

PROBABILIDAD DE VALORES MINIMOS EXTREMOS DE ALMACENAJE DE AGUA EN EL SUELO EN
LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Adrián Troha

Juan A. Forte Lay

CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOMETEOROLOGICAS. CONICET. ARGENTINA.

RESUMEN

Se realizó un análisis de valores extremos mínimos anuales de almacenaje de agua en el suelo, para tratar de estimar correctamente su recurrencia probable, utilizándose la metodología de la distribución doble exponencial según GUMBEL para valores mínimos.

Se calculó el almacenaje de agua en el suelo por medio del balance hidrológico diario de Thornthwaite-Mather para un total de 198 estaciones pluviométricas de la Provincia de Buenos Aires durante el período 1921-70.

Se encontró un buen ajuste de la distribución teórica con la distribución empírica de valores mínimos de almacenaje obtenidos mediante los balances mencionados, lo que permite evaluar la probabilidad de ocurrencia de grandes sequías históricas que afectaron a la región.

SUMMARY

The annual extreme minimum soil water storage values were analyzed in order to try to estimate their probable recurrence, Gumbel's double exponential methodology for minimum values was used.

Soil water storage was calculated for 198 pluviometric stations in the Province of Buenos Aires for the period 1921-70, by means of Thornthwaite-Mather's daily hydrological balance.

The founding of a good fitness between the theoretical distribution and the storage values as computed from the abovementioned water balance would permit to evaluate the occurrence probability of great historical drought which affected the region.

INTRODUCCION

Desde el punto de vista agrometeorológico, la sequía es una adversidad que no puede ser solamente caracterizada por una disminución marcada de los registros pluviométricos normales o habituales durante un período dado y en una región determinada, ni tampoco por algún otro elemento meteorológico aislado.

En cambio un estimador fundamental para la detección de este fenómeno es el valor del monto del agua edáfica disponible para la vegetación y su evolución a través del tiempo.

El relevamiento de este último elemento en forma directa es costoso y engorroso. Es por eso que desde hace varias décadas se ha estado intentando perfeccionar modelos empíricos y semiempíricos de balance de agua en el suelo que permiten estimar las variaciones del contenido hídrico del mismo a partir de datos meteorológicos.

En varios trabajos (por ejemplo Forte Lay y Burgos, 1978 y Burgos, Troha y Forte Lay, 1980) realizados por el Centro de Investigaciones Biometeorológicas (CIBIOM) del CONICET se ha demostrado el grado de ajuste de varios modelos más o menos complejos a las observaciones de humedad del suelo directas realizadas a campo por el método gravimétrico, especialmente en la Región Pampeana. Se ha encontrado la buena aplicación que en la zona tiene el método de Thornthwaite y Mather (1955), que sin ser el mejor, se encuentra entre los de mejor ajuste y además permite realizar estimaciones para grandes áreas pues no necesita valores de otros elementos meteorológicos que no sean la temperatura y la precipitación diaria, además de la latitud de cada localidad, datos que suelen ser suficientemente fidedignos y fáciles de obtener. Además como ha sido demostrado en otro trabajo anterior (Burgos y Forte Lay 1978a), el método simplificado que consiste en reemplazar la temperatura media diaria real por el valor medio diario normal de dicho elemento, puede utilizarse sin inconveniente pues los resultados no difieren significativamente del método original.

El presente trabajo intenta analizar las probabilidades de ocurrencia de algunas grandes sequías históricas estudiando a las mismas desde el punto de vista de su intensidad, es decir por los valores mínimos anuales diarios de almacenaje de agua en el suelo estimados por el método de Thornthwaite-Mather (1955) simplificado según lo mencionado anteriormente, ajustando a los valores empíricos obtenidos mediante la distribución exponencial para valores mínimos desarrollada por Gumbel (1958) y calculando de esta manera probabilidades de valores mínimos de almacenaje de agua en el suelo.

MATERIALES Y METODO

La información básica utilizada fueron los datos diarios de 198 estaciones de la Provincia de Buenos Aires y para el período de 60 años (1911-1970) en la mayoría de ellas, disponiéndose también de los valores de temperaturas medias mensuales de las estaciones climatológicas del área para el período 1941-1960 que sirvieron de base para el trazado de las isotermas mensuales normales de la provincia, a partir de las cuales se estimaron las temperaturas medias mensuales para todas las estaciones pluviométricas.

Luego mediante un programa de computación se calcularon las temperaturas medias diarias normalizadas de las que se obtuvieron los valores de evapotranspiración potencial media diaria normal para el cómputo del balance hidrológico diario en cada estación por el método de Thornthwaite simplificado.

