

VARIACION DEL AGUA EDAFICA DISPONIBLE PARA LOS CULTIVOS EN LA REGION ORIENTAL DE LA ARGENTINA

A. J. Pascale y E. A. Damario (1)

Recibido: 24/1/83
Aceptado: 17/6/83

RESUMEN

Se estima el balance de agua mensual para 191 estaciones meteorológicas ubicadas al oriente del límite que separa los climas subhúmedos-secos de los semiáridos (Thornthwaite, 1948). Se utiliza el método de balance hidrológico seriado (Pascale y Damario, 1977), adaptación del cómputo climático de Thornthwaite y Mather (1957) considerando una capacidad máxima de retención del suelo de 200 mm de agua.

El balance de agua mensual se analiza de acuerdo con la probabilidad estadística de ocurrencia de las situaciones hídricas equilibradas, de deficiencias o de excesos de agua. Los resultados se presentan en una serie de cartas agroclimáticas que para cada mes incluyen la evapotranspiración potencial media, la precipitación mediana y las situaciones hídricas posibles de ocurrir en el 20, 50 y 80 por ciento de los años. Se discute la posible satisfacción de las necesidades de agua de los cultivos durante su ciclo vegetativo en la región, frente a las situaciones hídricas probables que se indican en las cartas respectivas.

VARIATION IN SOIL WATER AVAILABILITY FOR CROPS IN THE EASTERN REGION OF ARGENTINA

SUMMARY

Monthly water balances were estimated for 191 meteorological stations situated to the east of the limit between subhumid-dry and semi-arid climates (Thornthwaite, 1948). The serial water balance method (Pascale and Damario, 1977), an adaptation of the climatic computation of Thornthwaite and Mather (1957), was used to arrive at these estimates. Water holding soil capacity was taken to be 200 mm.

The monthly balances were used to generate the probabilities of surplus, equilibrium or deficiency water situations, and the results presented as a series of agroclimatic maps which display, for each month, mean potential evapotranspiration, median precipitation, and water balance situations likely to occur in 2, 5, and 8 years out of ten. The satisfaction of crop water requirements is discussed in relation to these probability.

(1) Cátedras de Climatología y Fenología Agrícolas de las Facultades de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, (1417) Buenos Aires y Universidad Nacional de La Plata, 60 y 118, (1900) La Plata, respectivamente.

INTRODUCCION

Las condiciones de aridez o semiaridez que predominan en más de las dos terceras partes del territorio continental de la Argentina, acentuadas por las reducidas posibilidades de regadío, y la manifiesta irregularidad de las precipitaciones en la superficie restante considerada hidrológicamente como húmeda, constituyen el factor más limitativo para la expansión del área agrícola actual.

La agricultura extensiva en seco se realiza solamente en la llanura oriental húmeda, donde el rendimiento de los cultivos es regulado principalmente por las variaciones que experimenta el contenido de agua útil del suelo como resultado del balance entre los aportes y las pérdidas acuosas ocurridas en la capa de exploración radicular. A esto responde la importancia que la agroclimatología adjudica al conocimiento del balance hidrológico como medio para evaluar las aptitudes agrícolas regionales, planificar recursos, aconsejar sobre usos de tierras y técnicas, etc.

Excepción hecha de la precipitación, las dificultades para la medición de los otros elementos integrantes de ese balance ha conducido a buscar su conocimiento por medio de estimaciones teóricas basadas en las condiciones meteorológicas, edáficas y de vegetación. Para aplicaciones agroclimáticas como las anteriormente citadas, se han desarrollado diversas metodologías de cómputo las que, generalmente, consideran al mes como el período más factible y adecuado.

Para que los resultados de esa cuenta hidrológica adquieran utilidad práctica, deberán informar no solamente las condiciones hídricas medias o normales, sino también las alteraciones que año a año puedan ocurrir por la particular variación de sus elementos y, muy especialmente, por las irregularidades en la magnitud y distribución de las precipitaciones. Este tipo de información puede proporcionarla únicamente el llamado balance mensual seriado o meteorológico, consis-

tente en realizar los cómputos en forma continua utilizando las evapotranspiraciones potenciales y precipitaciones mensuales registradas durante muchos años consecutivos. Para cada mes se obtendrá finalmente una serie de valores correspondientes a la situación hídrica indicada año por año por el balance, la cual podrá resultar una condición de equilibrio o diferentes magnitudes de deficiencia o excesos de agua. La proporción o frecuencia que manifieste cada situación hídrica dentro de la serie mensual ordenada, será una expresión valedera de la probabilidad de ocurrencia que le corresponda.

La aplicación agroclimática general del balance seriado, así como la propuesta de una metodología para su ejecución y la interpretación analítica de su resultado fue desarrollada anteriormente (Pascale y Damario, 1977). En ese mismo año, Vargas (1977) efectuó un estudio similar sobre un balance hidrológico seriado, comparando teórica y prácticamente sus diferencias con el balance climático y analizando matemáticamente la ocurrencia de algunas variables hídricas. La bondad de la metodología del balance de agua seriado quedó demostrada en diversas aplicaciones agrometeorológicas, como por ejemplo: determinación de exigencias bioclimáticas de cultivos (Pascale y Troha, 1977), delimitación de áreas agroclimáticas (Pascale *et al.*, 1979) o estimación de rendimientos regionales (Zaffanella y Zaffanella, 1960; Pascale y Damario, 1969).

Precisamente, la cartografía agroclimática que se presenta en este estudio, se originó en la aplicación de la mencionada metodología del balance seriado a información térmica y pluviométrica de la región oriental argentina de cultivos en seco. En esta primera contribución se presentan cuatro cartas para cada mes del año, una de las cuales reproduce conjuntamente las isolíneas de evapotranspiración potencial media y las medianas de precipitación, ambas derivadas de la información básica utilizada. Las tres cartas restantes se refieren a los valores de la situación hídrica que según el balance seriado serían posibles de ocurrir en el 20, 50 y 80

por ciento de los años, frecuencias que se supone revisten especial interés para aplicaciones agroclimáticas generales. Estas cartas, que serán complementadas en posteriores entregas con detalles sobre otros aspectos emergentes del balance seriado, pretenden contribuir al mejor conocimiento agrícolimático del régimen hídrico argentino.

MATERIALES Y METODOS

Región

El balance hidrológico seriado (BHS) se aplicó a aquella parte oriental del territorio argentino donde es posible realizar cultivos extensivos con el único aporte de la precipitación natural, es decir, agricultura de secano. Geográficamente comprende la totalidad de las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Corrientes, Entre Ríos y Misiones, gran parte de las de Córdoba, Chaco y Formosa y algo de las de Santiago del Estero y La Pampa (Figura 1). Es una llanura extendida, alterada solamente por serranías suaves de poco más de 500 m de altura en algunas localidades de Misiones y del sudeste de Buenos Aires, y en la cual se desarrollan las formaciones fitogeográficas de la estepa pampeana, de la selva misionera, del parque mesopotámico y parte del parque chaqueño. Para este análisis, su límite occidental se fijó en coincidencia con el establecido por Thornthwaite en su sistema de clasificación climática, como separación de los climas subhúmedo-secos y los semiáridos (Thornthwaite, 1948). Sin duda el régimen de la humedad de suelo debería manifestar en la región un gradiente negativo desde noreste a suroeste en concordancia con la reducción que muestra el monto de las precipitaciones y, consecuentemente, deberían también reducirse en el mismo sentido las posibilidades del cultivo en secano. Sin embargo, la interacción de la demanda atmosférica con la época y cantidad de las lluvias conforma un balance de agua regional que, en muchos casos, no se corresponde con la premisa apuntada.

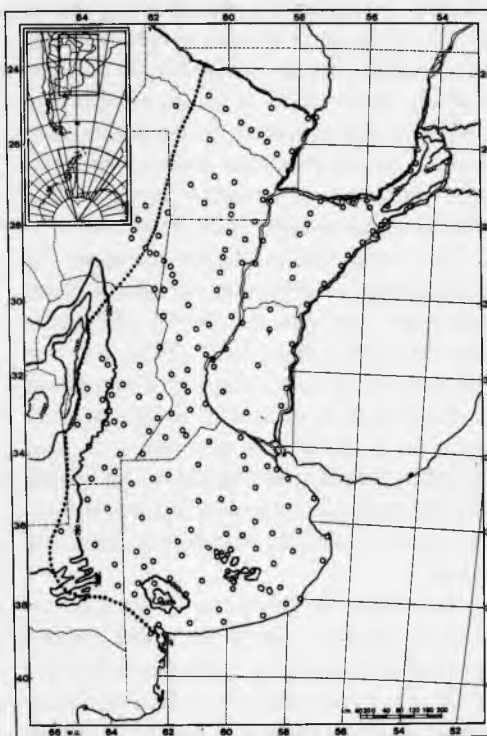


Figura 1: Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas para computar los balances hidrológicos seriados.

Esta región fue relevada anteriormente con enfoque climatológico (Burgos, 1969 y 1970) incluyendo aspectos referentes a las condiciones hídricas medias producidas por el balance climático común, es decir, aquel computado con las evapotranspiraciones y precipitaciones normales mensuales, cuyos resultados, además de no ofrecer información sobre variabilidad, generalmente discrepan con la verdadera situación hídrica mediana, tal como fuera demostrado en el estudio ya citado.

Información utilizada

La información básica comprendió datos térmicos y pluviométricos correspondientes a 191 estaciones meteorológicas, -83 climáticas y el resto solamente pluviométricas-, cuya distribución geográfica (Figura 1) seña-

la escasa cobertura en algunas áreas de las que no fue posible obtener mayor información. En este aspecto, es importante destacar a toda la provincia de Misiones, advirtiéndose por ello que el trazado de las isolíneas, en las cartas que se presentan, debe considerarse como provisorio o tentativo tanto en ésta como en las otras áreas poco informadas.

Las temperaturas medias mensuales de las estaciones climáticas se extrajeron de las respectivas estadísticas oficiales publicadas (Arg., Serv. Met. Nac., 1958, 1972 -a y b- y 1981) y las correspondientes a estaciones pluviométricas se estimaron tomando como base valores calculados para enero y julio (De Fina, 1978), completándose las de los meses restantes por comparación con la marcha térmica anual en estaciones climáticas vecinas.

Los datos de precipitación (P) mensuales se extrajeron directamente del archivo pluviométrico oficial y corresponden a períodos observacionales de diferentes duración y ubicación temporal. Así, en 48 localidades (25 por ciento del total) los datos abarcan a 40 o más años de registros, en otras 103 (54 por ciento) cubren períodos desde 30 a 39 años y en las 40 restantes entre 20 y 29 años. Cualquiera sea la extensión usada, el grueso de la información se ubica dentro del período cincuentenario 1921-70. Valores faltantes en las series fueron estimados por comparación con las lluvias registradas simultáneamente en estaciones vecinas, siempre y cuando la interrupción no excediera los tres meses; caso contrario, el balance fue suspendido, reiniciándolo con un almacenaje estimado al restablecerse la continuidad. Ciertos defectos que se reconocen a los datos de lluvias, como aquellos debidos a las diferentes categorías de las estaciones o al cambio del instrumental de medición (Arg., Serv. Met. Nac., 1962), aconsejaban depurar y corregir previamente las series a utilizar en los balances; pero, por no existir módulos de corrección según signo y magnitud de las diferencias, y porque su aplicación hubiera significado una tarea difícil y de resultados poco confiables, se prefirió reemplazar la calidad

de la información por su cantidad, aumentando en lo posible el número regional de las localidades, suponiendo que ésta metodología minimiza las posibles deficiencias apuntadas. Solamente en aquellos casos en que los resultados del balance aparecían insólitos o sospechosos se procedió a revisar las series originales para introducir las correcciones necesarias.

Los datos climáticos de temperatura que se utilizaron para calcular la evapotranspiración potencial (EP) no se homogeneizaron por tres motivos: porque las diferencias entre los promedios térmicos derivados de series de distintas extensión o período son muy reducidas; porque las diferencias en los valores de EP calculados con tales promedios resultarán aún más reducidas y porque el posible error que pudiera cometerse será insignificante frente al adjudicable al método de estimación de EP utilizado.

Los valores normales mensuales para las series de datos usados: el valor promedio de la EP y el valor mediano de la P, se presentan cartografiados para cada mes del año. La elección de la mediana, para los datos de lluvia, se justifica por la reconocida distribución no gaussiana que presentan las series de valores mensuales y con la intención de ofrecer las cantidades de precipitación que debieran utilizarse, preferentemente en los balances climáticos comunes, para obtener resultados que expresen más acertadamente las verdaderas condiciones hídricas normales regionales.

Método utilizado

Como fuera dicho en la introducción, se utilizó el esquema de BHS (Pascale y Damario, 1977), consistente en una simplificación y adecuación del sistema de balance mensual propuesto por Thornthwaite y Mather (Thornthwaite y Mather, 1957), acompañada de una metodología analítica para la interpretación de los resultados y su expresión adecuada para fines agroclimáticos.

El balance continuo sobre la base de las EP y P registradas mensualmente a través de

una secuencia de años en cantidad suficiente para incluir la mayor parte de las posibles combinaciones entre demandas atmosféricas y disponibilidades de agua, producirá información sobre la frecuencia porcentual con que se presentan las situaciones de deficiencia, exceso o equilibrio hídrico a través del período balanceado. De esta manera, el régimen hídrico local quedará caracterizado con mucha mayor realidad, amplitud y exactitud que la provista por el balance climático común.

El período adoptado para el balance no reflejará, obviamente, las variaciones que puede adquirir la situación hídrica dentro del mes como consecuencia de la desigual repartición de la lluvia entre los días del mismo. El período pentádico, decádico o el balance entre fechas de lluvia producirá seguramente mejores resultados. Sin embargo, el período mensual ofrece las ventajas de ser más fácil y universalmente aplicable, constituyendo su resultado una síntesis de la situación hídrica final del mes. Por otra parte, admite ciertas simplificaciones adoptadas aquí para el balance, como por ejemplo: despreciar el agua de exceso o no considerar posibles pérdidas por escorrentía.

Los detalles operativos del BHS, se encuentran en la publicación de referencia, por lo que se estima necesario puntualizar aquí solamente aquellos aspectos considerados para esta aplicación particular y la forma como se incluyeron en el sistema de computación electrónica preparado a sus efectos (Sierra, 1979).

a) Evapotranspiración potencial

Para su estimación se utilizó la fórmula de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948) que, aunque discutida y al parecer poco adecuada en comparación con otros estimadores para expresar la magnitud climática de este elemento (Damario y Cattáneo, 1982) presenta las ventajas de reducida exigencia en datos básicos y facilidad de cómputo.

Como una gran parte de las localidades incluídas en el análisis disponen solamente de información pluviométrica, y en otras se anota falta de contemporaneidad entre las series de temperaturas y de precipitación, se hizo necesario recurrir a una simplificación en el cálculo de las EP mensuales que, permitiendo extender el análisis a todas las localidades, obtuviera la mayor densidad zonal posible de información. Tal simplificación consistió en estimar las EP mensuales de cada localidad, tomando como base las respectivas temperaturas normales mensuales, es decir, sus valores climáticos, y realizar luego los balances seriados adjudicando iguales valores a todos los años de la serie, como si no existiera la natural variación térmica interanual.

Para convalidar este procedimiento arbitrario, se realizó previamente una compulsión entre los resultados de aplicar a una misma serie de datos las dos formas de balance seriado: una de ellas utilizando las EP mensuales variables de cada año según las temperaturas realmente observadas y, la otra, utilizando los valores climáticos, repetidos igualmente todos los años. Aplicada a varias localidades con diferente ubicación geográfica y distinto régimen climático, mostraron, sorprendentemente, que el signo y la magnitud de las situaciones hídricas resultantes para iguales probabilidades diferían muy poco entre ambos balances (Cuadro 1). Obsérvese que los balances realizados con EP variable indican una ligera mayor sequedad en casi todos los niveles de probabilidad, lo cual podría ser consecuencia de la leve asimetría de las series de EP. De cualquier manera, como las diferencias fueron insignificantes y no produjeron alteración manifiesta en las situaciones hídricas correspondientes a las categorías elegidas para trazar las cartas, el procedimiento de simplificación fue adoptado con confianza. Resultados coincidentes se obtuvieron al aplicar una simplificación semejante para EP diarias en estudios sobre régimen de sequías (Burgos, 1970; Burgos y Forte Lay, 1978).

CUADRO 1: Situaciones hídricas probables (en mm), resultantes de computar el BHS con una EP media mensual igual en todos los años de la serie (EP media) o utilizando las EP mensuales verdaderas de cada año (EP anual). Series 1931-60 para Mercedes (lat. 29° 14'; long. 58° 05'), Bell Ville (lat. 32° 38'; long. 62° 41'), Victorica (lat. 36° 14'; long. 65° 26') y Dolores (lat. 36° 16'; long. 57° 41'). Las deficiencias se indican con (-).

Mes	Localidad	EP	Probabilidad (%)								
			10	20	30	40	50	60	70	80	90
	Mercedes	EP media	- 86	- 70	-45	-15	- 9	- 4	- 2	0	35
		EP anual	- 90	- 70	-47	-12	- 6	- 2	- 1	0	42
E N E	Bell Ville	EP media	- 59	- 29	-22	-15	-10	0	0	4	70
		EP anual	- 63	- 30	-22	-16	- 8	- 1	0	4	76
R O	Victorica	EP media	-124	-110	-91	-84	-71	-62	-47	- 33	- 21
		EP anual	-128	-109	-95	-86	-71	-58	-41	- 29	- 19
	Dolores	EP media	- 51	- 41	-34	-23	-20	-12	- 7	- 1	0
		EP anual	- 55	- 46	-34	-26	-19	-15	-10	- 4	0
	Mercedes	EP media	- 22	- 6	0	0	0	27	67	98	172
		EP anual	- 22	- 8	- 1	0	0	24	59	107	155
A B R	Bell Ville	EP media	- 15	- 8	- 5	0	0	0	0	11	65
		EP anual	- 18	- 10	- 7	- 3	- 1	- 1	0	9	49
I L	Victorica	EP media	- 52	- 48	-38	-31	-18	- 1	0	0	0
		EP anual	- 59	- 52	-44	-36	-16	- 2	- 1	- 1	0
	Dolores	EP media	- 9	- 6	- 3	0	0	0	0	5	50
		EP anual	- 12	- 8	- 4	- 1	- 1	0	0	4	42
	Mercedes	EP media	- 5	- 2	0	0	3	21	24	40	74
		EP anual	- 8	- 4	- 1	0	0	19	26	37	73
J U L	Bell Ville	EP media	- 9	- 5	- 3	- 1	0	0	0	3	27
		EP anual	- 12	- 9	- 6	- 4	- 1	- 1	0	0	16
I O	Victorica	EP media	- 14	- 11	- 9	- 8	- 6	- 3	- 2	- 1	0
		EP anual	- 19	- 16	-13	-10	- 8	- 5	- 2	- 1	0
	Dolores	EP media	0	0	3	8	27	35	39	73	95
		EP anual	- 1	0	0	6	20	26	33	58	92
	Mercedes	EP media	- 3	0	0	9	20	44	86	123	181
		EP anual	- 5	- 1	0	11	20	38	76	120	172
O C T U B	Bell Ville	EP media	- 18	- 9	0	0	0	0	9	22	41
		EP anual	- 22	- 10	- 3	- 1	0	0	5	16	36
B R E	Victorica	EP media	- 45	- 32	-21	-11	- 5	- 1	0	0	0
		EP anual	- 46	- 36	-26	-16	- 7	- 1	- 1	0	0
	Dolores	EP media	- 2	- 1	0	0	0	6	16	43	73
		EP anual	- 8	- 4	- 1	0	0	9	19	47	76

b) Precipitación

Los valores mensuales de P fueron ingresados al balance en forma directa sin descuento alguno por escurrimiento superficial. Esta corrección, consistente en disminuir ponderadamente la intensidad de las lluvias que superan la capacidad de infiltración del suelo y cuya aplicación es ineludible en balances diarios o a corto plazo, no es tan necesaria en balances mensuales. En primer lugar, porque con excepción de aquellas situaciones poco frecuentes de grandes excesos, la percolación del agua gravitacional en la región es lo suficientemente rápida como para no producir sobrantes que pasen de un mes al siguiente y, en segundo lugar, porque no se conocen correcciones formuladas para las lluvias mensuales según su intensidad, estado de humedad de la capa superior del suelo o su pendiente. Debe admitirse que, en ciertos años y con mayor frecuencia durante el período invernal, las acumulaciones superficiales por excesos de agua sobre suelos saturados llegan a ser importantes en algunas áreas de la región, muy extendidas y con escaso o difícil drenaje na-

tural. Estas situaciones raramente perduran por más de dos meses, lo que unido a su reducida frecuencia de ocurrencia, hacen suponer que su incidencia sobre los resultados del balance seriado no será de magnitud atendible.

c) Capacidad de retención hídrica del suelo

Una de las mayores dificultades para realizar cartografía agroclimática referente a balances hidrológicos, es la variada capacidad para almacenar agua que tienen los diferentes tipos de suelos, según sean su textura, estructura, profundidad, etc. Por lo común, el problema se resuelve consignando los valores correspondientes a tres capacidades diferentes, las cuales pueden adoptarse para suelos con baja, mediana o elevada retención. Fue por esto que el sistema de procesamiento electrónico de los valores usados para el BHS fue diseñado para producir resultados referentes a cualquier capacidad máxima de retención. Aquí solamente se presentan aquellos correspondientes a la capacidad de 200 milímetros, suponiendo que la cartografía respectiva podrá ser de aplicación más gene-

CUADRO 2: Profundidad a considerar en distintos tipos de suelo de la región, manteniendo constante la capacidad máxima de 200 mm de retención de agua.

