la figura 3, $y = 1,862 + 0,9254x$.

La Desviación Standard se manifestó menor que en el caso anterior, pero de ninguna manera despreciable, pues su valor es de $0^{\circ}59$ C. Ello significa que existe cierta inseguridad o discrepancia al verificar las temperaturas medias *observadas* en una red de observatorios durante un lapso dado, con las temperaturas medias también *observadas* en la misma red, pero durante un lapso distinto. Es lógico pensar que, cuanto más breves sean ambos lapsos o uno de ellos, más grande debe ser la inseguridad o discrepancia entre ambas series de observaciones y, en consecuencia, mayor debe ser la D. S.

Si de la primitiva D. S. igual a $1^{\circ}23$ C se resta la segunda D. S. de $0^{\circ}59$ C, el residuo de $0^{\circ}64$ da una idea aproximada, aunque quizás algo magnificada, de la *inseguridad intrínseca* que ofrece la técnica propuesta.

En efecto, en cambio de restar una D. S. de $0^{\circ}59$ habría que restar una algo mayor, pues el valor $0^{\circ}59$ proviene de cotejar una serie bien definida de observaciones (1941-1950) con otra serie bien definida de observaciones (1928-1937), mientras que, en el caso de nuestro problema, se coteja una serie bien definida de temperaturas *calculadas* (no *observadas*) 1941-1950, con una serie muy heterogénea de valores *observados*.

De acuerdo a las propiedades de la Desviación Standard, el valor remanente de $0^{\circ}64$ C indicaría que si las temperaturas *calculadas*, por la técnica propuesta, para el decenio 1941-1950, hubieran sido verificadas con temperaturas *observadas* en el *propio* decenio 1941-1950, en el 68 % de las localidades, así verificadas, la discrepancia o diferencia entre el valor *calculado* de la temperatura media

del mes más caluroso del año y el respectivo valor *observado* hubiera sido inferior a $0^{\circ}64\text{C}$ y en el 95 % de las localidades hubiera sido inferior a $1^{\circ}28$.

Todo lo explicado, para el mes más caluroso del año, se repitió con los datos del mes más frío del año y los resultados obtenidos son los que se indican a continuación.

El coeficiente de correlación entre las temperaturas medias *calculadas* para la serie 1941-1950 y las temperaturas medias *observadas* en las series heterogéneas, también es elevadísimo: $+0,96$ y altamente significativo. El valor del coeficiente, sin embargo, es algo más bajo que en el caso del mes más caluroso, que según se recordará es de $+0,98$.

También fue calculada la recta de regresión para indicar o “pronosticar” las temperaturas medias *observadas* sobre la base de las temperaturas medias *calculadas*, su valor es $y = 0,335 + 1,0234x$; esta recta de regresión, como, asimismo, los 19 puntos, utilizados para hallar su valor, se encuentran representados en la Fig. 3.

Por otra parte, con las dos series uniformes ya citadas, es decir, la del decenio 1928-1937 por un lado y la del decenio 1941-1950 por el otro, se calculó el coeficiente de correlación, utilizando los datos de los 25 observatorios que funcionaron en ambos decenios; el valor hallado es elevadísimo: $+0,97$ y altamente significativo. Este valor es ligeramente más bajo que el arrojado, por las mismas series, para el mes más caluroso, que es según se dijo de $+0,98$.

La recta de regresión para indicar o “pronosticar” los valores *observados* de 1928-1937 sobre la base de los valores *observados* de 1941-1950, resultó $y = 0,516 + 0,9655x$, fórmula muy semejante a la de la regresión calculada para indicar o “pronosticar” las temperaturas *observadas* de las series heterogéneas sobre la base de las temperaturas *calculadas* de la serie 1941-1950, cuya presentación es $y = 0,335 + 1,0234x$, según se recordará.