La capacidad máxima de retención (capacidad de campo) para todos los suelos de la provincia de Buenos Aires se estimó globalmente como de 200 mm de lámina de agua. Este criterio se utilizó por dos razones, en primer lugar para poder hacer comparables los resultados obtenidos y en segundo lugar por conocer la existencia de una relación entre la profundidad de la exploración radical de la vegetación y el tipo de textura del suelo. Es decir generalizando, hacia el este de la provincia con suelos de textura arcillosa y con capacidades máximas de almacenaje de alrededor de 400 mm en 1 m de profundidad, el 90% de las raíces de la vegetación natural y de los cultivos más importantes no suele ir más allá de los 50 cm. Mientras que en el oeste del territorio provincial que cuenta con suelos de textura más arenosa y cuya capacidad de almacenaje es de alrededor de 200 mm de lámina de agua hasta el metro, las raíces suelen alcanzar fácilmente dicha profundidad y aún superarla. Por lo que la elección de 200 mm como lámina de capacidad de campo sería la más representativa dentro del ámbito estudiado.

Del balance diario de agua realizado mediante el programa de computación aludido se obtuvo el valor mínimo anual estimado de almacenaje para el período analizado en todas las estaciones, descartándose los primeros 10 años (1911-1920) para que la serie tuviera mayor uniformidad pues algunas estaciones no contaban con valores de precipitación para dicha década completa, trabajando en consecuencia solamente para el período de 50 años 1921-1970.

Se procedió al ajuste de los valores empíricos de almacenaje mínimo hallados con la distribución doble exponencial de Gumbel para valores mínimos cuya función es la siguiente:

$$F(x) = e^{-\left(\frac{x - \gamma}{\beta - \gamma}\right)^\alpha} \quad \text{donde}$$

$F(x)$ es la distribución de probabilidades de valores mínimos de x de una

muestra α , β y γ son sus parámetros, siendo α el parámetro de escala, β el de ubicación del valor medio o central mientras que el parámetro γ es el límite inferior.

La obtención de α , β y γ se realizó mediante el uso de las tablas propuestas por Gumbel (1958), según lo recomendado por Yevjevich (1972).

Al mismo tiempo se realizaron los balances hidrológicos diarios para todas las estaciones con la finalidad de estimar el almacenaje mínimo durante tres grandes sequías históricas, analizando las dos más importantes que se centraron en el verano de 1917-1918 y durante el período estivo otoñal de 1979 que afectaron grandes áreas de la provincia de Buenos Aires y que tuvieron lugar fuera del período de 50 años mencionado anteriormente. Luego se analizó la probabilidad de ocurrencia de fenómenos similares de acuerdo a la distribución estudiada.

RESULTADOS OBTENIDOS

Con la serie de valores mínimos diarios anuales de almacenaje estimado se procedió al cálculo de la distribución empírica ordenando la serie y calculando los percentiles. También se ajustó la distribución empírica con la función doble exponencial de Gumbel para valores mínimos, resultando en todos los casos un excelente ajuste, lo que se puede visualizar en la Fig. N° 1 donde se observan las funciones empíricas y teóricas para cuatro estaciones pluviométricas de la provincia de Buenos Aires con regímenes de precipitación considerablemente diferentes, con la finalidad de cubrir lo mejor posible la gama de regímenes de humedad del suelo de la provincia.

Cabe destacarse que con la serie de datos analizados que cubren un período de 50 años, es posible asegurar como máximo la recurrencia de eventos hasta el 2% de probabilidad (es decir una vez cada 50 años), de tal manera los percentiles se calcularon solamente hasta dicho nivel de probabilidad. En cambio gracias al ajuste con la distribución teórica se pueden observar en los gráficos de las figura N° 1 recurrencias de hasta una vez cada 1000 años.

Es de hacer notar que desde el punto de vista agrometeorológico se puede considerar como de sequía absoluta el período de tiempo durante el cual el nivel de almacenaje de agua en el suelo es igual o cae por debajo del denominado punto de marchitez permanente que en suelos de textura media puede considerarse en alrededor del 50% de la capacidad máxima de retención; es decir en el caso de nuestros ejemplos cuando el almacenaje cae debajo de 100 mm. Puede por lo tanto verificarse que la función teórica se ajusta muy bien hasta niveles muy por debajo del punto considerado como crítico para la detección de una sequía considerable, ajustando por supuesto en forma excelente por encima de dicho nivel.

En razón del buen ajuste que se obtuvo con la función expuesta, se extendió su utilización a las 198 estaciones pluviométricas disponibles para las cuales se había realizado un balance hídrico día a día obteniendo valores de almacenaje mínimo anual para toda la gama de probabilidades acumuladas, interesándonos fundamentalmente las de menor recurrencia media como ser 20; 10; 5; 2; 1; Q5; Q2 y Q1%.

En la figura N° 2 A se puede observar el mapa de valores mínimos de almacenaje correspondiente al 10% de probabilidad (una vez cada 10 años) donde se advierte que los valores mínimos anuales de almacenaje más altos se encuentran distribuidos en dos núcleos geográficos, el principal en el sudeste de la provincia, aproximadamente sobre el sistema serrano de Tandilia y otro hacia el centro-norte de la misma con valores que oscilan en alrededor de un tercio de la capacidad de campo: 60-70 milímetros de lámina de agua. Los valores más bajos se observan hacia el sudoeste de la provincia con alrededor del 7 % de la capacidad de retención (15 milímetros de lámina de agua).