Tipo de suelo	Profundidad (cm)	Densidad aparente (g/cm ³)	Humedad equivalente (%)	Agua retenida (mm)
Peludert argico (Vertisol) Pcia. Entre Ríos	0- 14	1,23	38,8	66,4
	19- 30	1,32	37,2	54,0
	52- 64	1,33	37,0	59,0
	0- 41,2	1,29	37,7	200
Haplustol éntico (Castaño) oeste Pcia. Bs. As.	0- 18	1,20	18,0	38,88
	25- 40	1,26	12,0	22,68
	53- 70	1,30	12,0	26,52
	90-106	1,30	12,0	24,96
	0-120,5	1,27	13,1	200
Argudol típico (Brunizen) sud Pcia. Sta. Fe	0- 23	1,18	31,0	84,13
	24- 31	1,22	30,0	29,28
	32- 64	1,31	34,0	146-98
	0- 50,6	1,24	31,9	200

ralizada en toda la región oriental argentina, con excepción de la parte suroccidental pampeana, donde la predominancia de suelos arenosos determina retenciones más reducidas. Para el resto del área, se estima que esta capacidad es la más adecuada pues, en cierta medida, contrabalancea convenientemente las retenciones con las profundidades que podrán alcanzar los sistemas radiculares en los diferentes tipos de suelos. En caso de aplicación de la cartografía presentada a suelos con constantes hidrológicas conocidas, será fácil determinar la profundidad del espesor balanceado, tal como se muestra en el Cuadro 2.

A título de ejemplo sobre la incidencia de utilizar retenciones de agua diferentes a los 200 mm considerados, en la Figura 2 se reproducen las cartas de situaciones hídricas ($p = 0,20$ y $p = 0,80$) para almacenaje de 100 y 300 mm durante el mes de enero que pueden compararse con aquellas de la Figura 3. Puede observarse que a menor capacidad de retención corresponden situaciones hídricas más desfavorables, es decir, las cartas correspondientes a los 100 mm indican regionalmente las mayores deficiencias y los mayores excesos en ambas probabilidades.

d) Cartografía seleccionada

Las situaciones hídricas (SH) informadas por el BHS, pueden ser ordenadas como una serie única desde el mayor valor de deficiencia hasta el mayor valor de exceso pasando, obviamente, por las situaciones de equilibrio. Volcados estos valores en una gráfica que tenga en abscisas una escala con valores negativos decrecientes para las deficiencias hasta el cero de los equilibrios, seguido de valores positivos crecientes para los excesos y, en ordenadas una escala de frecuencias porcentuales acumuladas, permitirán interpolar una curva de la que se podrán inferir las situaciones hídricas a esperar con una determinada probabilidad, o viceversa.

Para el trazado de la cartografía que se acompaña se han utilizado los valores de situación hídrica que corresponden a tres niveles de probabilidad de ocurrencia estimados

como más útiles para aplicaciones agrícolas: 20, 50 y 80 por ciento de los años. Respectivamente, expresan el valor de la condición de humedad más favorable a esperar en uno de cada cinco años, el valor de la situación hídrica mediana y el valor de la situación hídrica que puede ser excedido en uno de cada cinco años.

Los valores obtenidos para cada nivel de humedad y para cada mes, en todas las localidades analizadas, fueron volcados en sendas cartas geográficas de la región a escala 1: 5.000.000, trazándose luego las isolíneas de situaciones hídricas en milímetros siguiendo escalas con intervalos irregulares para deficiencias (negativos) y excesos (positivos), con el objeto de atender a la diferente significación de cada uno de ellos: -5, -10, -20, -30, -50, -75, -100 y + 25, + 50, + 100 y + 150, o superior. Por medio de un rayado oblicuo se identifica en las cartas el área con condiciones equilibradas, que limita hacia un lado con las deficiencias (línea entera) y por el otro, con los excesos (línea cordada).

Es necesario aclarar que para la confección de las cartas la información disponible se ponderó según fuera la cantidad de años de las series pluviométricas originarias, repitiéndose que para aquellas áreas desprovistas o con escasa información, el trazado de las isolíneas debe considerarse como posible de rectificación.

Vargas (1980 y 1982) usando la información obtenida al aplicar el balance seriado a los datos de las estaciones climatológicas del área, confeccionó una serie de cartas mensuales referentes al porcentaje de años en que pueden presentarse, separadamente, deficiencias o excesos, pero no hace mención alguna de las magnitudes de las SH que pueden esperarse con diferente probabilidad a partir de una serie integrada, tal como las que se presentan en este trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las cartas b), c) y d) de las Figuras 3 a 14 muestran la distribución geográfica y la va-

riación temporal que presentan los valores de SH obtenidos mediante el BHS realizado según la metodología descripta. En su conjunto, las cartas conforman un atlas de uso directo en todas aquellas aplicaciones agrícolas donde el aspecto hidrológico adquiere relevancia. Las cartas son de por sí explícitas, por lo que en el análisis siguiente solamente se destacarán aquellos aspectos generales más significativos que resalten las características edafohidrológicas de la región en estudio, examinando la secuencia anual que muestran los valores de SH correspondientes a cada una de las probabilidades elegidas las que, como se ha dicho, indican: la mediana, el primero y el cuarto quintil de las series ordenadas ascendentemente. Para abreviar, en lo sucesivo serán denominadas como probabilidades del 50, del 20 y del 80 por ciento ($p=0,50$; $p=0,20$ y $p=0,80$), respectivamente. Por el enfoque agrícola del estudio, serán consideradas como favorables las situaciones hídricas de equilibrio y como desfavorables las correspondientes a deficiencias y/o excesos. Sin embargo, merece aclararse que la significación o importancia de estas últimas estará determinada por el objeto de su consideración o la época de su ocurrencia; así, existen cultivos que toleran y aún son favorecidos por excesos en ciertas épocas de su ciclo, mientras que otros son capaces de resistir sin daños deficiencias prolongadas en algunas etapas; similarmente, no es posible asignar igual significación a 25 mm de exceso de agua en verano que en invierno, etc.

1) Situación hídrica con probabilidad del 50%

Las cartas referentes a esta probabilidad señalan que durante los meses de diciembre, enero y febrero, toda la región registra deficiencia de agua, con la sola excepción de la provincia de Misiones que presenta situaciones hídricas equilibradas. Las mayores deficiencias corresponden al mes más caliente, enero, y se ubican en el extremo sudoccidental, donde alcanza a -75 mm. En la parte central de la región -sur de Santa Fe, centro

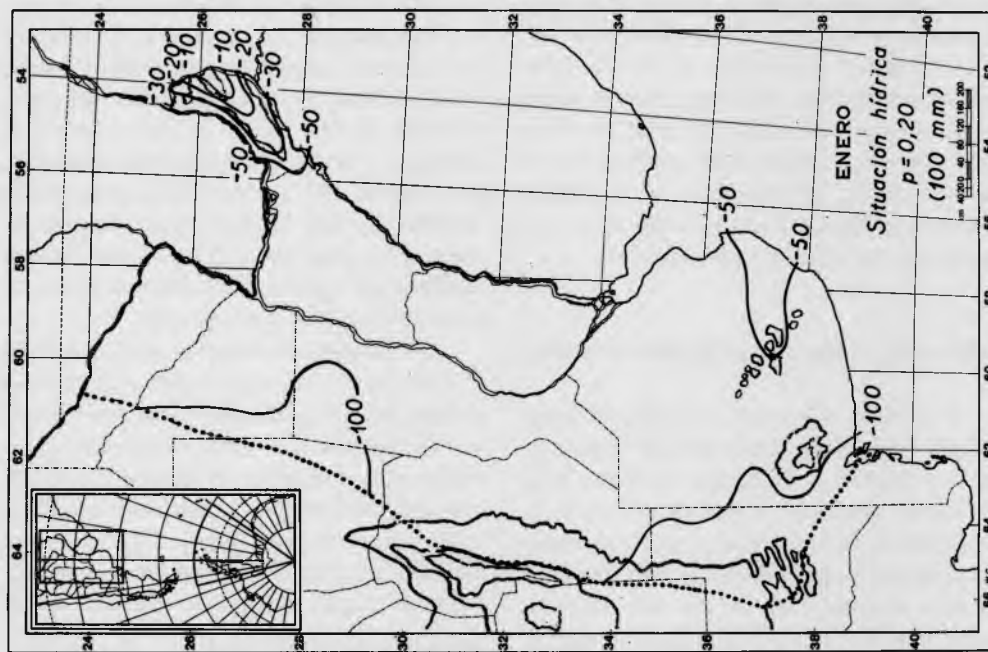
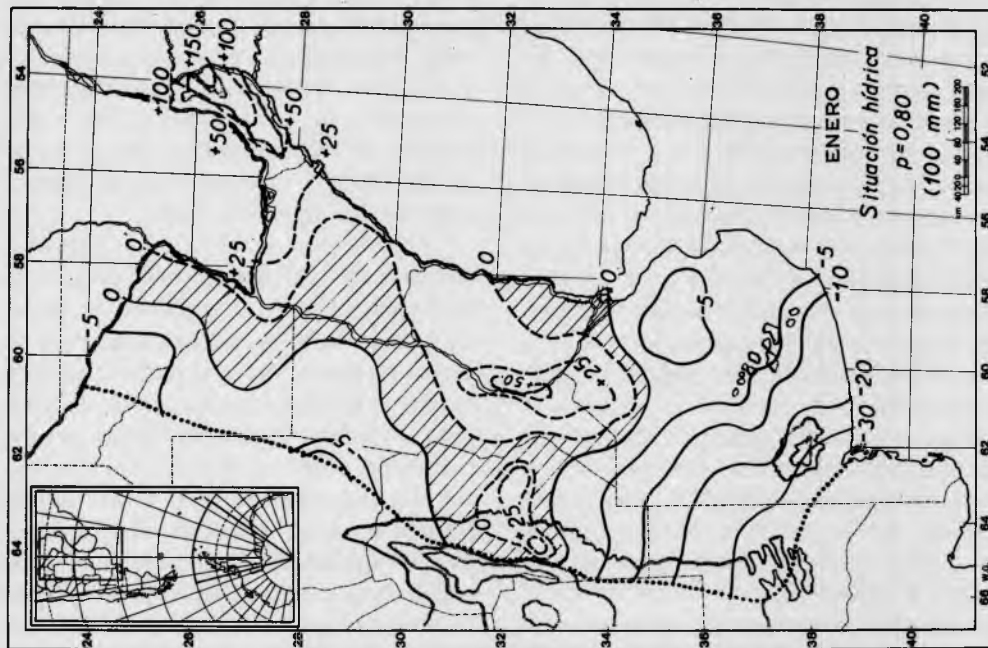
de Córdoba y norte de Buenos Aires- durante tales meses aparece un área menos seca, que se prolonga algo hacia el sudeste bonaerense. Esta condición de mayor humedad para esta área, se repetirá en las cartas correspondientes a las otras probabilidades, traduciéndose en menores deficiencias en las del 20 por ciento y en situaciones de mayores excesos en las del 80 por ciento.

El aumento general de la P y la disminución de la EP en el mes de marzo, determinan situaciones hídricas de equilibrio en la mayor parte de la región, estableciéndose una variación progresiva desde el sudoeste pampeano, con deficiencias cercanas a los -30 mm, hasta el noreste misionero, donde ocurren excesos del orden de los $+50$ mm. La extensión del área y/o intensidad de los excesos hídricos aumentan progresivamente a expensas de la equilibrada desde abril hasta junio, cuando llega a cubrir todo el borde oriental de la región desde Misiones hasta el sur de Buenos Aires. Durante este período, el área con deficiencias mantiene su extensión sin variantes apreciables, aunque se observa una leve disminución en la intensidad de los valores, que en junio sólo alcanzan a los -5 mm.

Las cartas de SH mediana en los tres meses siguientes señalan un progresivo y generalizado desecamiento, confirmando así que el invierno de esta región es una estación de consumo y no de acumulación de agua (Burgos y Vidal, 1951). Este desecamiento es observable en toda la región hasta fines de setiembre, a pesar de que ya en este mes se produce un significativo aumento en los valores medianos de precipitación.

En octubre, el aumento conjunto de las P y de las EP comienza a producir cambios regionales; así, mientras el área con excesos queda reducida a la región mesopotámica, se aumenta la extensión de la zona con balances equilibrados que se extiende a toda la provincia de Buenos Aires. Las SH de noviembre comienzan a presentarse menos favorables, como anticipo al período estival siguiente, ya catalogado como hídricamente deficitario en el 50 por ciento de los años.

Resumiendo, puede señalarse que para



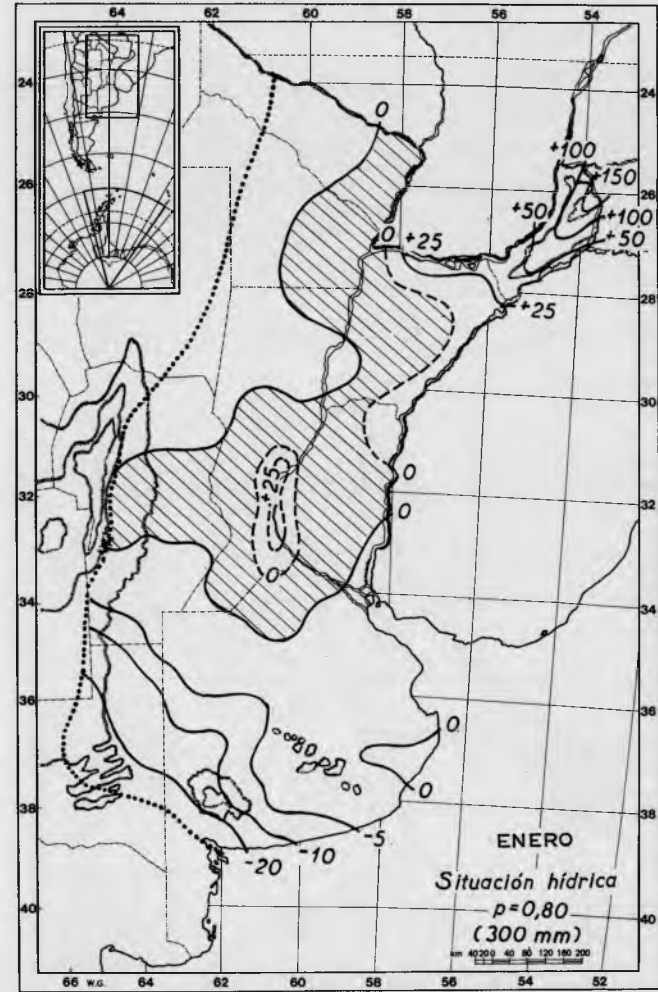
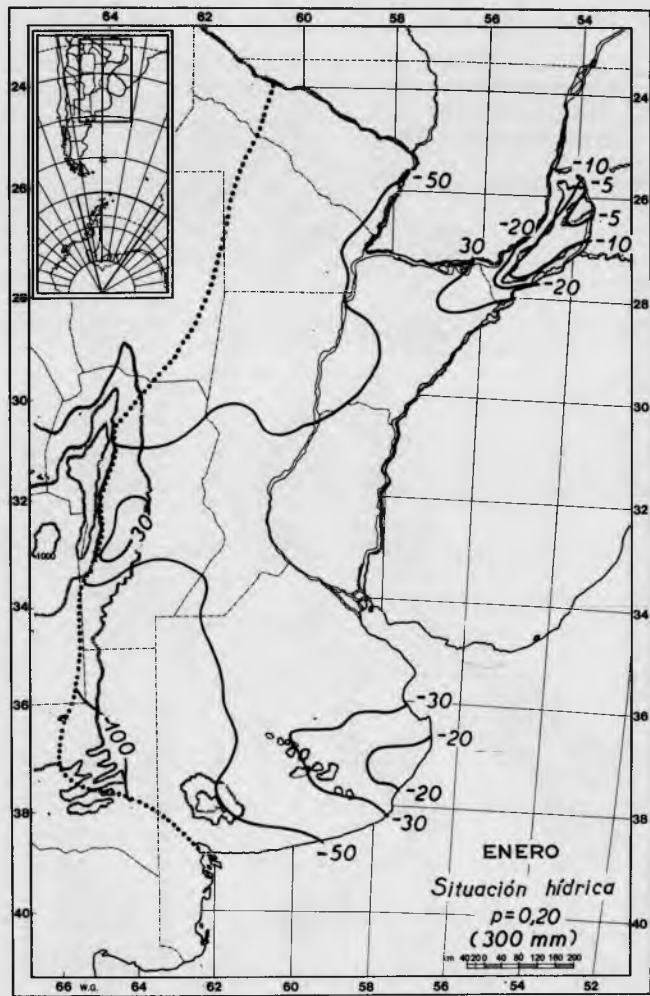
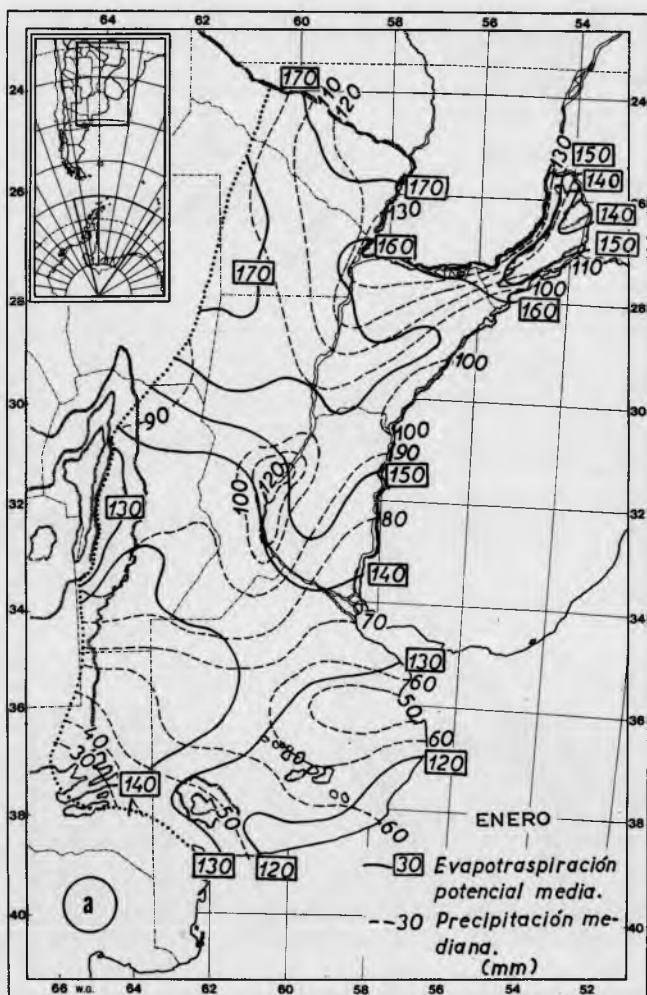
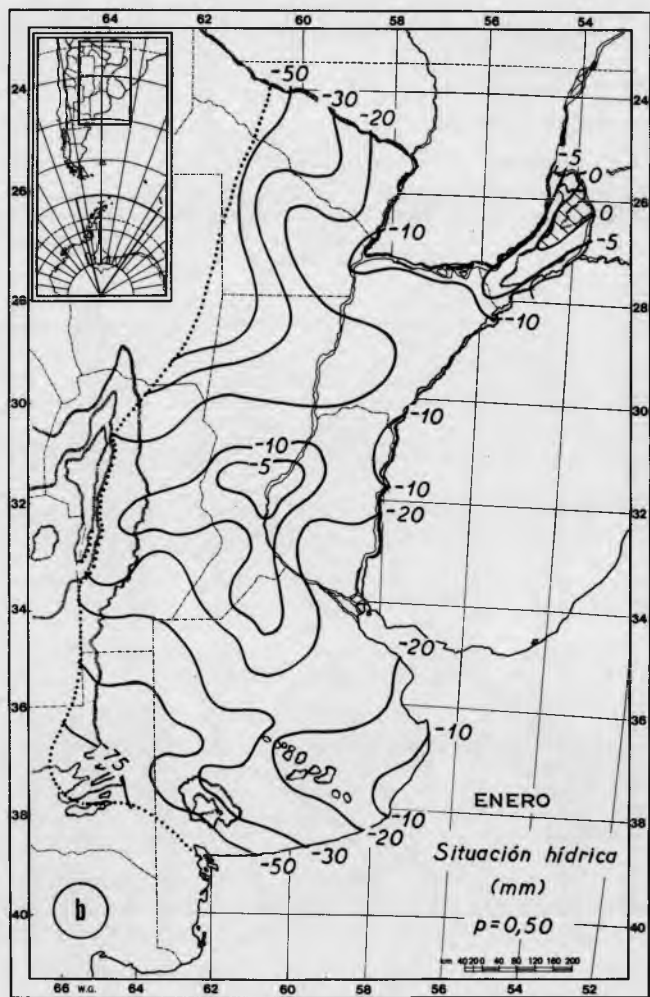


Figura 2: Magnitud comparada de las situaciones hídricas según la capacidad máxima de retención edáfica.