La Desviación Standard de esta segunda regresión es de $1^{\circ}47\text{C}$ y la de la primera $0^{\circ}56$, restando ésta de aquella se tendrá $1^{\circ}47 - 0^{\circ}56 = 0^{\circ}91$ que, en forma aproximada, da una idea de la inseguridad de la técnica propuesta para el mes más frío del año. Para el mes más caluroso del año el valor respectivo es de $0^{\circ}64$; como puede apreciarse, la inseguridad de la técnica propuesta resultó algo mayor para el mes más frío del año que para el mes más caluroso.

CUADRO II

Verificación de las temperaturas medias « calculadas » por la técnica propuesta, para el período 1941-1950, con las temperaturas medias « observadas » en períodos diversos

Localidades	Años de observaciones		Altura sobre nivel del mar (en metros)	Temperaturas medias reales					
	Período o serie	Cantidad		Mes más caluroso			Mes más frío		
				Calculadas (1941-1950)	Observadas	Diferencia c-f	Calculadas (1941-1950)	Observadas	Diferencia h-i
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
1. Abrapampa .	1902/1907	6	3.484	12.2	14.0	-1.8	3.9	4.5	-0.6
2. Humahuaca.	1902/1915	14	2.939	14.2	16.0	-1.8	5.5	7.5	-2.0
3. Ingenio Esperanza	1896/1915	10	1.900	23.7	25.0	-1.3	12.2	14.4	-2.2
4. Ledesma	1908/1928	21	463	26.2	26.1	+0.1	13.9	13.6	+0.3
5. Tres Cruces (Mina Aguilar)	1940/1945	6	4.600	6.3	5.3	+1.0	0.2	-1.1	+1.3
6. Tumbaya	1902/1917	16	2.094	17.9	17.0	+0.9	8.1	10.1	-2.0
7. Yuto	1911/1914	4	349	27.2	26.3	+0.9	14.5	16.5	-2.0
8. Cafayate	1908/1921	14	1.660	20.2	21.6	-1.4	9.2	9.7	-0.5
9. El Tabacal	1936/1941	6	319	27.8	27.0	+0.8	15.1	16.2	-1.1
10. Embarcación	1907/1914	8	287	28.1	27.0	+1.1	15.3	16.0	-0.7
11. La Poma	1912/1917	6	3.015	13.6	15.3	-1.7	5.4	9.4	-4.0
12. Orán	1928/1935	8	357	27.7	26.5	+1.2	14.8	14.9	-0.1
13. Palermo (Anta)	1911/1918	8	469	26.4	25.6	+0.8	14.0	12.6	+1.4
14. Rosario de la Frontera	1903/1925	23	791	24.6	25.8	-1.2	12.1	11.9	+0.2
15. San Antonio de los Cobres.	1927/1931	5	3.775	10.5	11.6	-1.1	3.1	1.7	+1.4
16. San Carlos	1902/08-1922/32	18	1.710	20.0	23.2	-3.2	9.3	10.1	-0.8
17. Talapampa	1912/1915	4	1.115	23.0	22.8	+0.2	11.3	10.4	+0.9
18. Sanaudita (Bolivia)	1943/1952	10	914	25.9	25.5	+0.4	13.1	13.8	-0.7
19. Villazón (Bolivia)	1943/1952	10	3.450	12.9	13.2	-0.3	4.3	3.8	+0.5
Diferencia media de las 19 localidades (sin considerar el signo)						1.12			1.19

Repitiendo lo que se dijo, para el mes más caluroso del año, se tendrá lo que sigue:

De acuerdo a las propiedades de la Desviación Standard, el valor remanente de 0°91 indicaría que si las temperaturas *calculadas*, por la técnica propuesta, para el decenio 1941-1950, hubieran sido verificadas con temperaturas *observadas* en el PROPIO decenio 1941-1950, en el 68 % de las localidades así verificadas, la discrepancia o diferencia entre el valor *calculado* de la temperatura media del mes más frío del año y el respectivo valor *observado* hubiera sido inferior a 0°91 C y en el 95 % de las localidades hubiera sido inferior a 1°82.