Debe destacarse que los valores de almacenaje mínimo de agua en el suelo anteriormente citados son estimados y que no siempre pueden verificarse como absolutamente ciertos ya que en el este y sudeste de la provincia de clima marítimo con elevada humedad ambiente, difícilmente las condiciones reinantes pueden ser comparables (a igualdad de temperatura y duración del día), a las que probablemente se registren en el sudoeste provincial con frecuentemente altos valores de déficit de saturación y de velocidad del viento y con menor nubosidad factores éstos que no son tenidos en cuenta en el cálculo de la evapotranspiración potencial para el método de Thornthwaite (1948); siendo probable que en las condiciones del este y sudeste provincial, no sólo por el clima, sino también por el tipo de suelo con alto contenido de arcilla la humedad edáfica no descienda mucho más allá del denominado punto de marchitez permanente (Forte Lay y Burgos 1978). Sería por lo tanto conveniente determinar experimentalmente el límite de desecamiento edáfico en grandes sequías en diferentes áreas pampeanas como ya se ha hecho en distintas zonas de áridas del país (Burgos, Troha, Forte Lay, 1980). Sin embargo, el análisis expuesto tiene valor desde el punto de vista comparativo.

Esta distribución geográfica de los valores mínimos de almacenaje, aparentemente caprichosa, puede tener su explicación en la distribución de los valores normales de precipitación y de evapotranspiración potencial de los meses estivales, que se puede apreciar en los mapas de la figura N° 3 A y B respectivamente. En ellos se observa que la precipitación normal de los 3 meses más cálidos es mayor en la parte central del extremo norte de la provincia, disminuyendo generalmente hacia el sur con un mínimo secundario relativo en la región central-este, mientras que la evapotranspiración potencial presenta en el mismo período, el valor mínimo en los extremos noroeste y noreste de la provincia con una disminu -

Aires, que según la extrapolación mediante la función de Gumbel llega en algunos casos a valores de Q1% (recurrencia media de 1 vez cada 1000 años). En cambio, curiosamente en toda el área oeste de la provincia los valores de almacenaje mínimo determinaron probabilidades muy superiores al 50% en algunos casos el valor mínimo fue mayor que el más alto de toda la serie analizada (50 años).

CONCLUSIONES

1. La distribución teórica doble exponencial de Gumbel para valores mínimos, ajusta muy bien a la distribución empírica de valores mínimos anuales de almacenaje de agua en el suelo.
2. Dentro de la provincia de Buenos Aires el campo de valores de almacenaje mínimo anual para una determinada probabilidad es relativamente homogéneo haciendo abstracción del extremo sudoeste provincial de clima semiárido, donde los valores son considerablemente bajos.
3. Si bien se ha demostrado en trabajos anteriores que el balance hídrico diario según la metodología de Thornthwaite y Mather ajusta bien a los valores observados de humedad edáfica, puede sin embargo recomendarse la realización de determinaciones a campo en diferentes zonas en casos de extrema sequía con el fin de conocer el límite de desecamiento natural del suelo pudiendo así corregir la metodología del balance.
4. Sería conveniente incluir en este estudio una serie pluviométrica más larga con lo que probablemente se suavizarán las irregularidades en los campos de isolíneas de almacenaje mínimo y de probabilidad.
5. La metodología utilizada permite caracterizar a las sequías desde el punto de vista de su intensidad. Si además se tuviera en cuenta la duración de las mismas (por ejemplo número de días por debajo de determinado nivel de almacenaje), podría constituirse en un método muy idóneo para delimitar objetivamente áreas de emergencia agropecuaria y aconsejar grados de asistencia al productor ante este tipo de adversidad agroclimática. Esto sería posible siempre que estuvieran disponibles los datos pluviométricos en un tiempo prudencial.

Agradecimientos Los autores expresan su agradecimiento al Servicio Meteorológico Nacional por haber suministrado los datos pluviométricos diarios utilizados en este trabajo; al Centro de Cómputos en Salud dependiente de la U.B.A. por facilitar la utilización de su equipo I.B.M. 360; al Ingeniero Darío Almonacid que intervino en el procesamiento de la información, a las Ingenieras Agrónomas Sonia M. Suarez, María M. Villagra y a la Srta. Mirta Rabadán que colaboraron en la confección de gráficos y mapas y a la Srta. María A. Soria por su tarea dactilográfica.