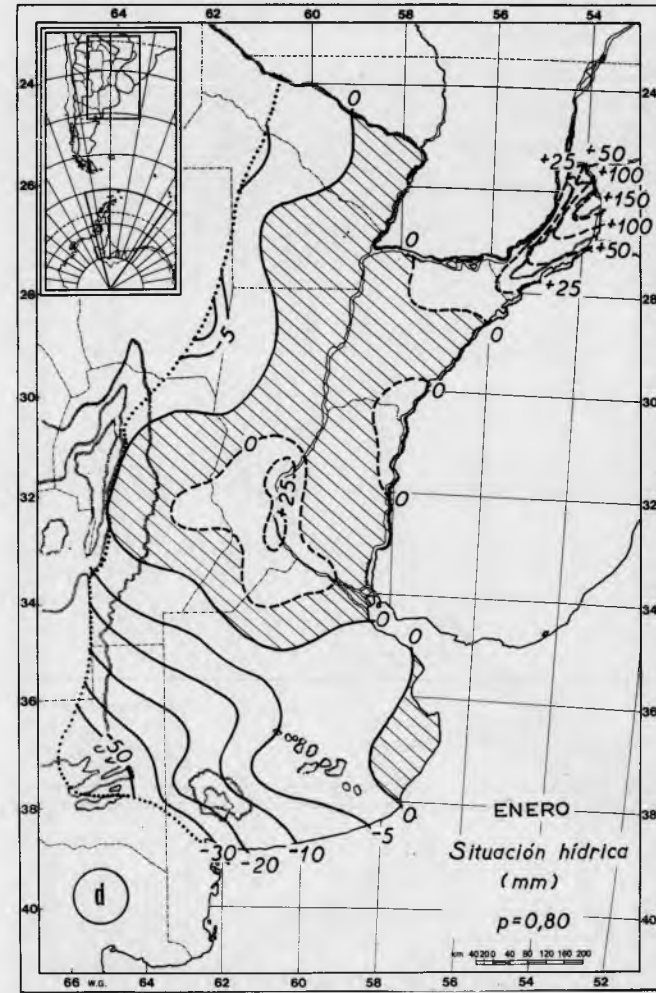
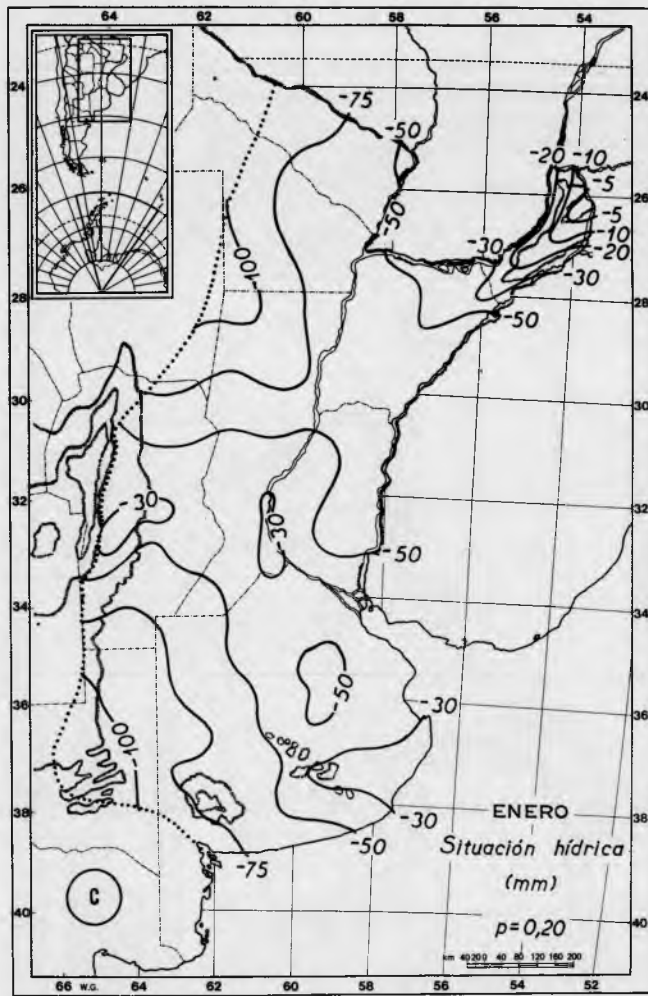
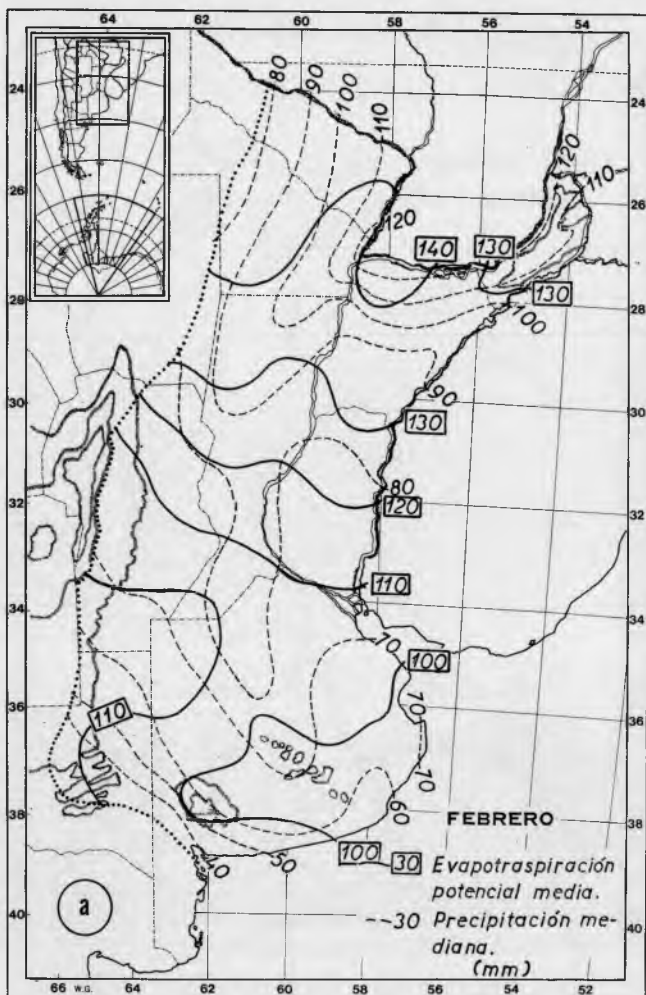
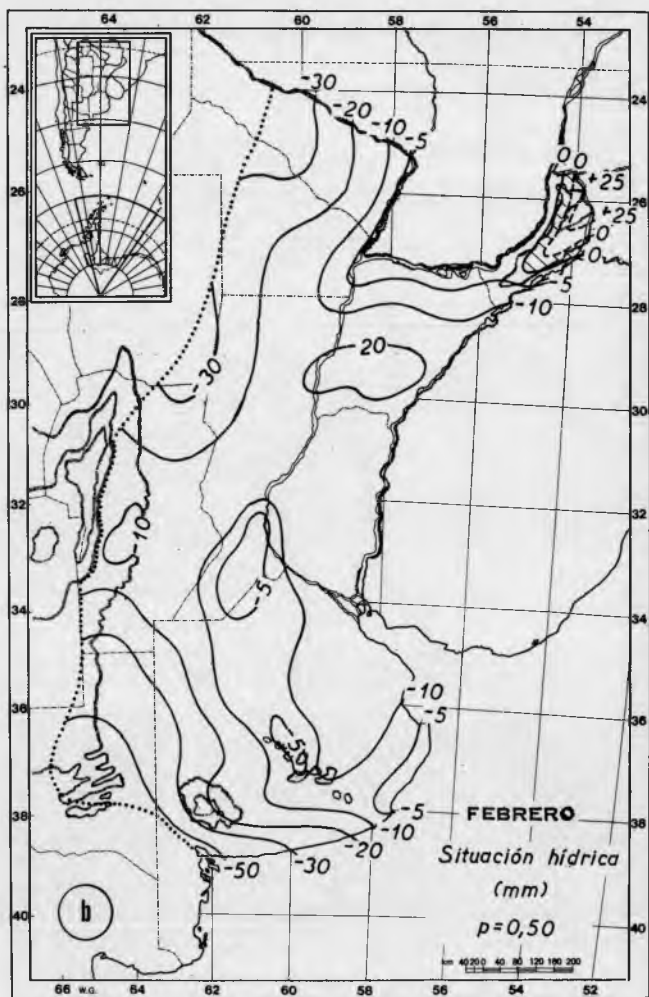


Figura 3: Resultados para el mes de enero: a) evapotranspiración media y precipitación mediana; b) situación hídrica, $p=0,50$; c) situación hídrica, $p=0,20$ y d) situación hídrica, $p=0,80$.





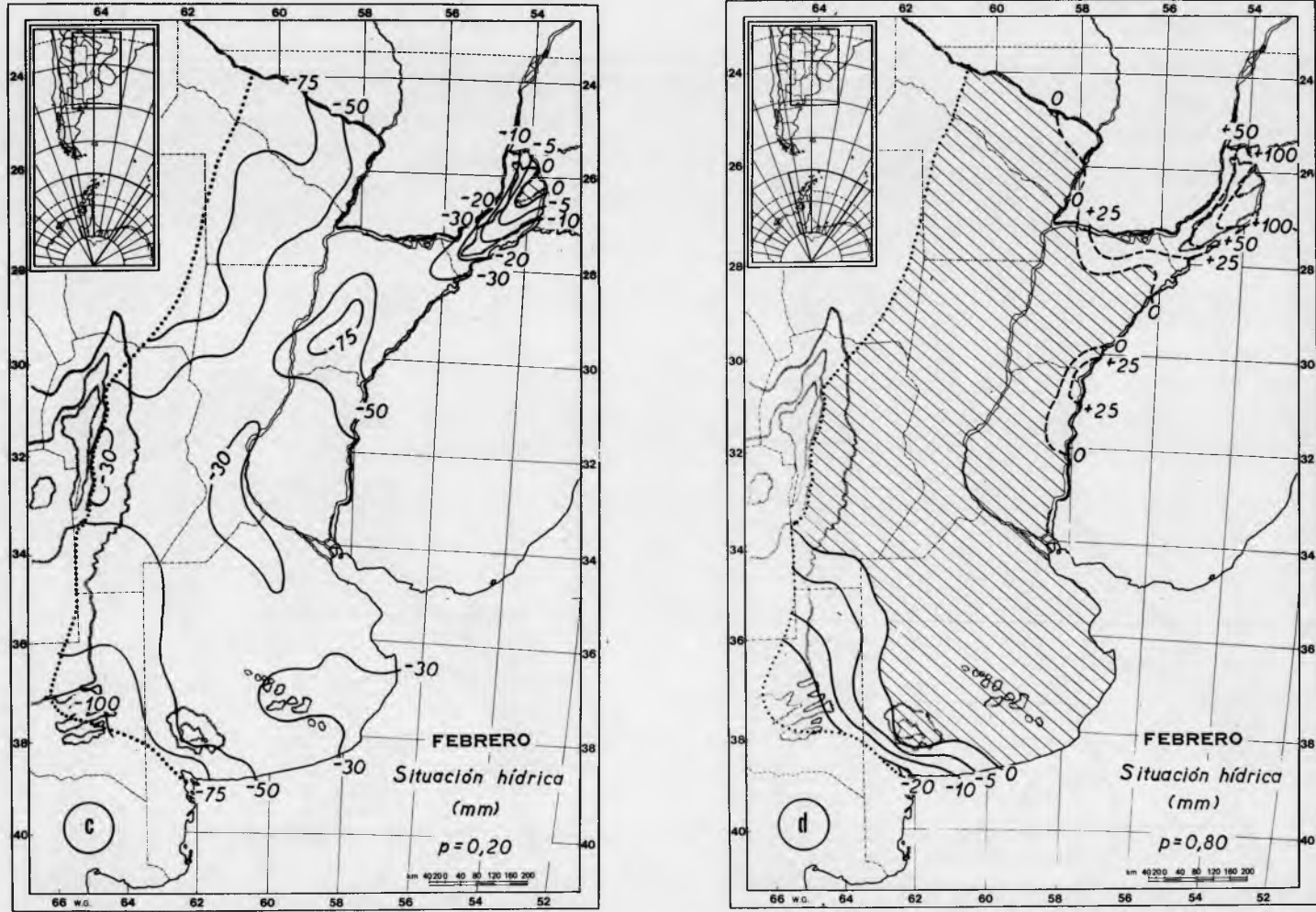
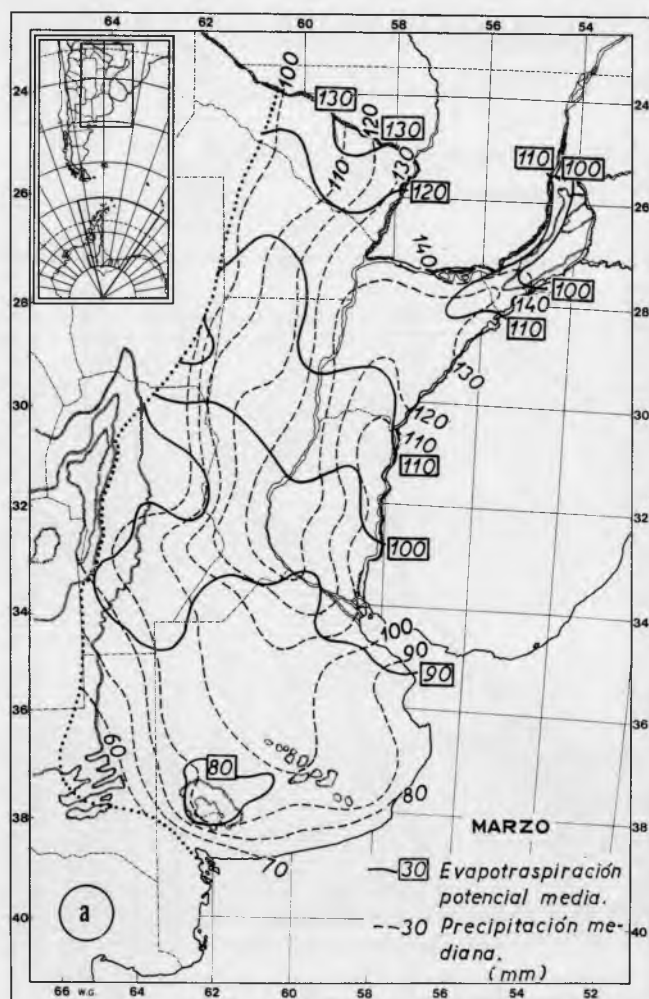
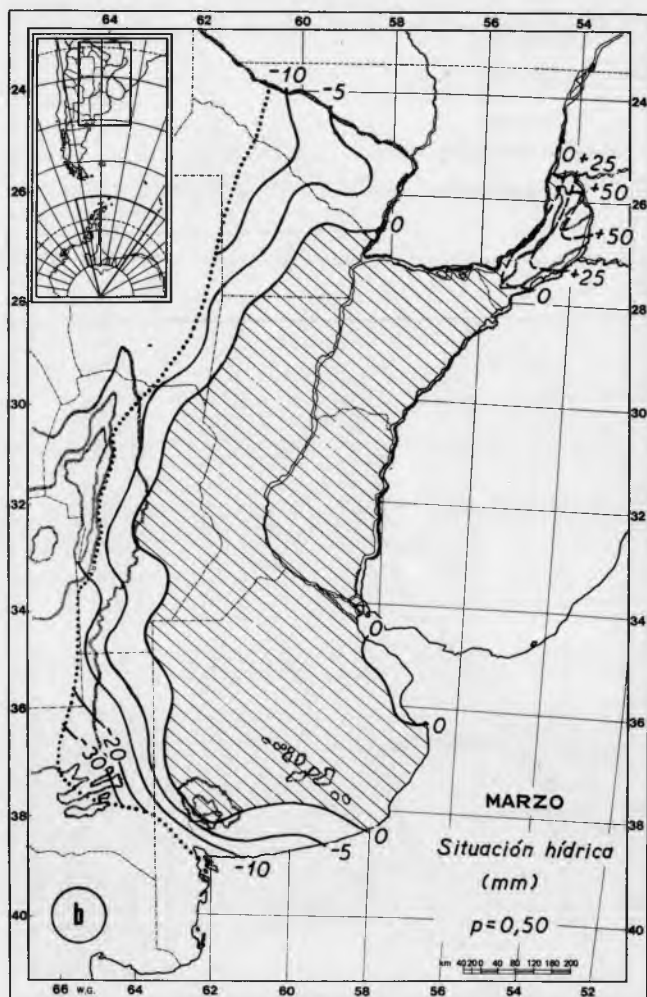


Figura 4: Resultados para el mes de febrero: a) evapotranspiración media y precipitación mediana; b) situación hídrica, $p = 0,50$; c) situación hídrica, $p = 0,20$ y d) situación hídrica, $p = 0,80$.