En el cuadro II se dan las discrepancias o diferencias para el mes más caluroso y para el mes más frío, tal como pudieron ser verificadas en la presente comunicación. Las discrepancias o diferencias, en ambos casos, son algo más grandes que aquellas estimadas teóricamente. Dicho resultado es la consecuencia lógica de lo ya explicado, es decir que, la verificación de los datos de temperaturas medias *calculadas* para la serie uniforme 1941-1950 fué realizada con series muy heterogéneas de temperaturas *observadas*; muchas de las cuales son resultantes de apenas 4 a 6 años de observaciones. Los valores medios de las diferencias o discrepancias, no obstante, son moderados. En efecto, para el mes más caluroso el valor es 1°1 C y para el más frío de 1°2 C; consecuentemente, en el 50 % de las localidades la discrepancia es inferior a dichos valores.

Resumen. — En las regiones montañosas la temperatura media del aire varía notablemente de lugar a lugar, a veces a pocos kilómetros de distancia. Es imposible instalar y mantener un observatorio meteorológico en cada localidad para establecer cuál es su temperatura media.

Para resolver el problema se propone un *modus operandi* o técnica, dando una acepción muy amplia a esta última palabra.

La técnica se basa, en forma fundamental, en la determinación del gradiente vertical *mediano* de la temperatura, para la región montañosa a estudiar.

Para aplicar la técnica se necesita una red básica de algunos pocos observatorios meteorológicos, que dispongan de una serie uniforme de temperaturas medias. En el ejemplo de la comunicación se usó la serie del decenio 1941-1950.

Estos pocos datos, suficientemente elaborados por la técnica propuesta, permiten luego calcular la temperatura media de cualquier pueblo, villa, colonia, aldea o ciudad, con sólo conocer su altura sobre el nivel del mar.

La técnica que se expone puede ser dividida en los siguientes pasos sucesivos:

- 1º Cálculo del *gradiente* vertical, mediano, de la temperatura;
- 2º *Triangulación* termométrica de la región bajo estudio;

- 3º Trzado de las *isotermas*, rectilíneas, reducidas al *nivel del mar*;
 4º *Cálculo de las temperaturas medias reales* de las localidades carentes de observaciones termométricas.

En el ejemplo que se ha seguido fué calculada la temperatura media del mes más caluroso del año y del mes más frío, correspondiente al decenio 1941-1950, para numerosas localidades de las provincias de Jujuy y Salta carentes de observaciones termométricas en dicho período.

Con los datos medios que se pudieron conseguir de 19 de dichas localidades, pero de series muy heterogéneas, que van de 4 a 23 años cualesquiera de observaciones, se estima que la diferencia o discrepancia entre el valor medio *calculado* por la técnica propuesta, para el decenio 1941-1950 y el que se habría *observado* para el mismo decenio 1941-1950, hubiera sido inferior (generalmente muy inferior) a 1°C en el 95 % de las localidades para el mes más caluroso del año e inferior (generalmente muy inferior) a 1°C, también para el 95 % de las localidades, pero para el mes más frío del año.

Los resultados logrados por la técnica propuesta pueden considerarse *muy satisfactorios*, máxime si se tiene en cuenta que las 19 localidades, cuyas temperaturas medias fueron cotejadas en condiciones tan desfavorables, se encuentran, además, ubicadas a alturas sobre el nivel del mar muy dispares; desde los 287 hasta los 4.600 metros.

Summary ¹. — A technics permitting, in a few hours, to calculate the air mean temperatures (monthly or annual ones) from a lot of mountainous localities with no thermometric observations, if having their respective *heights* at sea level. is proposed in the report.

To apply the technics above, a basic network covering only some meteorological observatories is needed, provided these may supply an uniform series of average temperatures, for instance, from ten years 1941-1950 period.

The task is developed in 4 successive steps, as follows:

1. Calculation of median vertical *gradient* of temperature;
2. Thermometric *triangulation* of the region under study;
3. Drawing of rectilinear *isotherms*, reduced at sea level; and
4. Calculation of actual mean *temperatures* of localities with no thermometric observations.

The mean difference between *computed* values, through the proposed technics, for 19 localities of the Jujuy and Salta provinces, and the values *effectively recorded* in the same, was 1°C to the hottest month and 1°C to the coldest one.

¹ Traducido por la doctora María Campmany.