BIBLIOGRAFIA

- Burgos J.J., 1969. "El clima de la provincia de Buenos Aires en relación con la vegetación natural y el suelo". En Cabrera, A.L., "Flora de la provincia de Buenos Aires". INTA, Buenos Aires, T. IV, parte 1^a : 33-39.
- Burgos J.J. y Forte Lay J.A., 1978a. "Método para habilitar la información de la red pluviométrica en el estudio areal del régimen de la sequía edáfica" Taller Argentino-Estadounidense sobre Sequías. Mar del Plata, Diciembre de 1978. CONICET, en prensa.
- Burgos J.J. y Forte Lay J.A. 1978b. "Capacidad de almacenaje de agua en los suelos de la Región Pampeana". Taller Argentino-Estadounidense sobre Sequías. Mar del Plata, Diciembre de 1978. CONICET, en prensa.
- Burgos J.J., Troha A. y Forte Lay J.A. 1980. "Capacidad de agua y verificación de modelos de estimación de valores mínimos de almacenaje en algunos suelos áridos y semiáridos. "VII Reunión Nacional para el Estudio de las Regiones Áridas y Semiáridas. San Luis, Noviembre de 1980, en prensa.
- Burgos J.J., Troha A. y Forte Lay J.A., 1982. "Evaluación de períodos secos y de lluvias extraordinarias en la Provincia de Buenos Aires durante el período 1979-1981". AAGG. Mar del Plata, Octubre de 1982.
- Forte Lay J.A. y Burgos J.J., 1978. "Verificación de métodos de estimación de la variación del almacenaje de agua en suelos pampeanos". Taller Argentino-Estadounidense sobre Sequías. Mar del Plata, Diciembre de 1978. CONICET, en prensa.
- Gumbel E.J., 1958. "Statistics of Extremes". Columbia University Press, New York, U.S.A.
- Thornthwaite C.W., 1948. "An approach toward a rational classification of climate". Geogr. Rev. 38: 85-94. U.S.A.
- Thornthwaite C.W. and Mather J.R., 1955. "The water balance". Publications in climatology VIII (1) 104 p. Drexel Inst. of Tech., New Jersey. U.S.A.
- Yevjevich E.J., 1972. "Probability and Statistics in Hidrology". Water Resources Publications. Fort Collins. Colorado. U.S.A.

EPIGRAFES DE LAS FIGURAS

- Fig. 1 : Distribución empírica (percentiles) y ajuste mediante la distribución teórica doble exponencial (Gumbel) para los valores mínimos extremos anuales de almacenaje de agua en el suelo en cuatro localidades bonaerenses, suponiendo una capacidad de almacenaje de 200 mm.
- Fig. 2 : Mapas de distribución geográfica de los valores anuales mínimos extremos de almacenaje de agua en el suelo en mm en la provincia de Buenos Aires para las siguientes probabilidades: A.-10%, B.-5%; C.-2%; D.-1%. (Capacidad de almacenaje supuesta 200 mm).
- Fig. 3 :A Valores normales de la precipitación en mm durante el trimestre más cálido (Diciembre-Enero-Febrero) en la provincia de Buenos Aires. Período 1911-1970.
B Valores normales de la evapotranspiración potencial en mm calculada por el método de Thornthwaite (1948) durante el trimestre más cálido (Diciembre-Enero-Febrero) en la provincia de Buenos Aires. Obtenidos a partir de temperaturas medias del período (1941-60).
- Fig. 4 :A Valores de almacenaje mínimo anual (mm) estimado para la sequía estival de 1917-18.
B Probabilidad (%) de ocurrencia de valores menores o iguales a los estimados para dicha sequía.
C Almacenaje mínimo anual estimado para la sequía estivo-otoñal de 1979.
D Probabilidad de ocurrencia de valores menores o iguales a los estimados para dicha sequía.