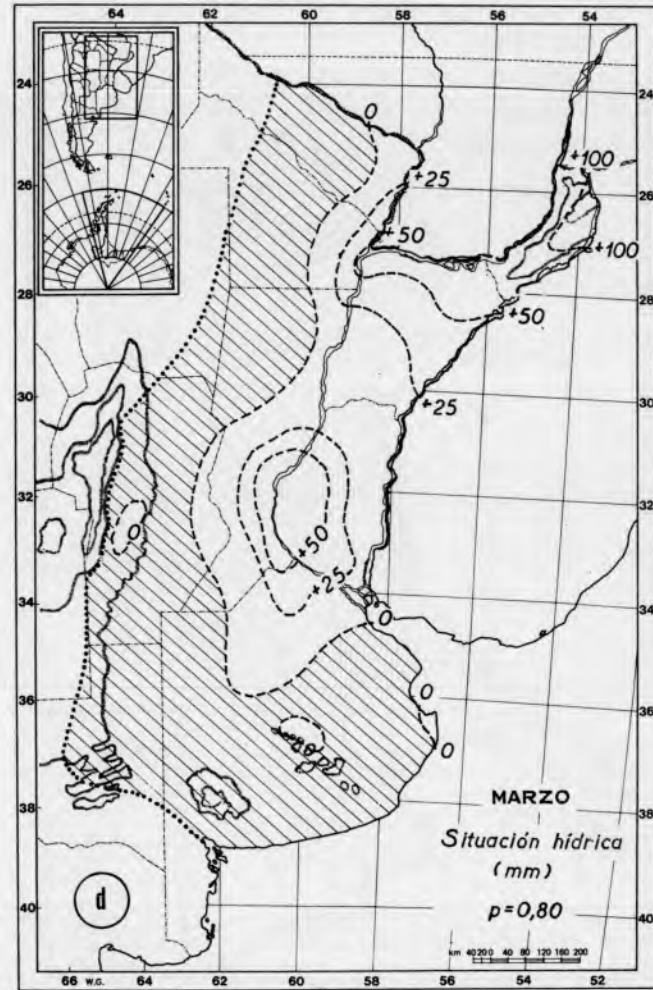
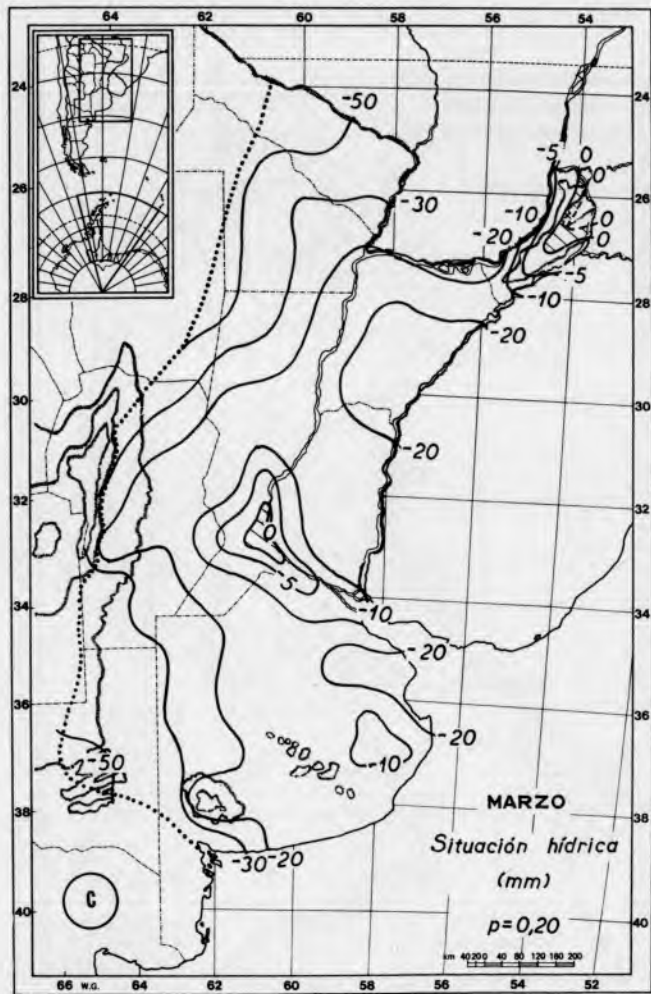
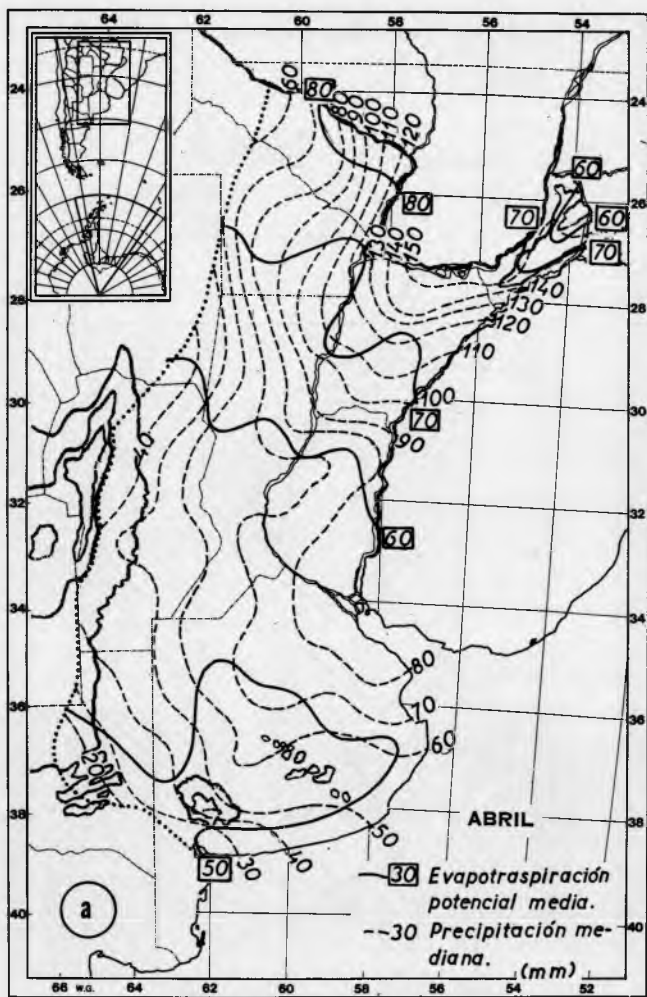
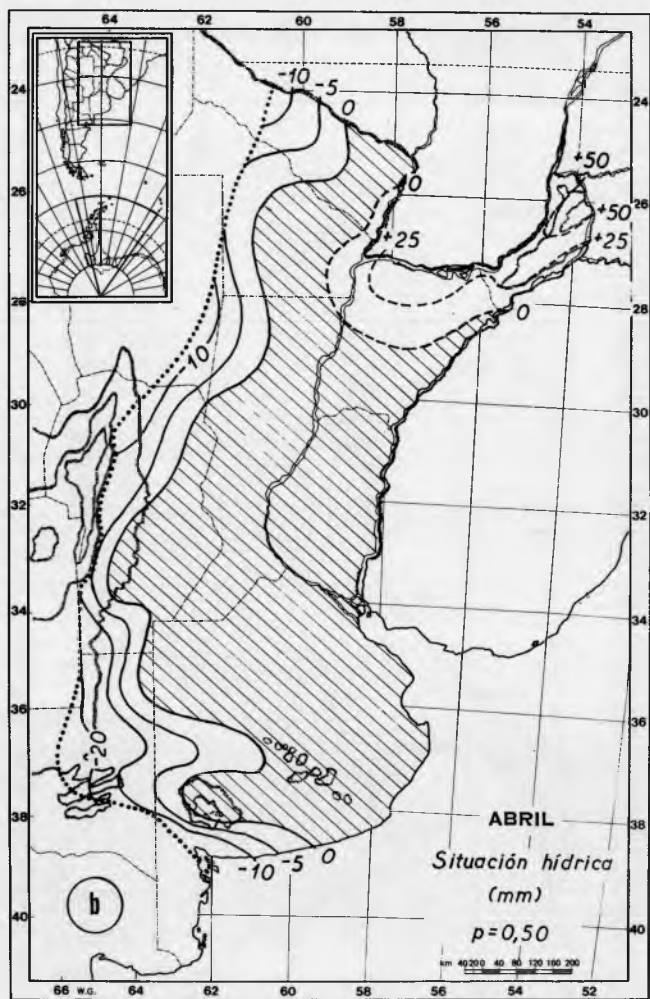


Figura 5: Resultados para el mes de marzo: a) evapotranspiración media y precipitación mediana; b) situación hídrica, $p = 0,50$; c) situación hídrica, $p = 0,20$ y d) situación hídrica, $p = 0,80$.





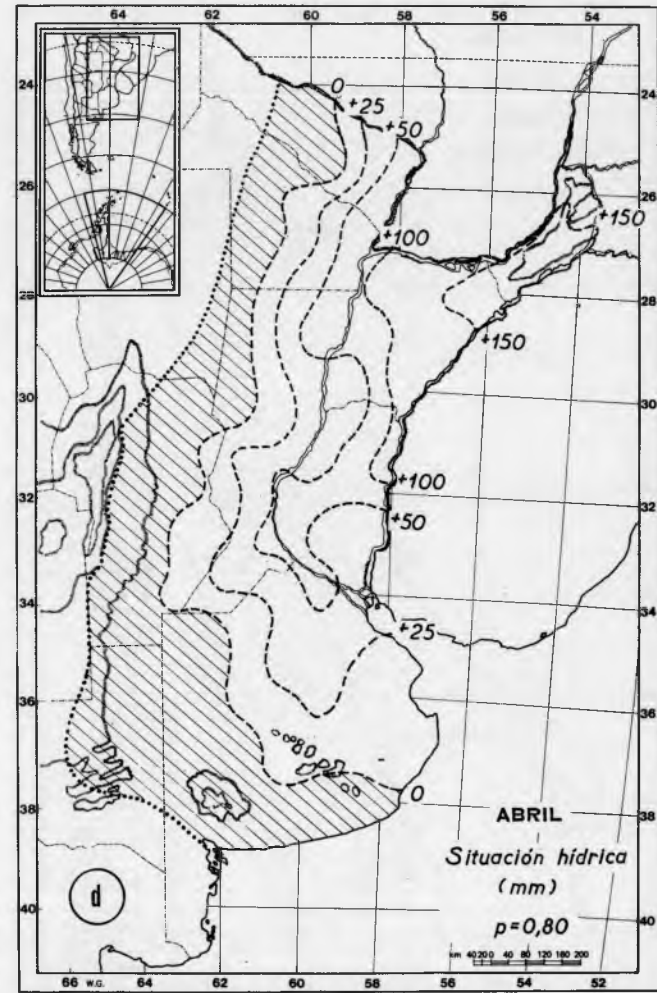
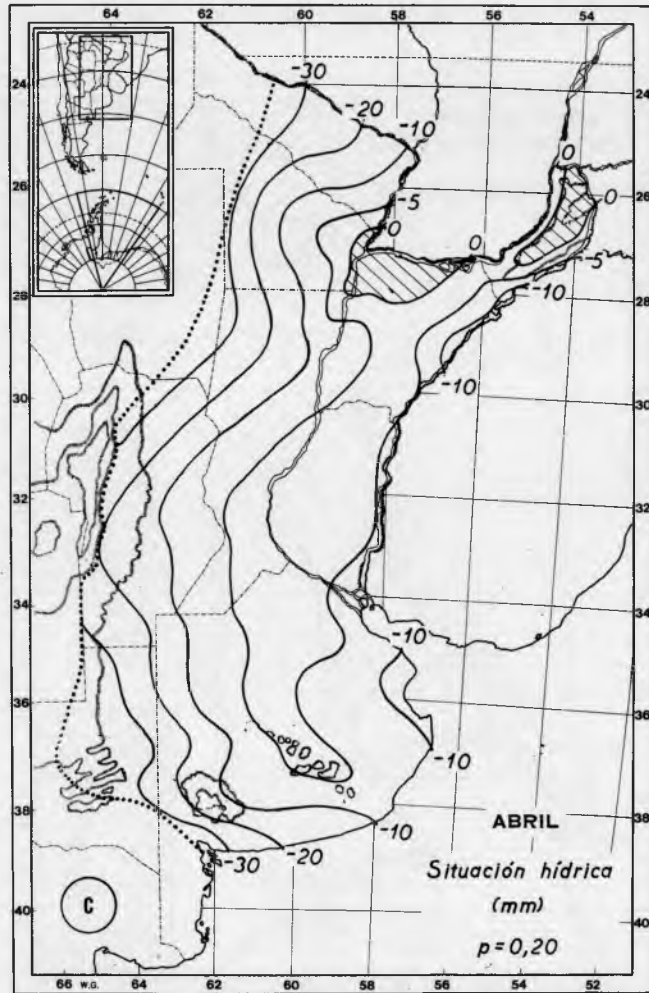
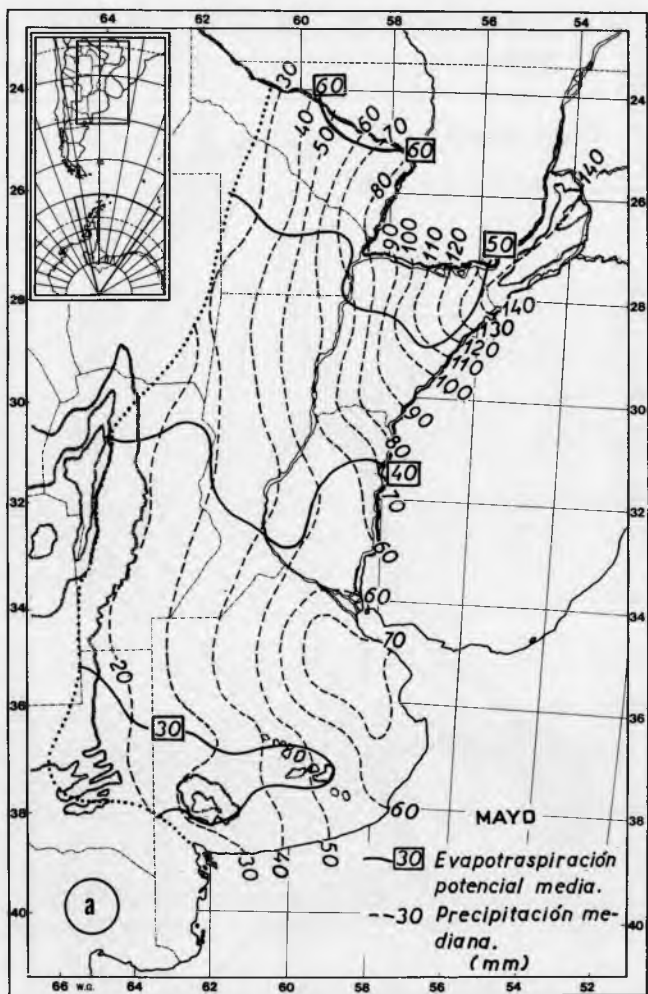
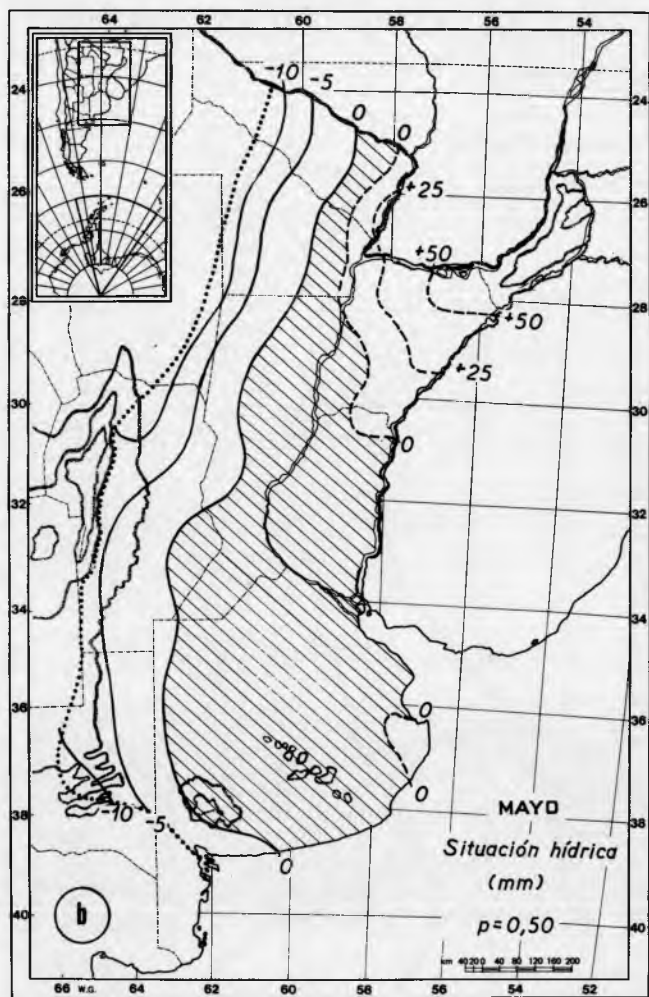


Figura 6: Resultados para el mes de abril: a) evapotranspiración media y precipitación mediana; b) situación hídrica, $p = 0,50$; c) situación hídrica, $p = 0,20$ y d) situación hídrica, $p = 0,80$.





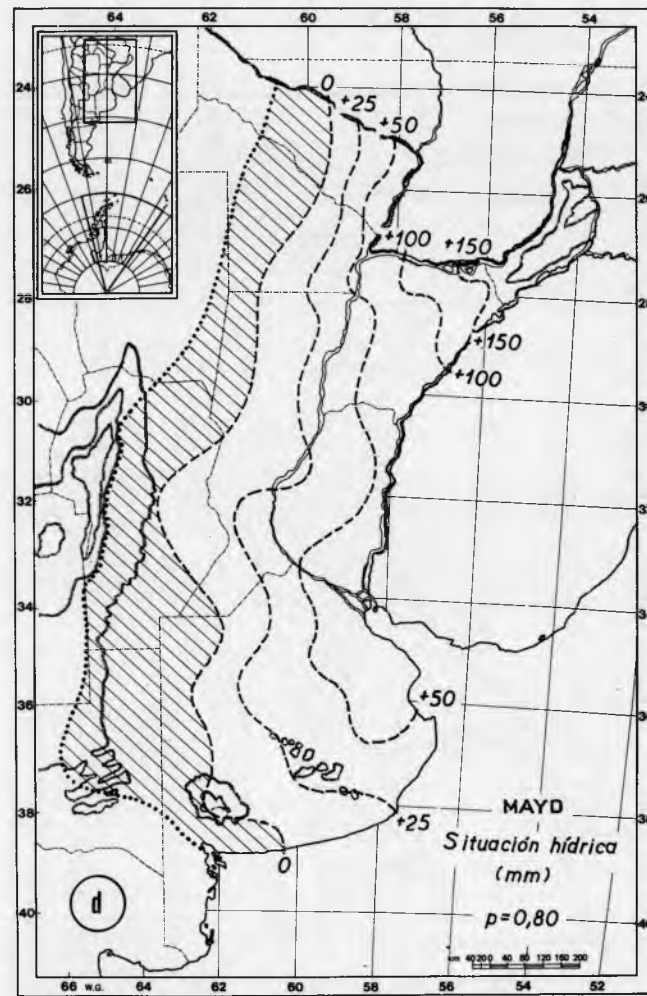
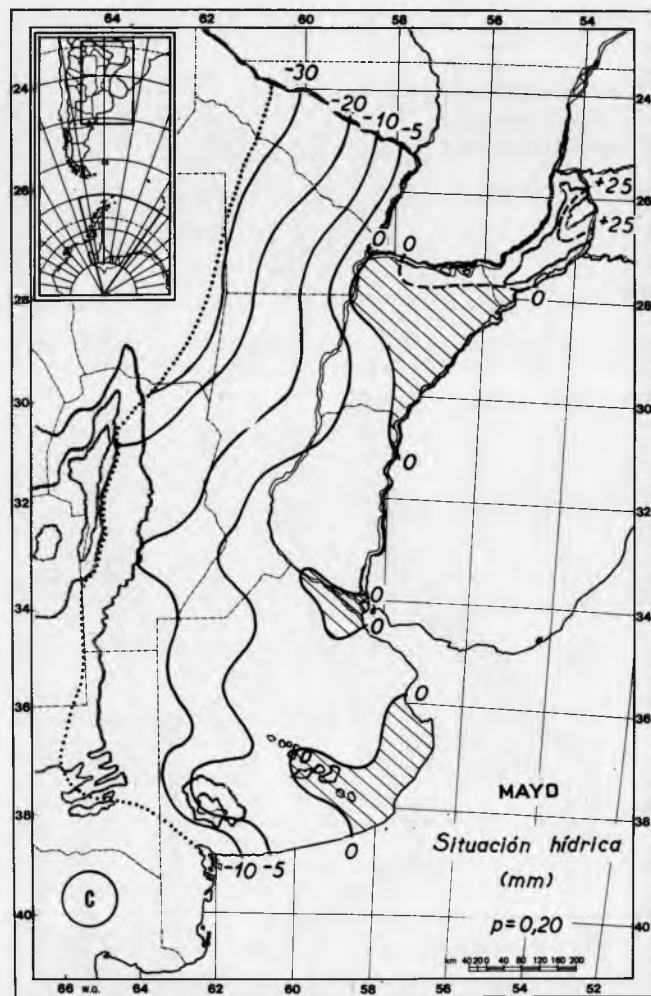
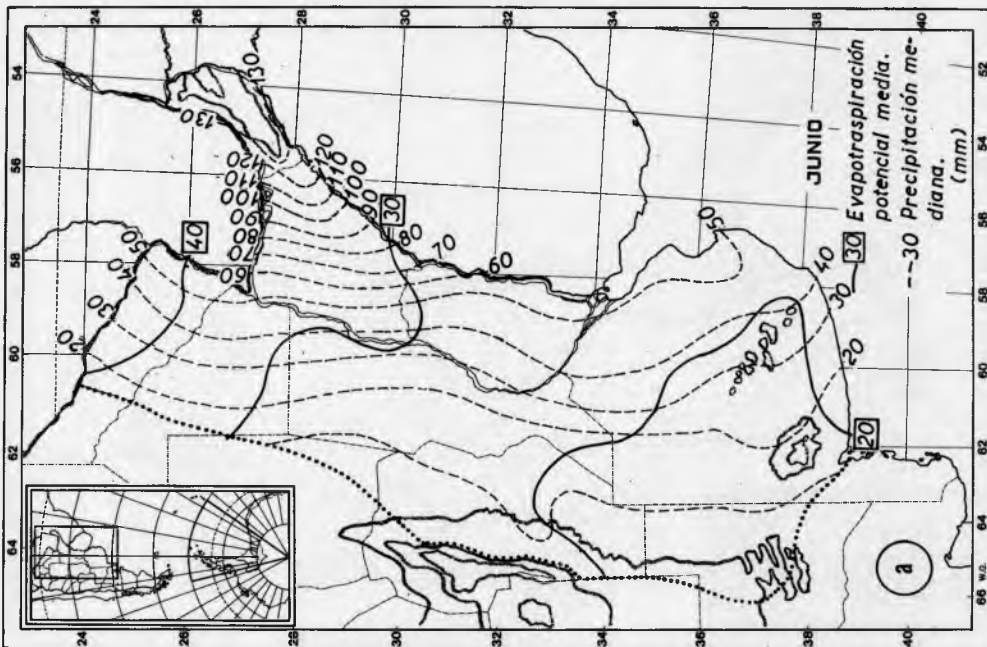
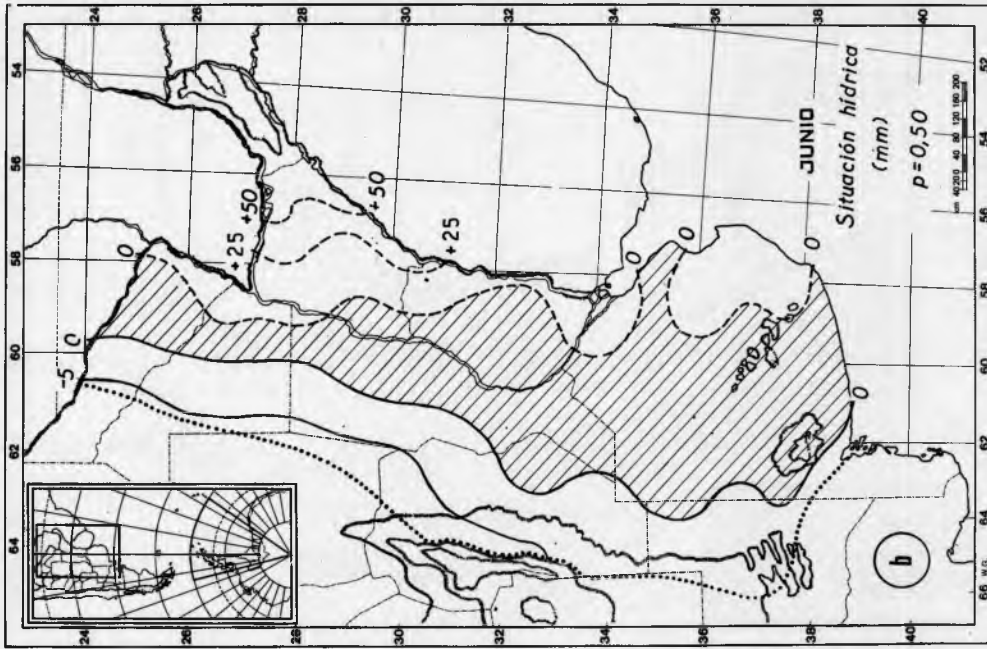


Figura 7: Resultados para el mes de mayo: a) evapotranspiración media y precipitación mediana; b) situación hídrica, $p = 0,50$; c) situación hídrica, $p = 0,20$ y d) situación hídrica, $p = 0,80$.



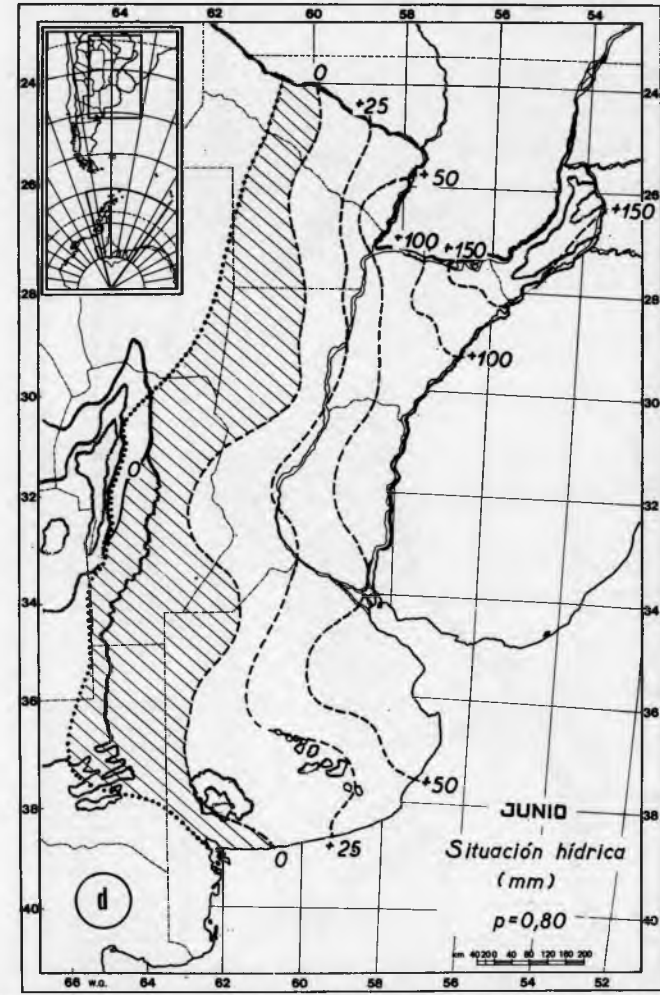
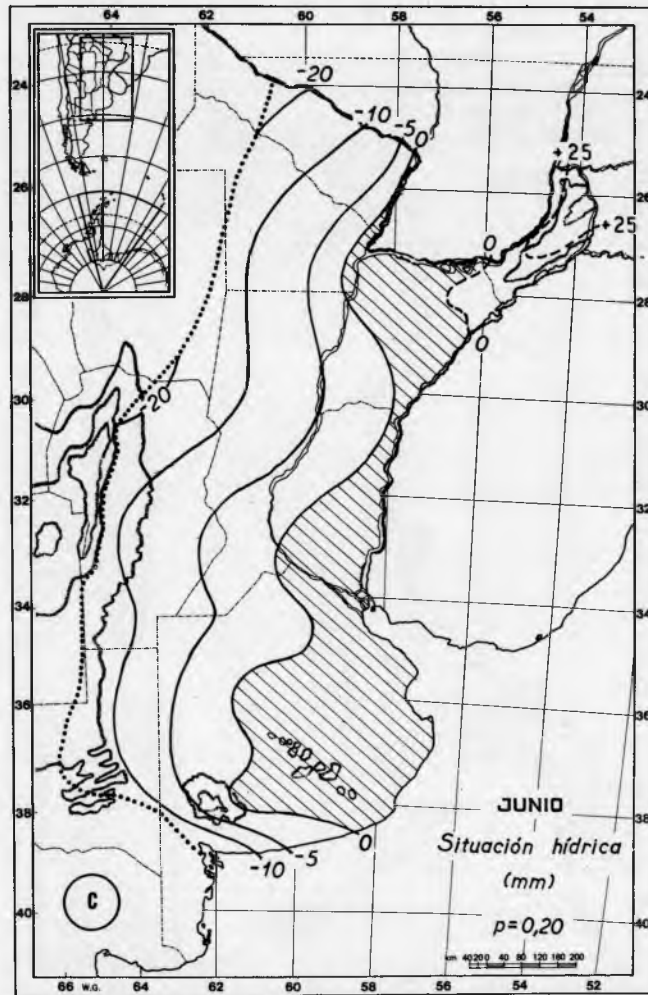
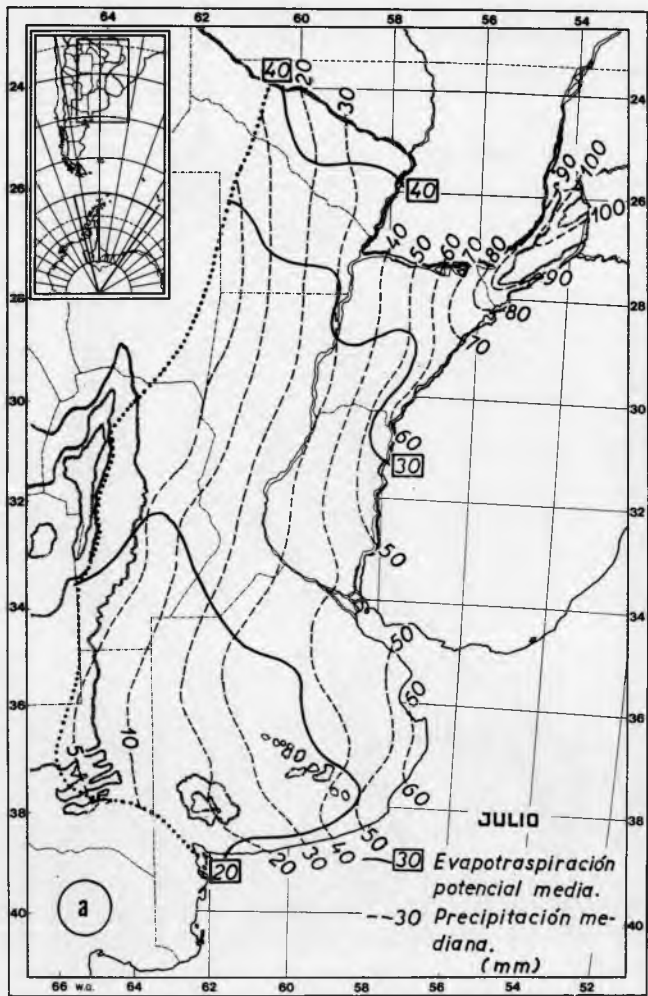
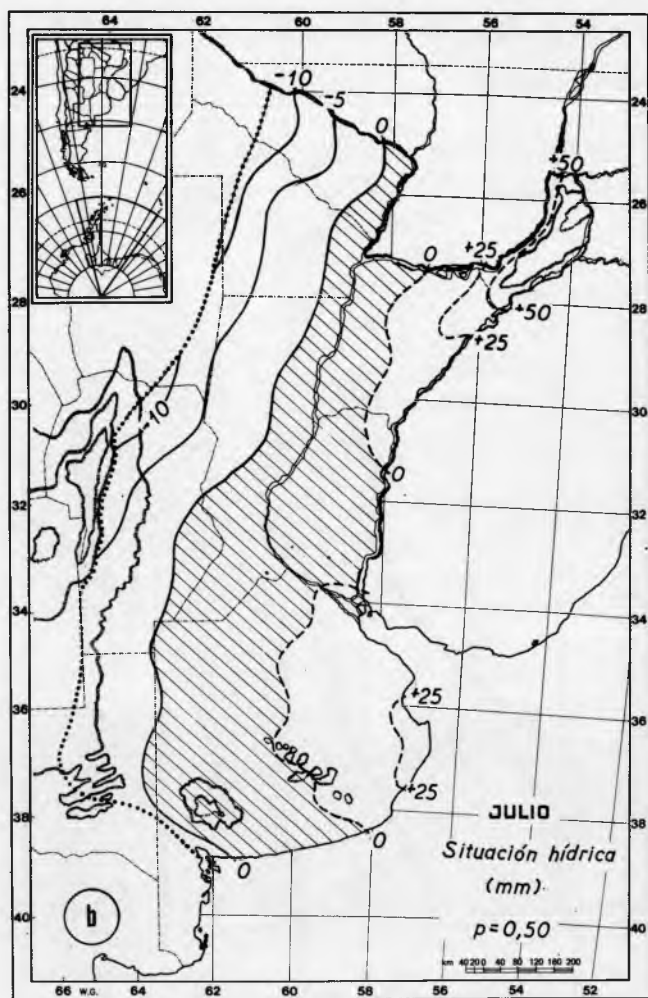


Figura 8: Resultados para el mes de junio: a) evapotranspiración media y precipitación mediana; b) situación hídrica, $p = 0,50$; c) situación hídrica, $p = 0,20$ y d) situación hídrica, $p = 0,80$.





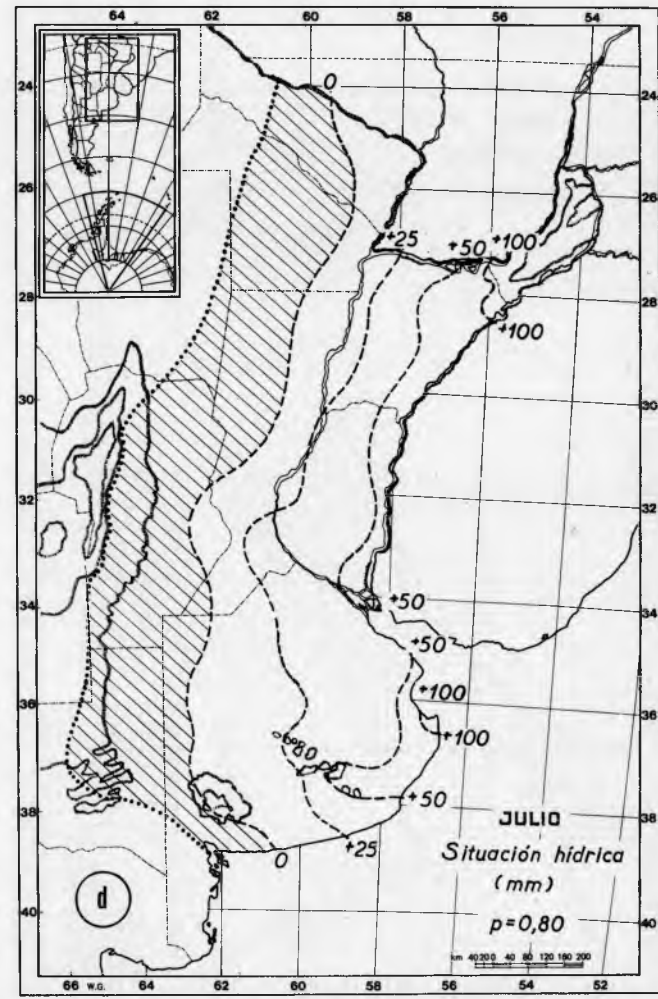
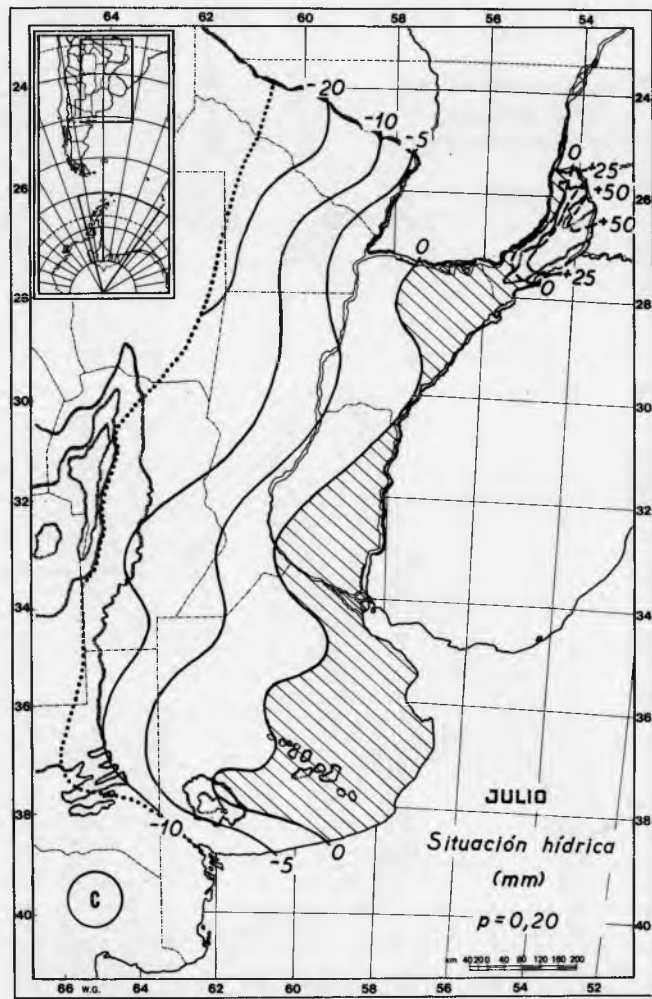
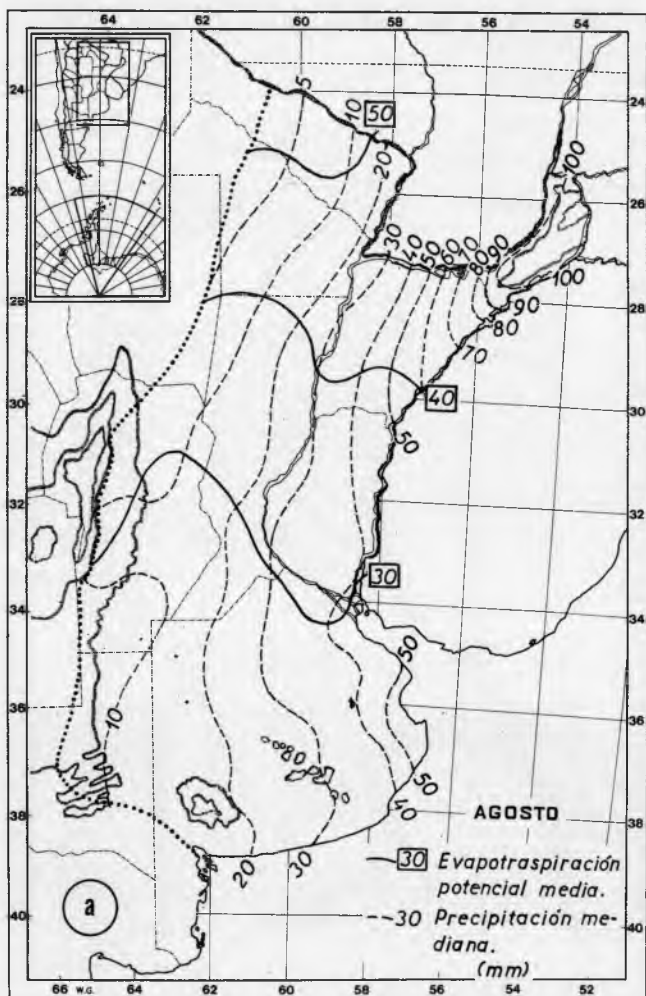
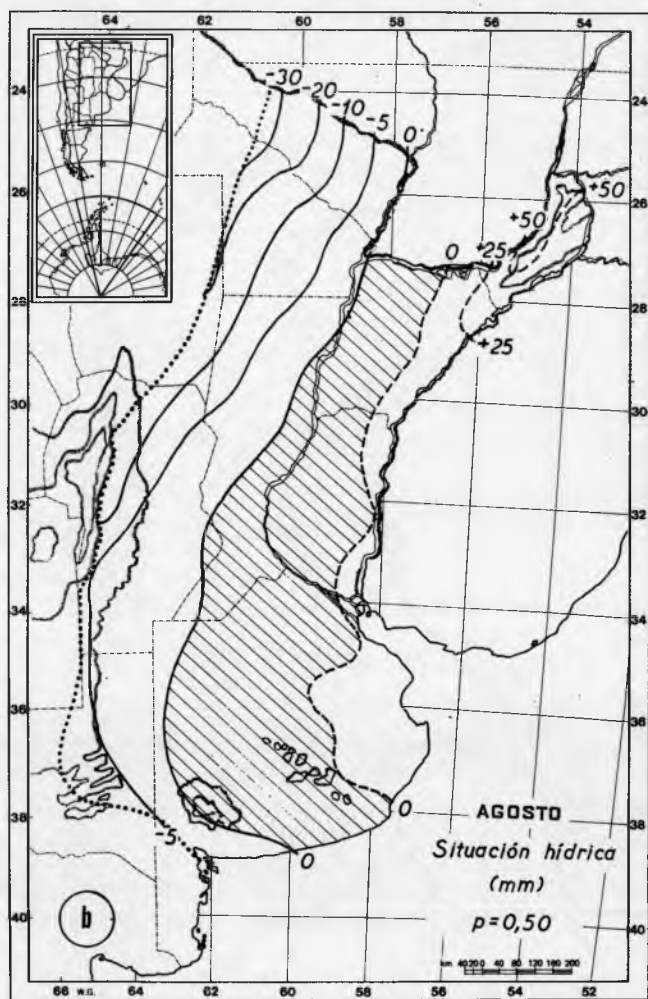


Figura 9: Resultados para el mes de julio: a) evapotranspiración media y precipitación mediana; b) situación hídrica, $p = 0,50$; c) situación hídrica, $p = 0,20$ y d) situación hídrica, $p = 0,80$.