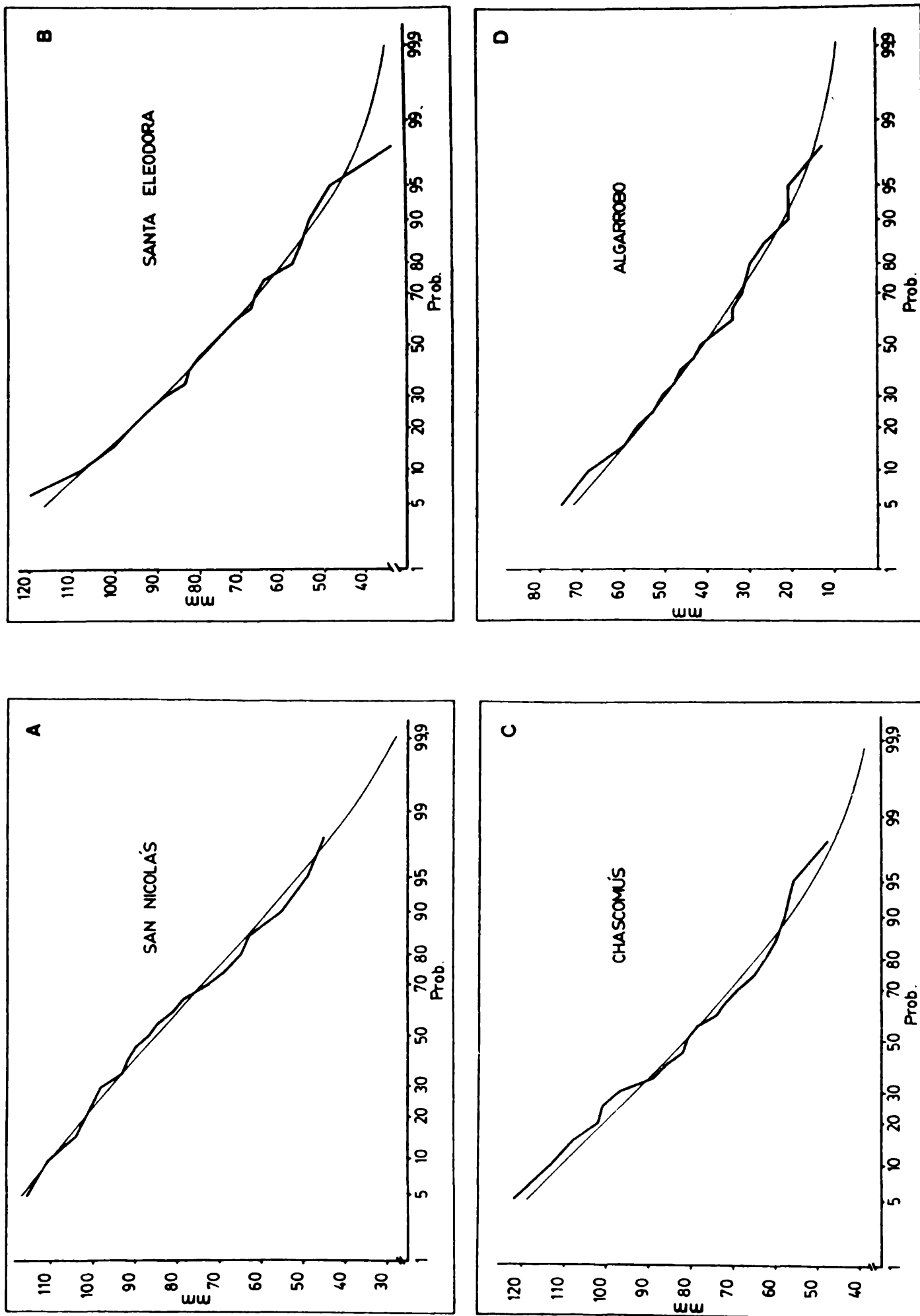


Fig. 1

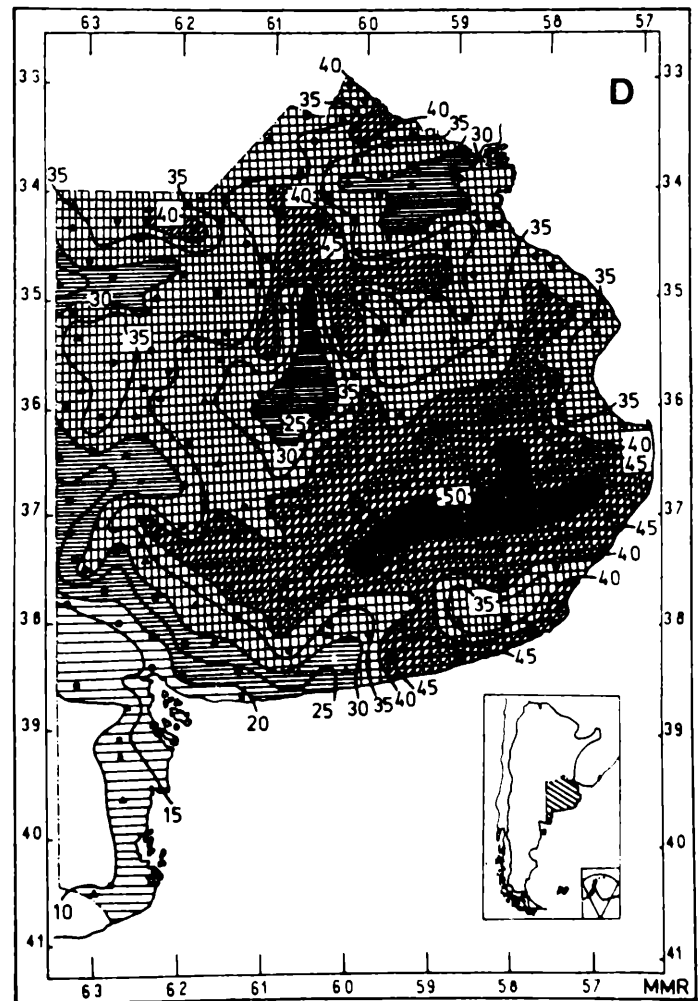