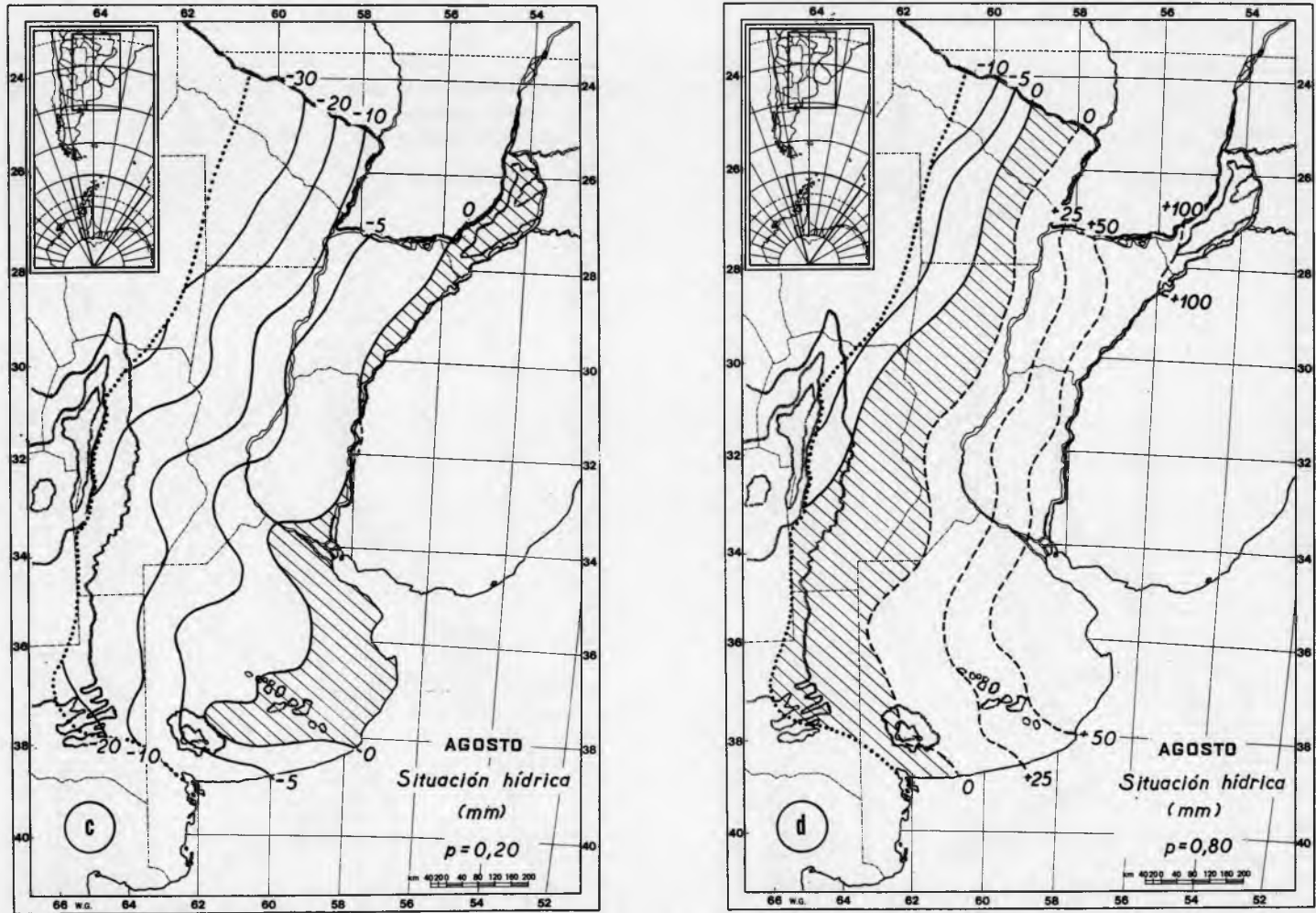
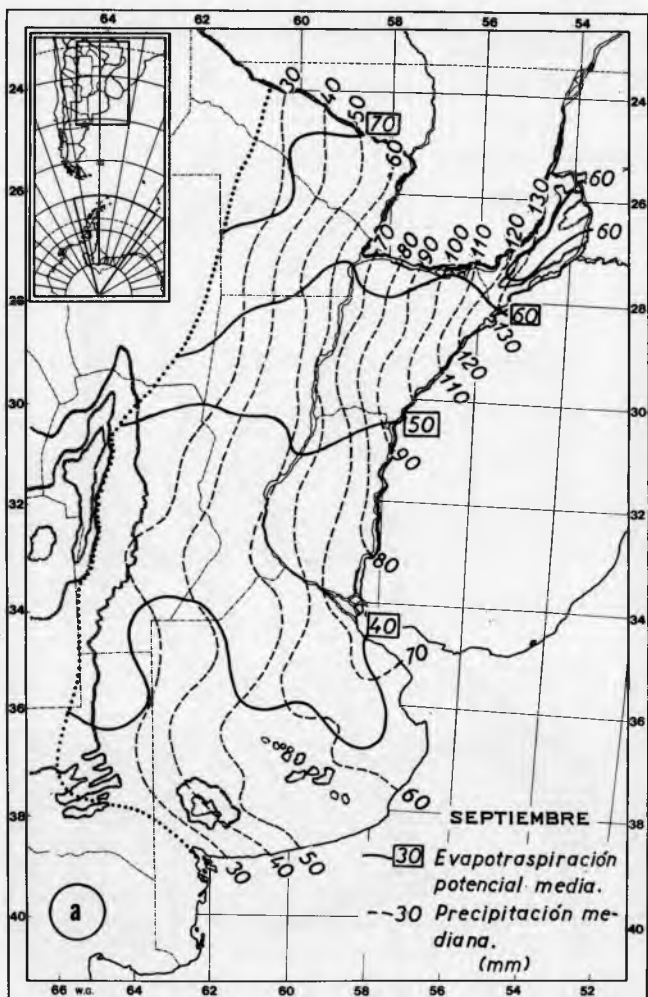
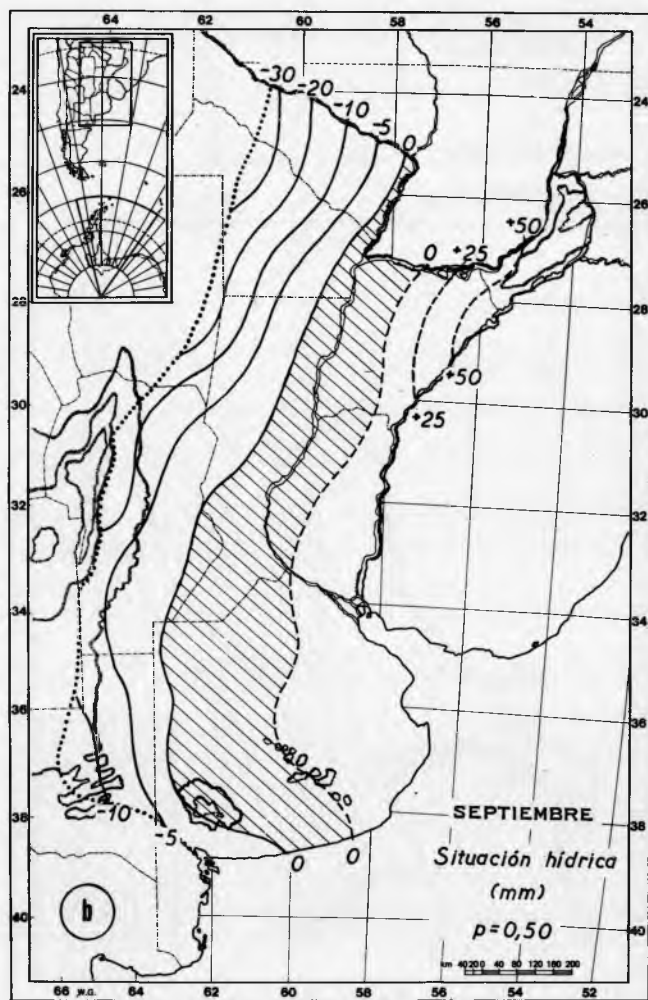


Figura 10: Resultados para el mes de agosto: a) evapotranspiración media y precipitación mediana; b) situación hídrica, $p = 0,50$; c) situación hídrica, $p = 0,20$ y d) situación hídrica, $p = 0,80$.





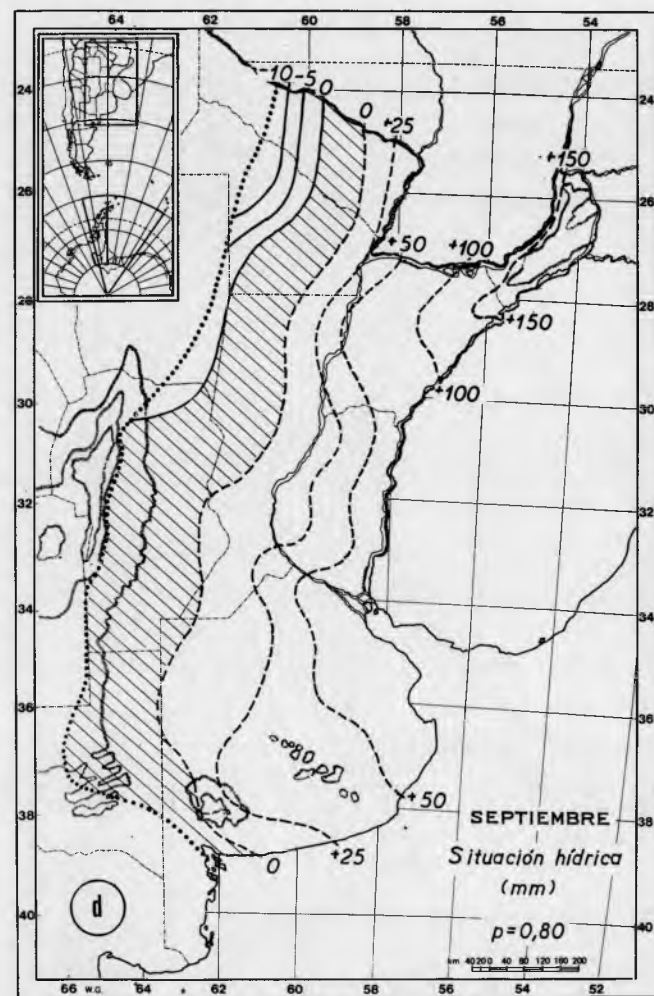
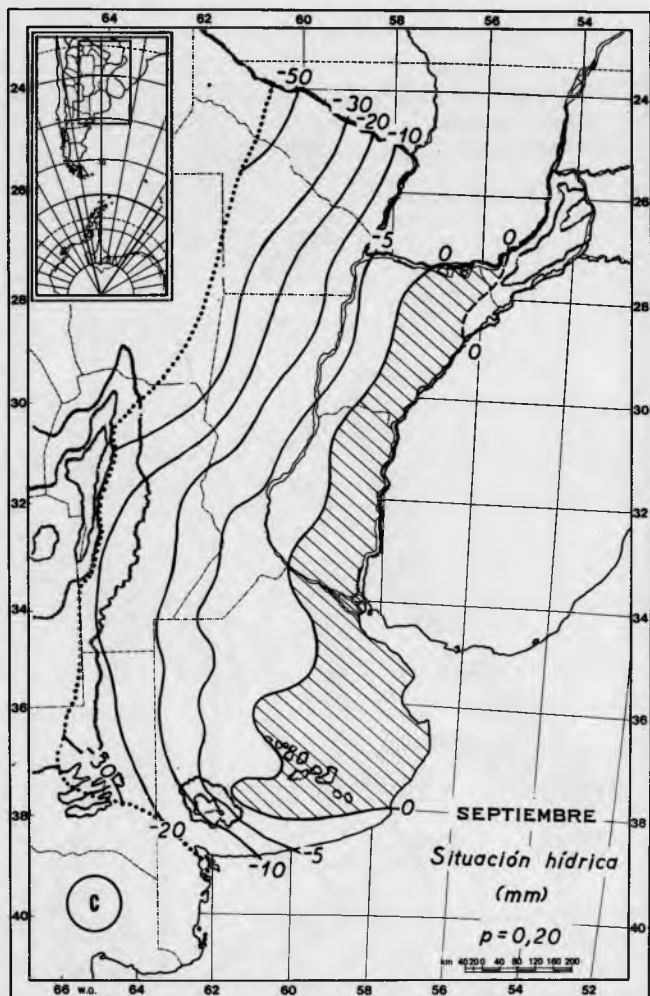
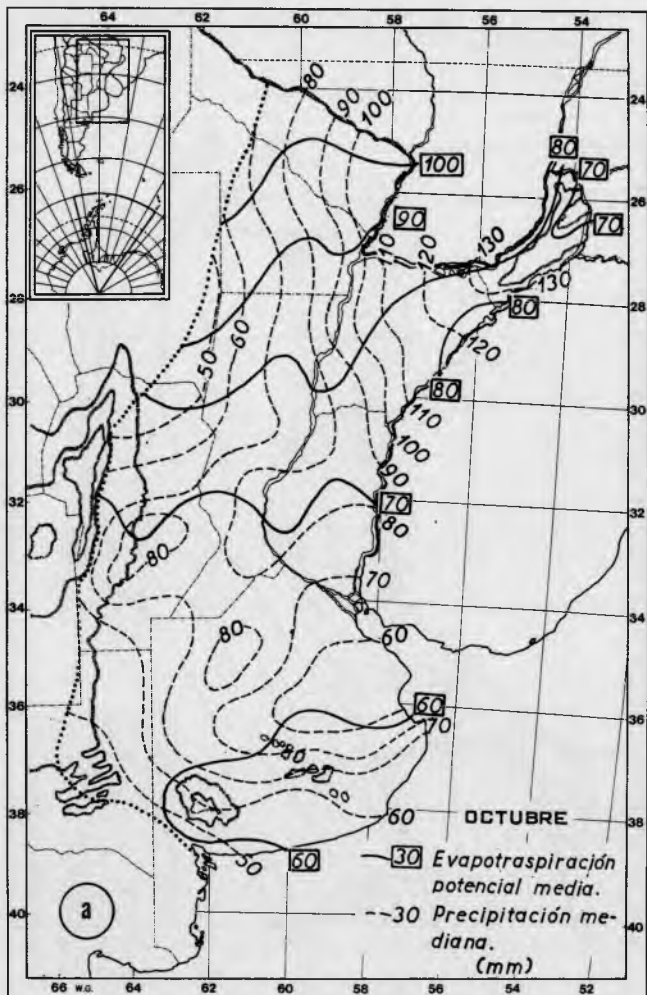
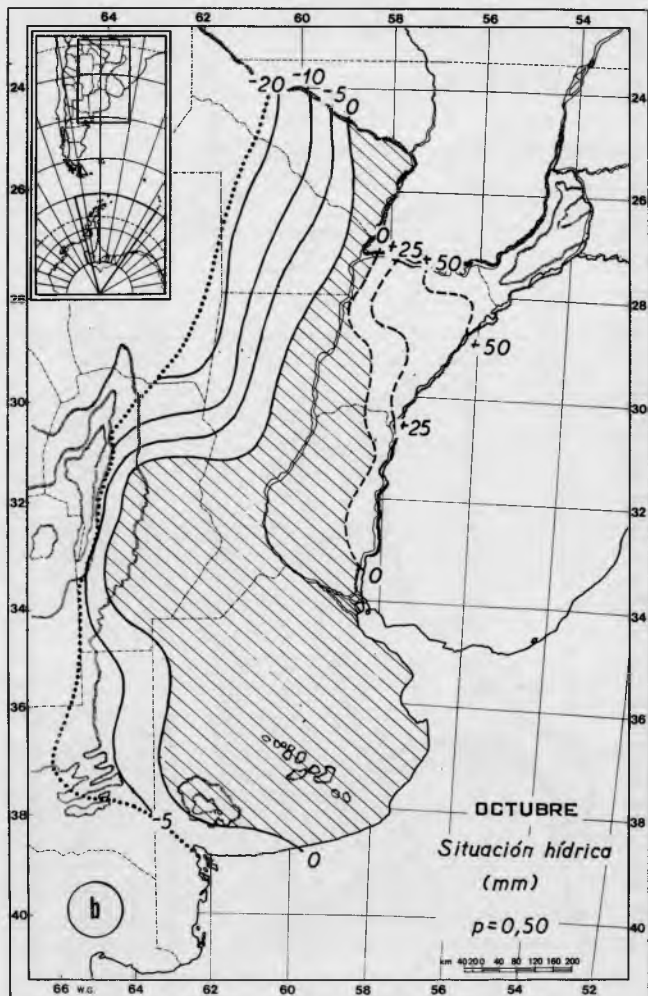


Figura 11: Resultados para el mes de septiembre: a) evapotranspiración media y precipitación mediana; b) situación hídrica, $p = 0,50$; c) situación hídrica, $p = 0,20$ y d) situación hídrica, $p = 0,80$.





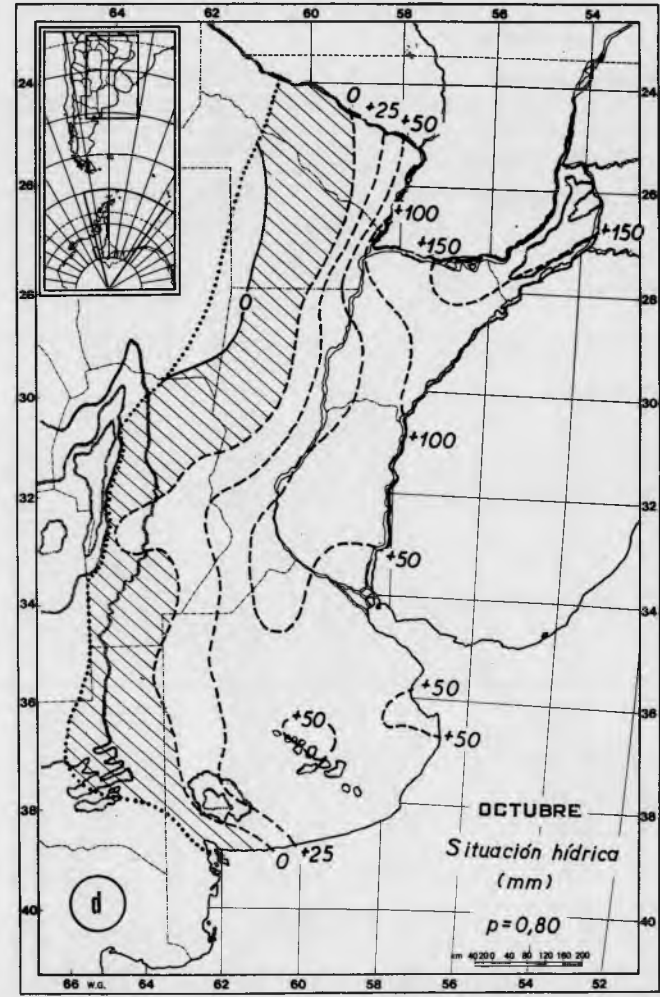
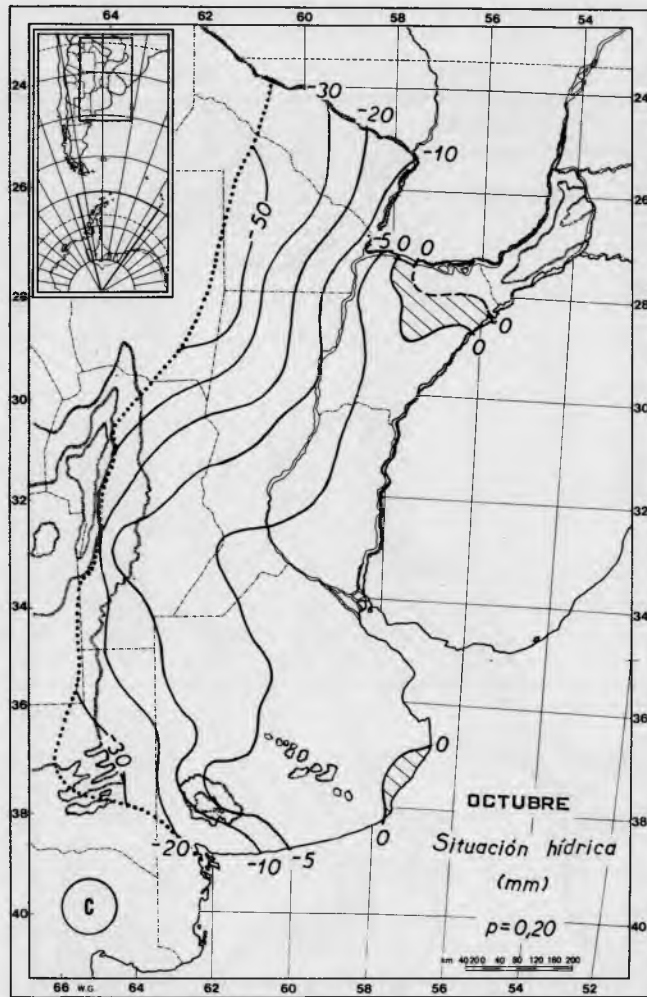
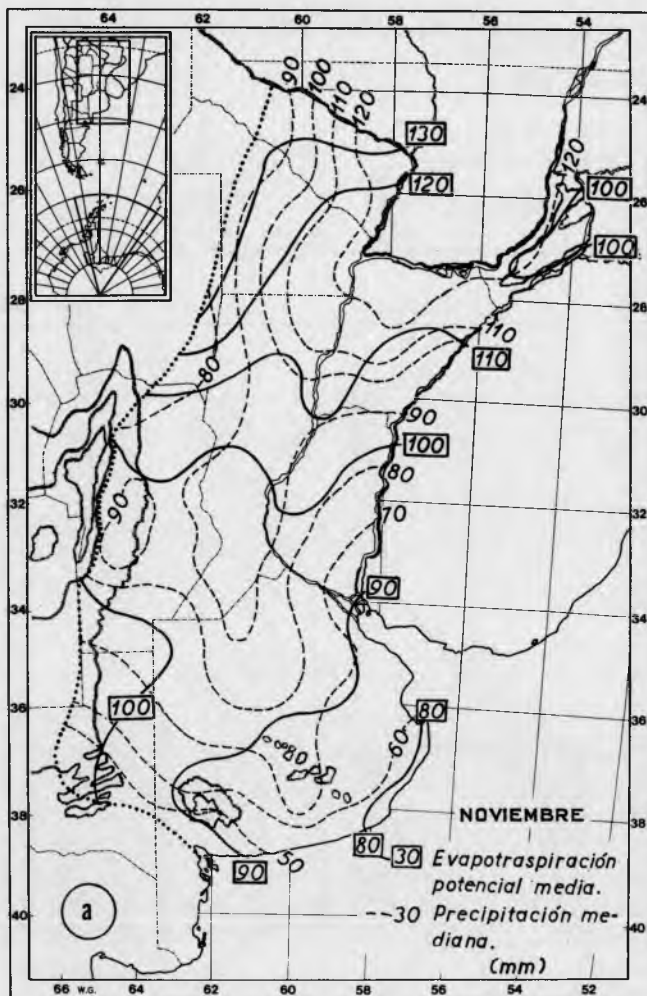
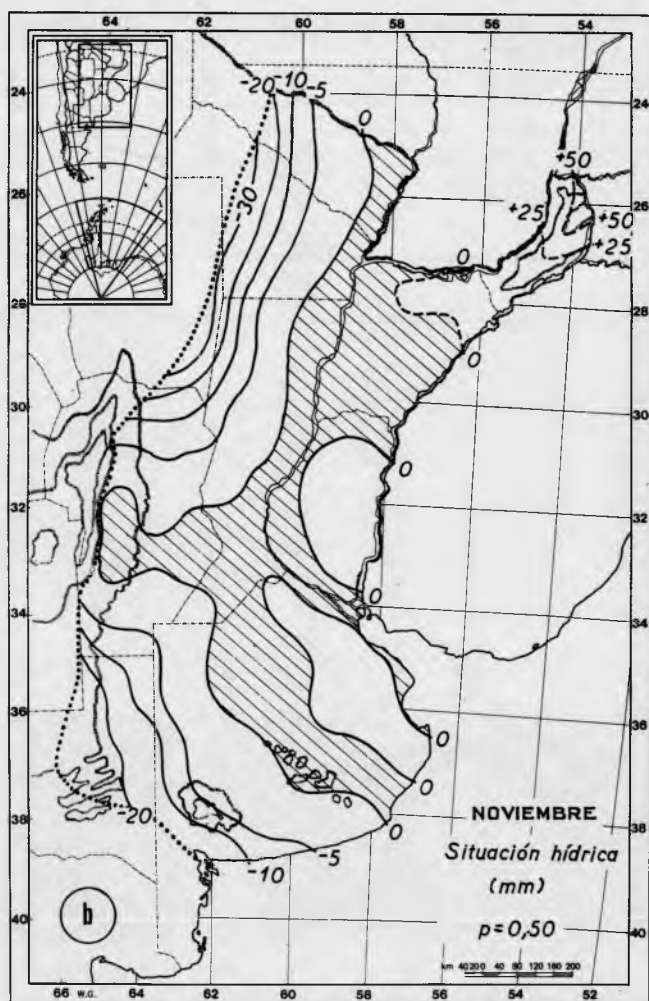


Figura 12: Resultados para el mes de octubre: a) evapotranspiración media y precipitación mediana; b) situación hídrica, $p = 0,50$; c) situación hídrica, $p = 0,20$ y d) situación hídrica, $p = 0,80$.





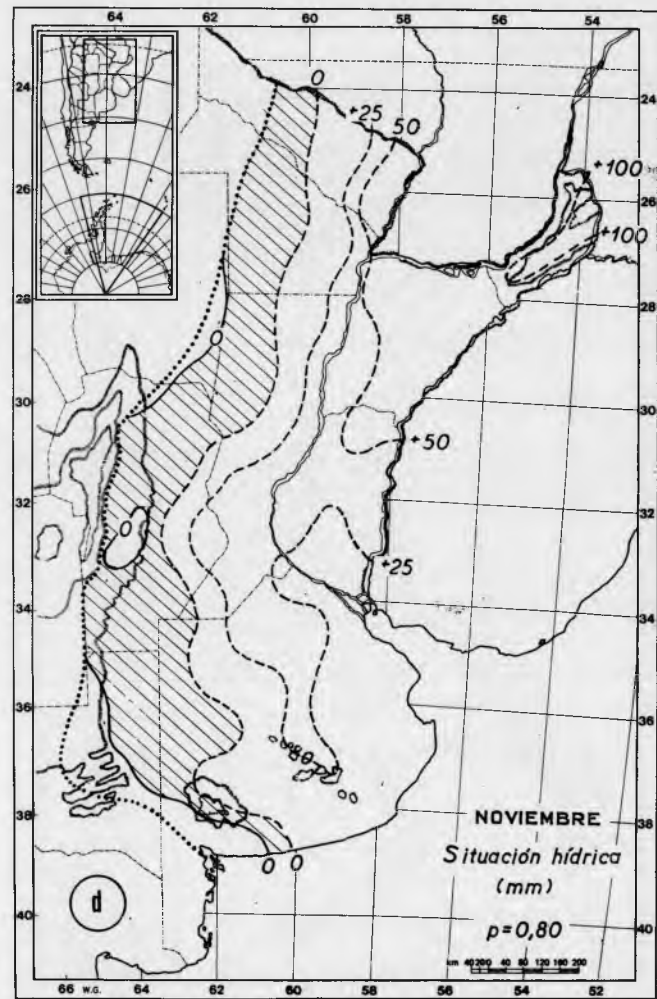
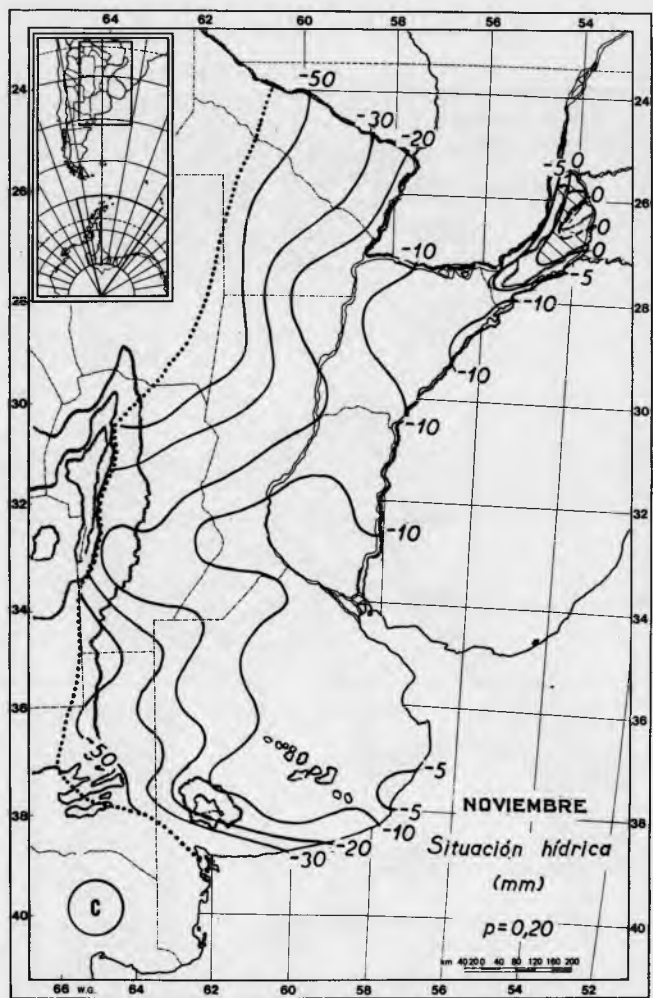
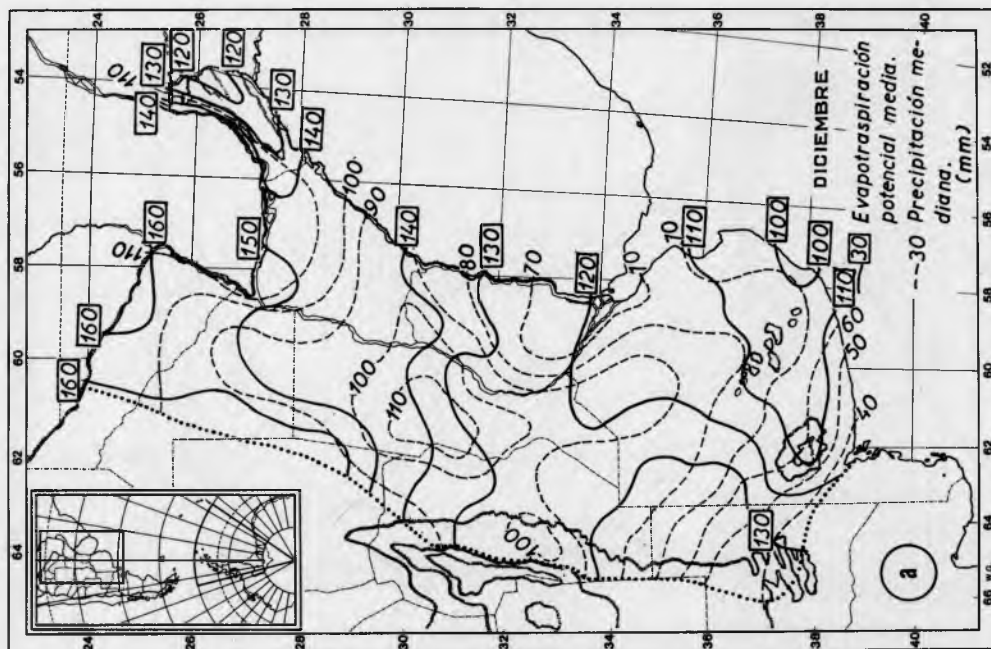
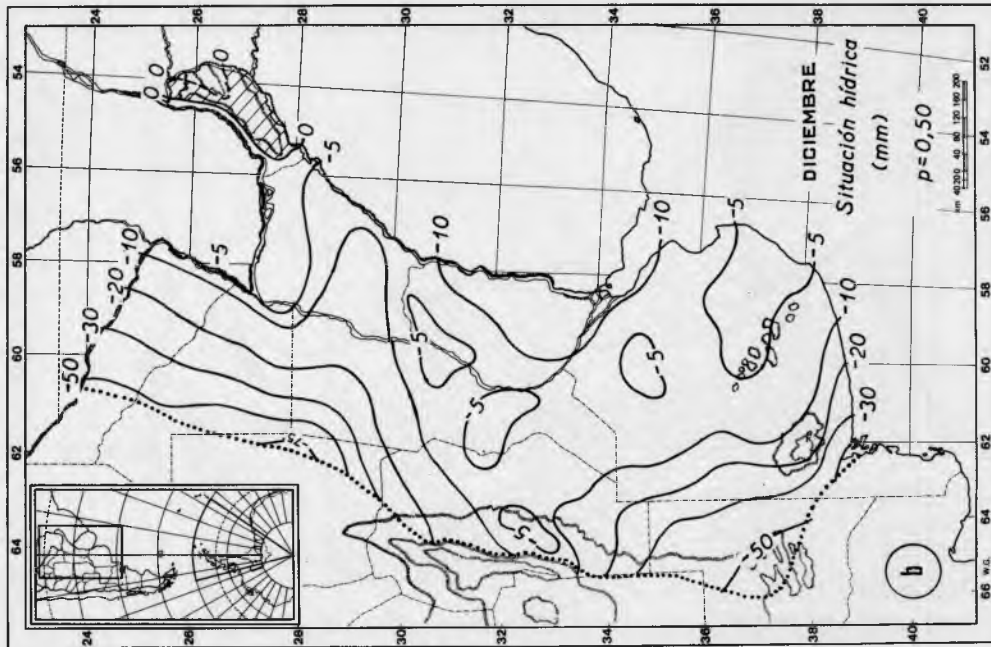


Figura 13: Resultados para el mes de noviembre: a) evapotranspiración media y precipitación mediana; b) situación hídrica, $p = 0,50$; c) situación hídrica, $p = 0,20$ y d) situación hídrica, $p = 0,80$.



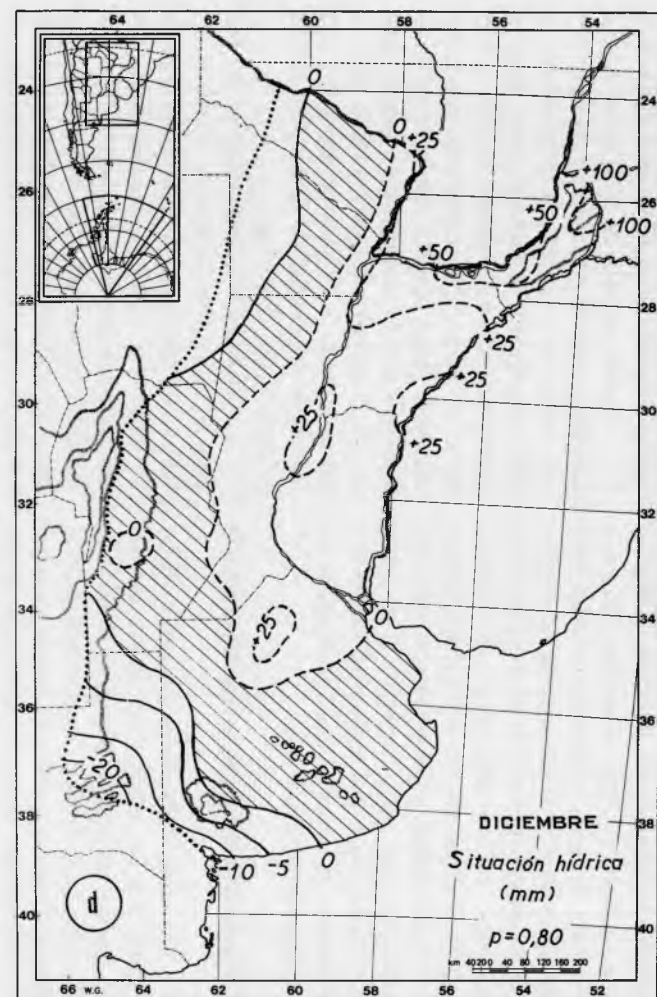
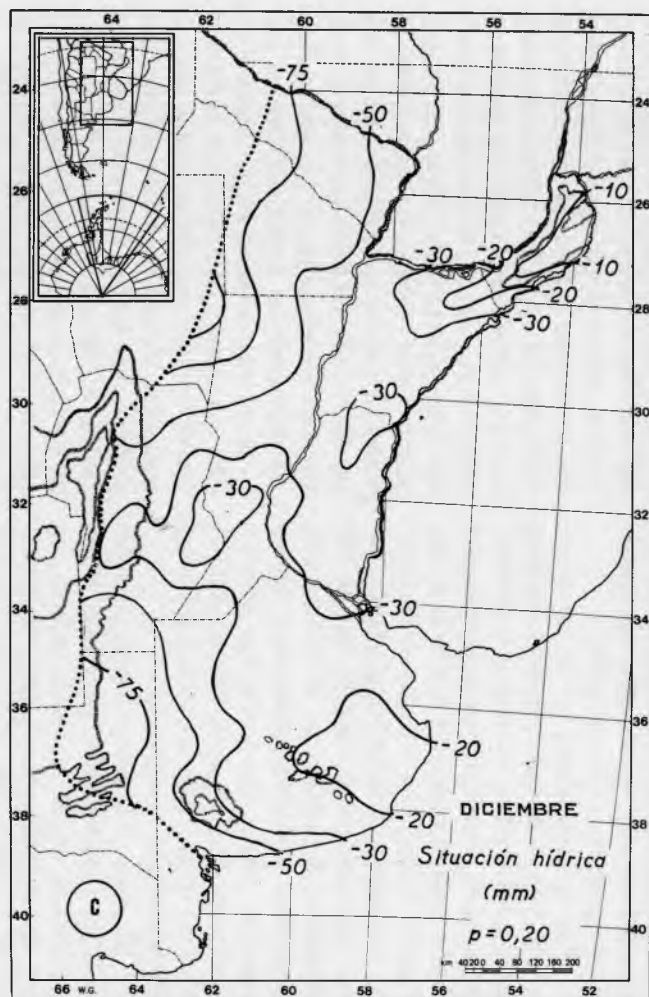


Figura 14: Resultados para el mes de diciembre: a) evapotranspiración media y precipitación mediana; b) situación hídrica, $p = 0,50$; c) situación hídrica, $p = 0,20$ y d) situación hídrica, $p = 0,80$.

la mayor parte de la región oriental argentina de cultivos en secano, el período de marzo a octubre configura, en términos medianos, una equivalencia entre demandas y disponibilidades de agua, condición favorable para que la siembra y el crecimiento de cultivos invernales pueda realizarse en condiciones de humedad edáfica adecuadas. En cambio, aquellos cultivos que vegetan durante los meses de diciembre, enero y febrero, quedarán sometidos con igual frecuencia a un estrés por falta de agua que repercutirá en los rendimientos en relación con la magnitud de las deficiencias regionales.

2) Situación hídrica con probabilidad del 20%

Las cartas individualizadas con c) en las Figuras 3 a 14, señalan los valores que corresponden al primer quintil de la serie de SH ordenadas desde la mayor deficiencia al mayor exceso, vale decir, en uno de cada cinco años pueden esperarse situaciones de humedad más desfavorables que las indicadas por las isólineas. Por la característica relación entre las P y las EP de la región, la mayor parte de las SH correspondientes a esta probabilidad son deficiencias, anotándose pocos equilibrios y escasos excesos.

Con la probabilidad del 20 por ciento también el mes de enero resulta el más seco, pues las SH negativas ocurren en la totalidad de la región, encontrándose las condiciones menos desfavorables en la provincia de Misiones (-5 mm) y las más graves en el extremo sudoeste de la de La Pampa, donde pueden esperarse que se registren más de 100 milímetros de deficiencias en uno de cada cinco años. Noviembre, diciembre y febrero presentan menor deficiencia que enero e igualmente falta de áreas con equilibrios, salvo el extremo NE misionero en los meses centrales de este cuatrimestre.

El pasaje de febrero a marzo, igual que en la probabilidad del 50 por ciento, señala el comienzo de una acentuada mejoría, con una disminución generalizada en la intensidad de las deficiencias, apareciendo un área cerrada con equilibrios en el sur de la provin-

cia de Santa Fe, donde ya se manifestaran situaciones menos desfavorables que las circundantes durante el cuatrimestre estival seco.

A partir del mes de abril las áreas con equilibrio, que al principio aparecen en forma aislada en el norte de la mesopotamia, se van extendiendo y uniendo hasta llegar a formar una faja longitudinal en todo el borde de la región, que se mantiene con pocas variantes desde junio a septiembre. Dentro de esta secuencia, los meses de junio y julio se presentan como los menos secos, con excesos de hasta + 25 mm en Misiones y con reducidas deficiencias de -10 a -20 mm en la franja límite occidental.

La desaparición casi total de la faja oriental de equilibrios durante el mes de octubre, está señalando el comienzo del período durante el cual uno de cada cinco años las demandas atmosféricas superan a las disponibilidades de agua. Esta situación se establece nítidamente en noviembre, apareciendo entonces un campo hídrico deficitario generalizado, con un rango de variación desde 0 mm en el noreste hasta -50 mm en el borde occidental.