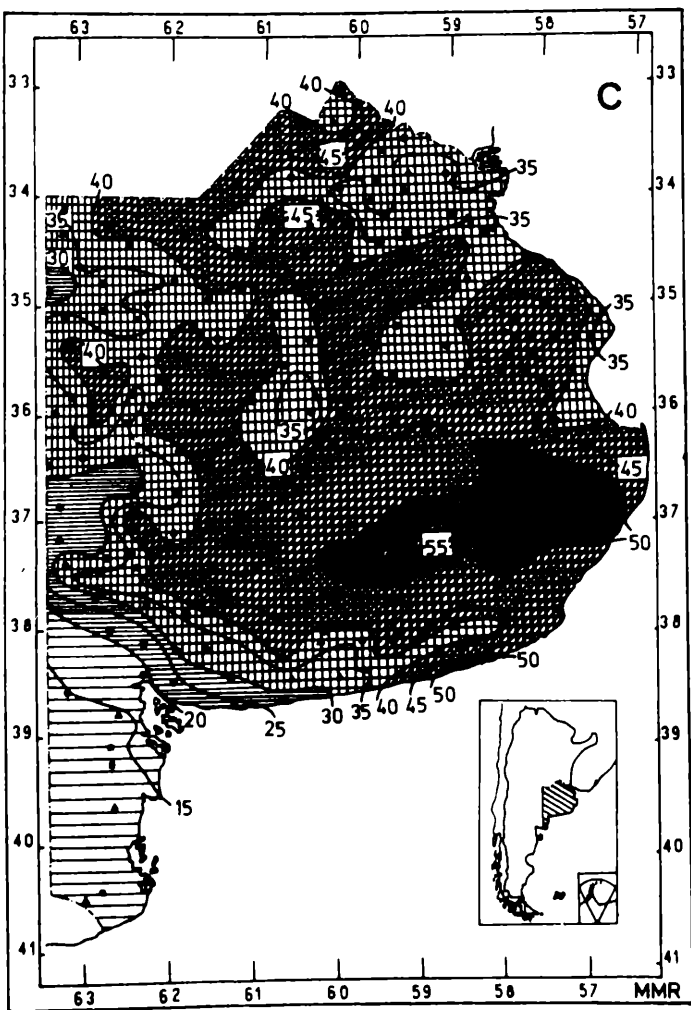
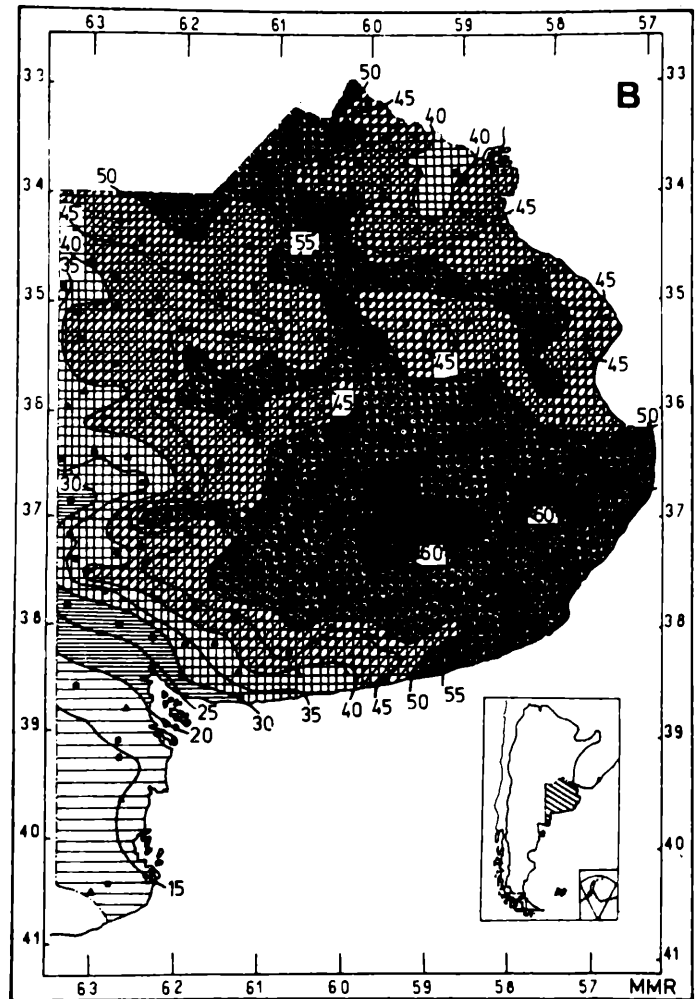
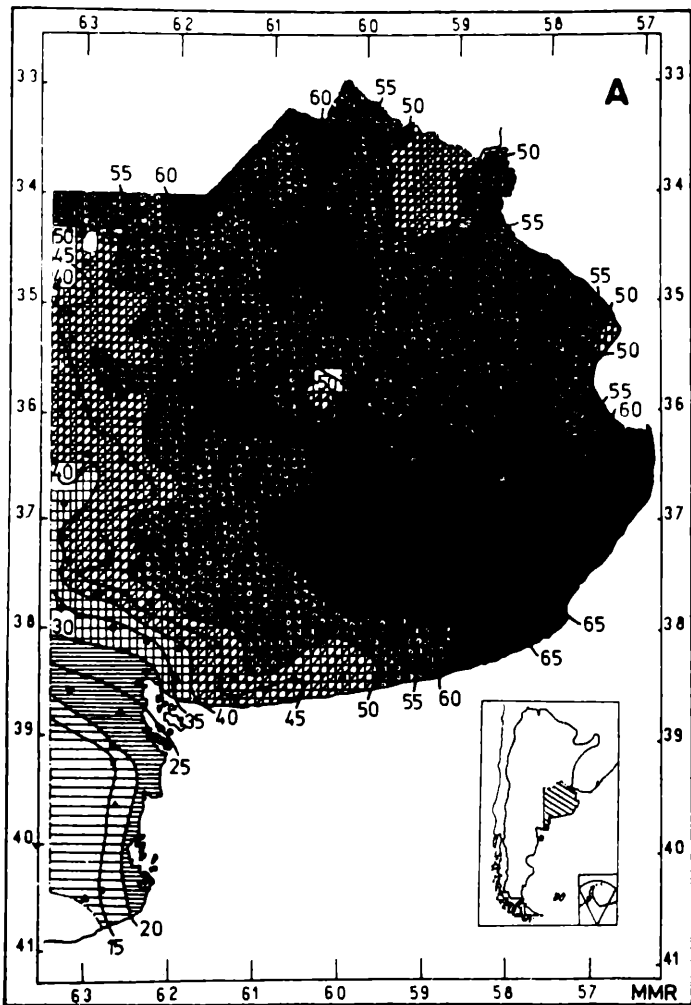


Fig. 2

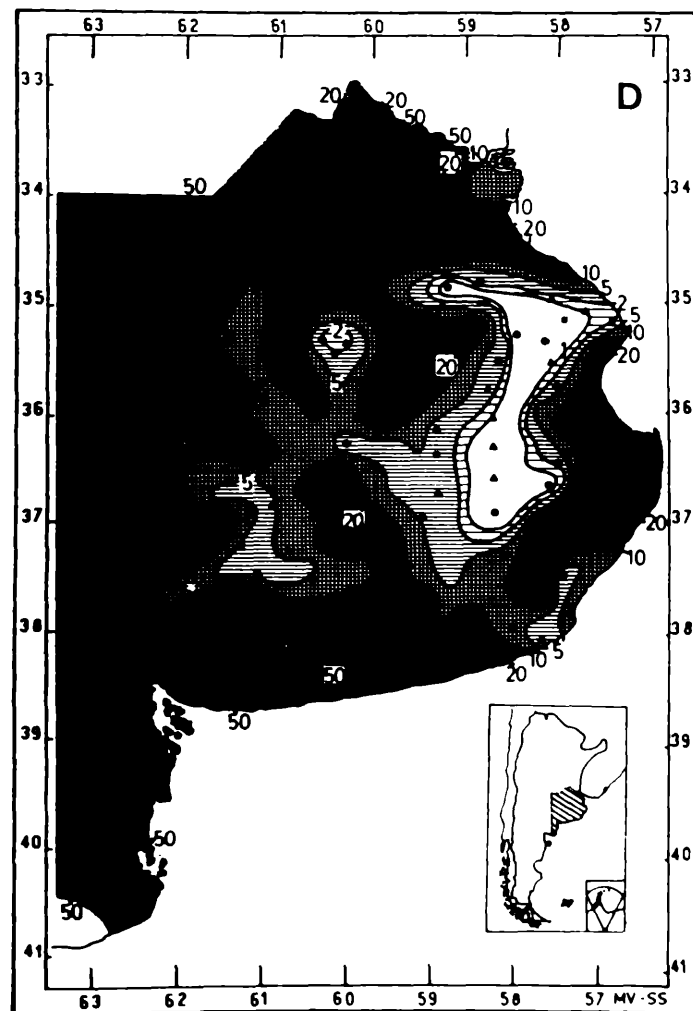
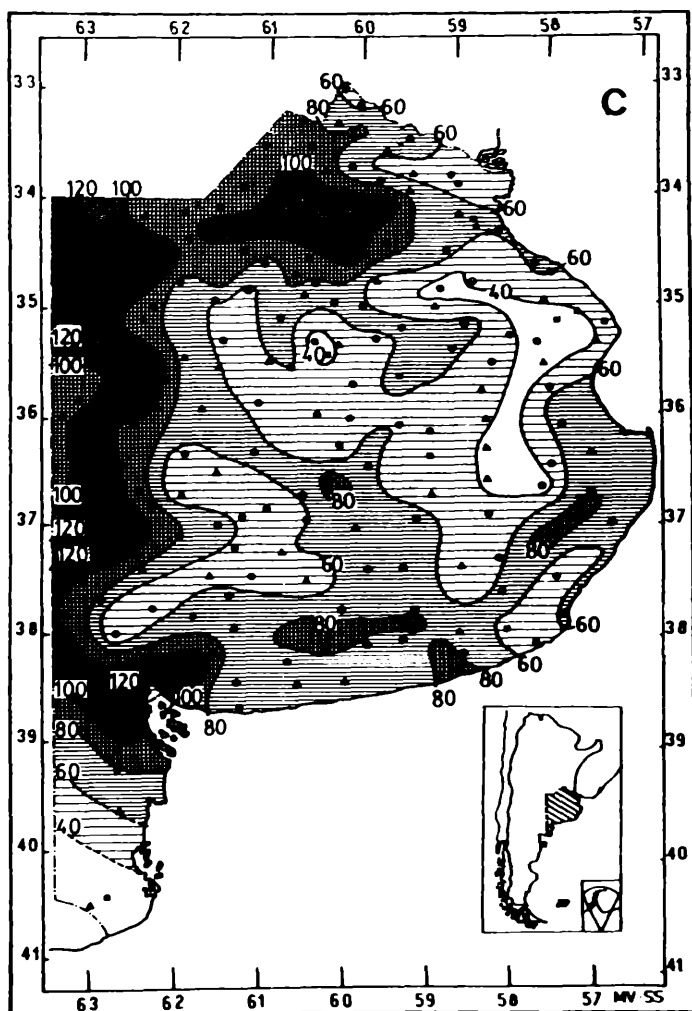
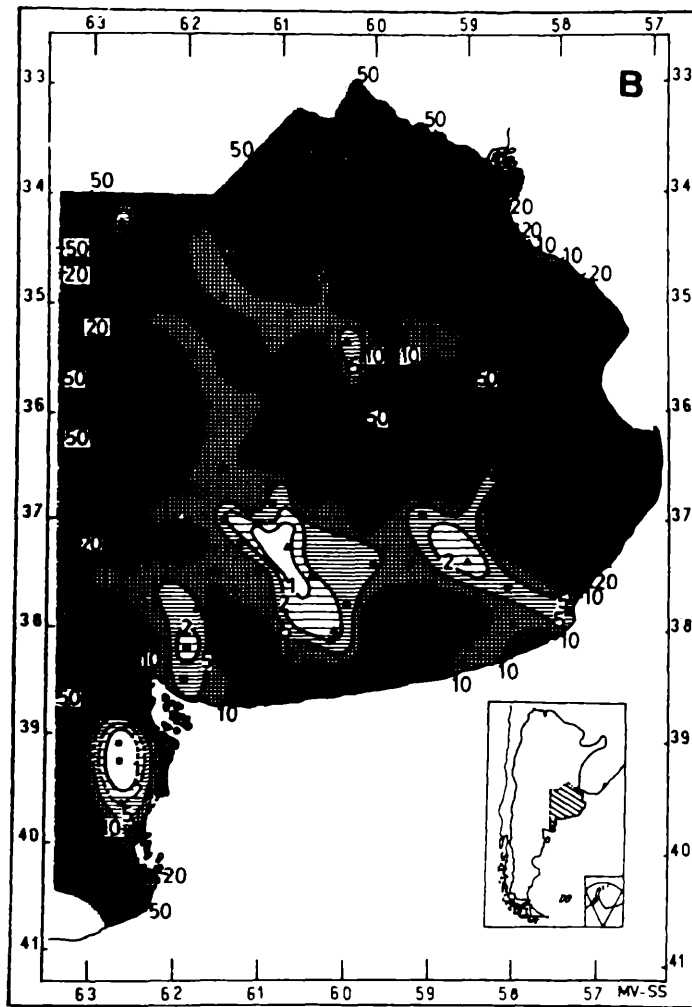
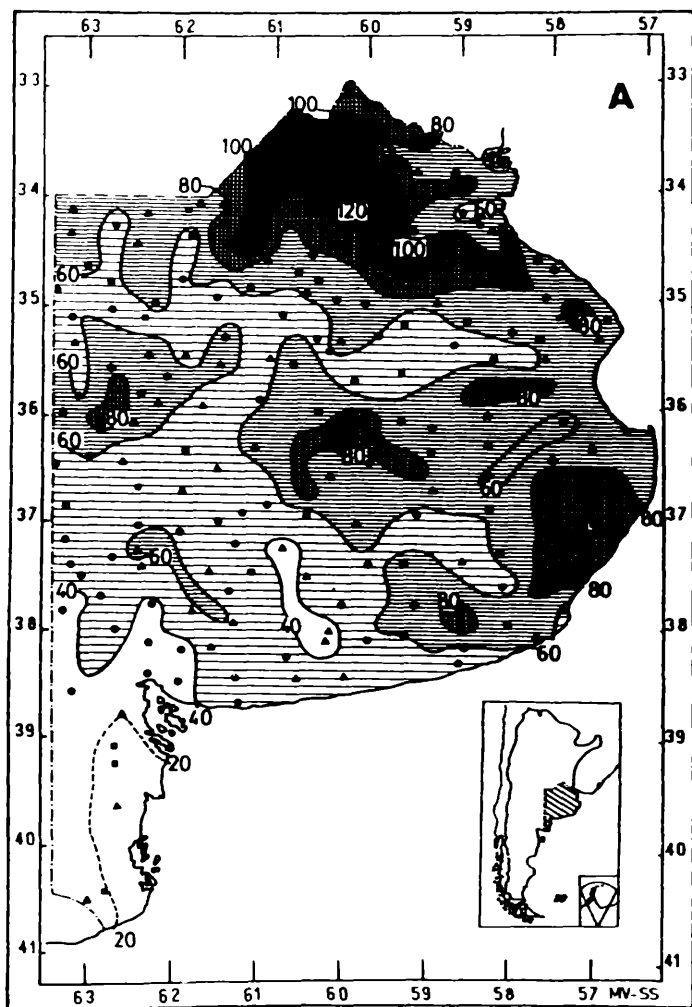


Fig. 4