Resumiendo, la variación regional de las SH probables de ocurrir en uno de cada cinco años, sugiere que la región oriental argentina de secano soporta, con esa recurrencia, condiciones de humedad edáfica inadecuadas para los cultivos de vegetación primavero-estival, pues presenta deficiencias importantes desde octubre hasta febrero, lapso que, cuando menos, incluye dos subperíodos fenológicos críticos a la falta de agua en esas especies: el de siembra-nacimiento y el de floración-fructificación, en los que las deficiencias apuntadas comprometerían el éxito de las cosechas en el 20 por ciento de los años. En cambio, las deficiencias posibles de ocurrir con igual probabilidad desde marzo a septiembre, indican situaciones hídricas más propicias para la etapa vegetativa de aquellos cultivos de siembra otoño-invierno los que, sin embargo, pueden sufrir limitaciones en la disponibilidad de agua edáfica durante el subperíodo crítico más decisivo al comienzo de primavera (octubre-noviembre). En efec-

to, durante estos meses cuando ocurre la espi-gazón del trigo -con la lógica variación en la fecha según las zonas y cultivares-, las respectivas cartas de SH señalan deficiencias que, siendo reducidas durante octubre en el centro-este del área triguera (-5 mm), se aumentan rápidamente hacia occidente y se intensifican generalizadamente en noviembre, evidenciando así la posible disminución de los rendimientos en el 20 por ciento de los años por insatisfacción hídrica durante el período crítico.

Para mejor ilustrar este aspecto del régimen hídrico que puede comprometer la marcha normal de los cultivos en la parte occidental de la región, se presenta la Figura 15 a), donde se ha señalado la probabilidad de ocurrencia de años con $SH \geq -25$ mm para el mes de noviembre, el que además de corresponder a las etapas finales de los cultivos de invierno, coincide con las iniciales -preparación del suelo, siembra, nacimiento- de los estivales. En ambos casos se ha supuesto que deficiencias de esa magnitud producirían situaciones netamente desfavorables y perjudiciales.

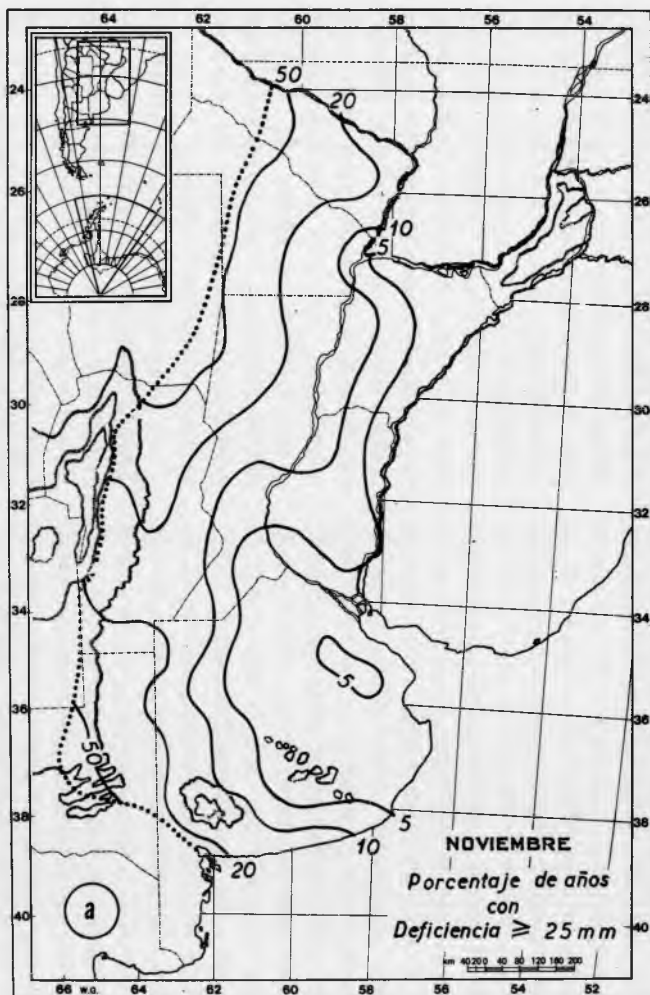
Una muestra más del riesgo a que pueden estar sometidos los cultivos de verano queda señalada en la Figura 15 b) donde se indica la probabilidad de ocurrencia de sequía absoluta durante el mes de enero, es decir, la frecuencia de años en que el contenido de humedad edáfica puede ser inferior al coeficiente de marchitez, aproximadamente 110 mm para el almacenaje de 200 mm de agua considerado como máximo. Puede observarse que en el borde occidental de toda la región, pueden ocurrir situaciones perjudiciales más frecuentemente que una vez cada cuatro años y que toda la faja central de norte a sur, aproximadamente entre el 10 y el 25 por ciento de los años, sufre de las deficiencias señaladas. Solamente el borde más oriental en la mesopotamia y gran parte de la provincia de Buenos Aires, tienen una recurrencia en situaciones desfavorables menor de uno cada veinte años. Con la valoración hídrica que muestra esta carta, resalta el gran riesgo de ocurrencia de sequías absolutas du-

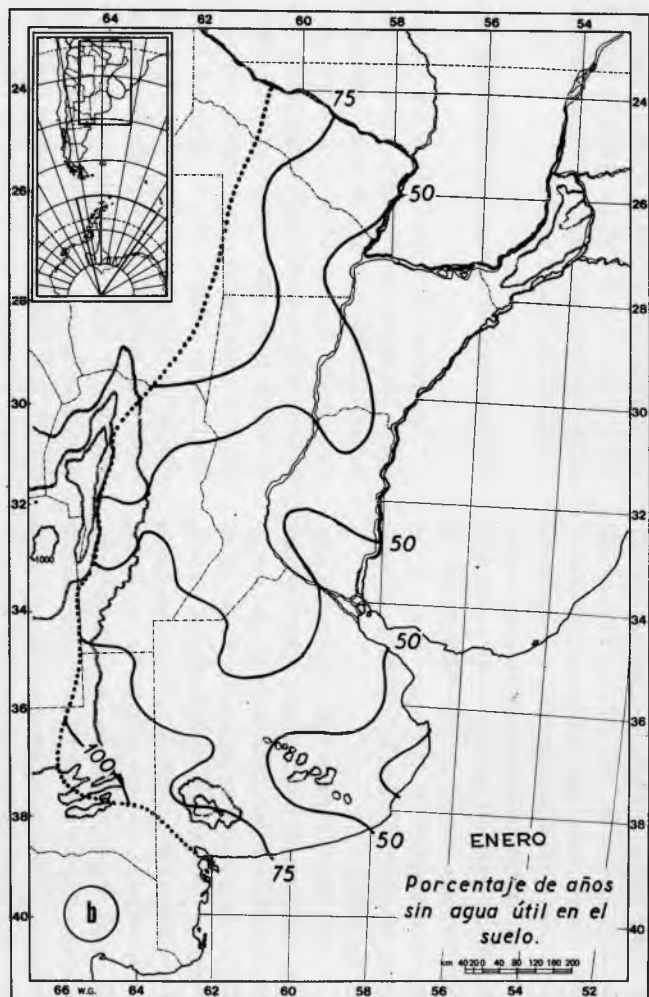
rante enero en toda la región, sólo inferior al 50 por ciento de los años en el área de mayor densidad de siembra de cultivos estivales, confirmando así el riesgo señalado para el cultivo de maíz en la zona de Pergamino (Zaffanella y Zaffanella, 1960).

3) Situación hídrica con probabilidad del 80%

Las cartas d) de las Figuras 3 a 14 consignan los valores de SH que pueden ser iguales o excedidos en uno de cada cinco años, es decir, los correspondientes al cuarto quintil de la serie ordenada ascendentemente. En su mayor parte estos valores se ubican dentro de la zona positiva de la escala correspondiente a los excesos, o a lo sumo en la de equilibrios, siendo reducidos el área y el período con valores negativos de deficiencia. Además, es fácil apreciar que como consecuencia de la capacidad máxima de retención edáfica y la forma de desecamiento adoptados en el balance, el valor absoluto del cuarto quintil en un área dada es siempre superior al del primero o, lo que es lo mismo, la cantidad de milímetros posibles de ocurrir como excesos una vez cada cinco años, supera en mucho a la cantidad de milímetros a esperar como deficiencia, con igual probabilidad. Como se ha dicho, atendiendo a su significación agrícola es inadecuado atribuir similar repercusión a iguales milimetrages de excesos o deficiencias. Asimismo, iguales valores de deficiencias en áreas distintas, admiten atribuirles efectos perjudiciales similares cuando actúan sobre los mismos subperíodos del cultivo, mientras que el efecto de la magnitud en los excesos estará condicionado al tipo, profundidad, declive, etc. del suelo, características que determinarán variaciones en el drenaje o estancamiento del agua excedente a la capacidad de campo.

La observación de las cartas correspondientes a esta probabilidad del 80 por ciento, muestra que el mayor rango en el valor de las SH se presenta en el mes de enero, desde los + 150 mm en el NE hasta los -30 mm en el SW, separados por un área central de equilibrios y ligeros excesos (+ 25 mm) ubicada





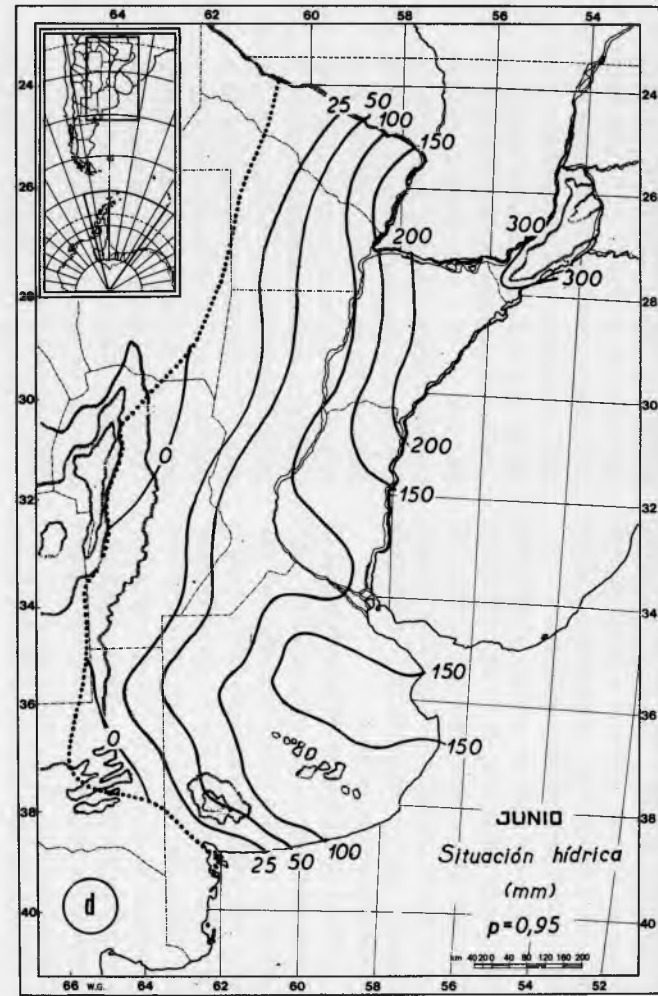
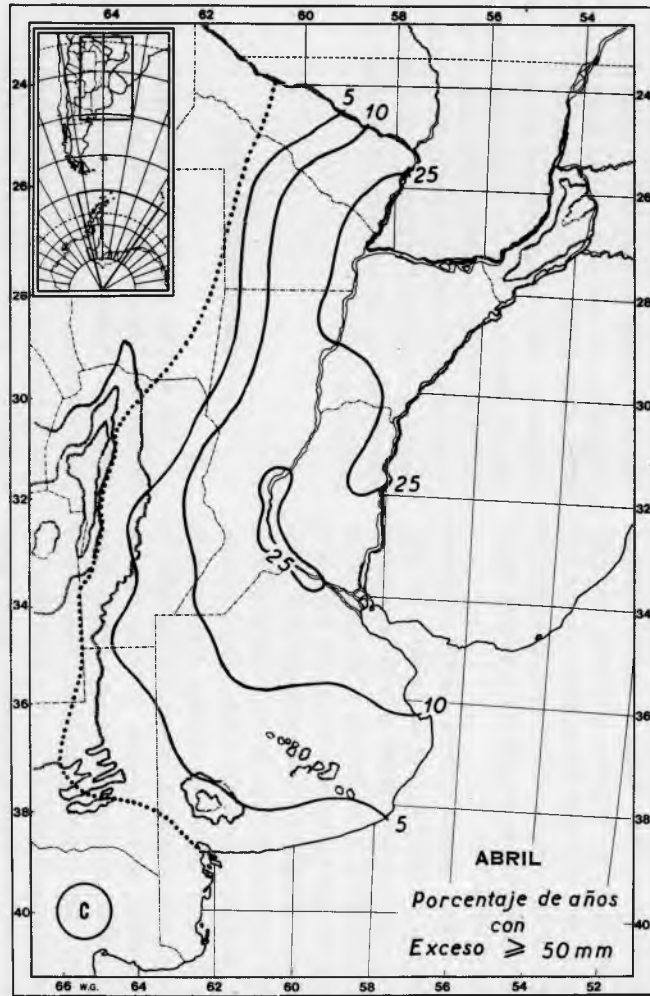


Figura 15: a) Porcentaje de años con deficiencia de agua ≥ 25 mm en noviembre; b) Porcentaje de años sin agua útil en el suelo en enero; c) Porcentaje de años con excesos ≥ 50 mm de agua en abril y d) situación hídrica a esperar en el mes de junio una vez cada veinte años.

nuevamente en el sud santafesino. Esta distribución -que repite lo ya señalado para las posibilidades del 50 y 20 por ciento-, se describe en febrero, mes que acusa la superficie más extensa bajo situaciones hídricas equilibradas para esta probabilidad.

Durante el mes de marzo, la particular distribución geográfica de las precipitaciones determina la aparición de importantes excesos en el área central superando los + 75 mm, situación que se mantiene casi estacionaria en el siguiente mes de abril.

Como consecuencia de la persistencia de valores positivos en las diferencias (P - EP) durante el período otoño-invernal desde mayo a setiembre, se establece sobre toda la franja oriental de la región una zona de excesos de agua que llega a superar los + 150 mm, mientras todo el resto de la región permanece bajo condiciones de equilibrio, sólo interrumpida en pequeñas áreas del NW (agosto y septiembre con -5 a -20 mm).

El mayor volumen de las lluvias de octubre y noviembre se refleja en el aumento que experimenta el área de excesos, que mantiene su intensidad en el NE pero la reduce en el resto. Además, la trayectoria de las isolinéas, que había reflejado cercanamente la de las isoyetas, comienza a modificarse para dar lugar a una zona cerrada central de mayores excesos la que, insinuándose en diciembre, se establece nítidamente desde enero hasta abril.

Como generalización, puede indicarse que las situaciones hídricas posibles de ocurrir con la probabilidad del 80 por ciento, corresponden a equilibrios y excesos hídricos en toda la región a través del año, salvo ligeras deficiencias que aparecen en los bordes más occidentales del noroeste o sudoeste durante el semestre cálido. Por supuesto, la importancia de los excesos dependerá de varias circunstancias, como por ejemplo, la capacidad de percolación y escorrentía de los suelos, la coincidencia con etapas fenológicas más o menos sensibles, con las épocas de preparación del suelo o de la cosecha, etc., pero en términos generales, puede aceptarse que excesos mayores de 50 mm men-

suales siempre deben resultar perjudiciales, especialmente si responden a una secuencia estacional. Como ilustración, se presentan las cartas de la Figura 15 c) con valores de la frecuencia porcentual de años en que pueden presentarse excesos iguales o mayores de 50 mm durante el mes de abril y la 15 d) con los excesos que pueden ocurrir en el mes de junio en el 5 por ciento de los años. La primera carta señalaría la incidencia de excesos perjudiciales durante el período de maduración de los cultivos estivales. Como un ejemplo concreto de su aplicación, puede ser usada para estimar comparativamente el porcentaje de años en que el proceso de maduración y las operaciones de cosecha de la soja pueden verse regionalmente afectadas por la ocurrencia de excesos hídricos importantes; en el área sojera típica del sureste santafesino-este entrerriano esta situación adversa se presentaría con una frecuencia aproximada de uno cada cuatro años.

La segunda carta (Figura 15 d)) señala la magnitud del exceso de agua estadísticamente superable en uno de cada veinte años y resultaría una estimación primaria de la frecuencia de años en que podrían ocurrir inundaciones. Llama la atención la presencia de un área en el centro-este de la provincia de Buenos Aires con excesos superiores a 150 milímetros, en coincidencia con la depresión del río Salado, donde los suelos impermeables y de reducido drenaje superficial coadyuvarían a aumentar la probabilidad de inundaciones, conclusión avalada por el aumento coincidente de las precipitaciones señalado por Troha (1978).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las autoridades del Servicio Meteorológico Nacional por las facilidades concedidas para extraer los datos pluviométricos, a la Cátedra de Edafología de esta Facultad por los valores incluidos en el Cuadro 2 y a los docentes de nuestra Cátedra: Eduardo Mario Sierra, Rafael Oscar

Rodríguez y Laura Torre de Fassi, por la colaboración brindada en la preparación y compilación electrónica de la información utilizada.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Argentina, Servicio Meteorológico Nacional, 1958. Estadísticas climatológicas 1941-50. Ministerio de Aeronáutica. Servicio Meteorológico Nacional. Publ. B₁ N° 3.
- 2) Argentina, Servicio Meteorológico Nacional, 1962. Datos Pluviométricos 1921-1950. Secretaría de Aeronáutica. Servicio Meteorológico Nacional. Publ. B₁ N° 2.
- 3) Argentina, Servicio Meteorológico Nacional, 1972 a. Estadística Climatológicas 1951-60. Fuerza Aérea Argentina. Servicio Meteorológico Nacional. Serie B. N° 6.
- 4) Argentina, Servicio Meteorológico Nacional, 1972 b. Normales climatológicas 1931-60. Fuerza Aérea Argentina. Servicio Meteorológico Nacional. Serie B. N° 7.
- 5) Argentina, Servicio Meteorológico Nacional, 1981. Estadística climatológica 1961-70. Fuerza Aérea Argentina. Servicio Meteorológico Nacional. Serie B. N° 35.
- 6) Burgos, J. J., 1969. Clima de la Provincia de Buenos Aires en relación con la vegetación natural y el suelo. En "Flora de la Provincia de Buenos Aires". T. 1, pág. 33-99.
- 7) Burgos, J. J., 1970. El clima de la región noroeste de la República Argentina en relación con la vegetación natural y el suelo. En "Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica". Vol. XI, pág. 37-102.
- 8) Burgos, J. J., 1970. La sequía como fenómeno agroclimático. Actas del Seminario regional sobre Hidrología de las Sequías. Lima, Perú, p. 165-176. Publ. en 1972 por la Oficina de Ciencias de la UNESCO para América Latina. Montevideo.
- 9) Burgos, J. J. y A. L. Vidal, 1951. Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite. *Meteoros*, Argentina, 1 (1): 3-32.
- 10) Burgos J. J. y J. A. Forte Lay, 1978. Métodos 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, Argentina, 12 pág.
- 11) Damario, E. A. y C. L. Cattáneo, 1982. Estimación climática de la evapotranspiración potencial en la Argentina según el método de Penman 1948. *Revista de la Facultad de Agronomía*, Buenos Aires, 3 (3): 271-292.
- 12) De Fina, A. L., 1978. Datos agroclimáticos de la República Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina, Publicación N° 163. 186 págs.
- 13) Pascale, A. J. y E. A. Damario, 1969. Aptitud agroclimática de la provincia de Chaco para el cultivo del trigo. *Rev. Fac. de Agr. y Vet.*, Buenos Aires, 17 (3): 49-61.
- 14) Pascale, A. J. y E. A. Damario, 1977. El balance hidrológico seriado y su utilización en estudios agroclimáticos. *Rev. Fac. Agr. La Plata* 53 (1-2): 15-34.
- 15) Pascale, A. J. y A. Troha, 1977. Factores agrometeorológicos determinantes del rendimiento en girasol. *IADO*. 3a. Reunión Nacional de Girasol, Buenos Aires, 1: 16-36.
- 16) Pascale, A. J.; O. D. Pórfido; E. M. Sierra y L. E. Torre de Fassi, 1979. Valoración meso-agroclimática del noroeste argentino para el cultivo de la soja. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Santa Fe. VI Reunión Técnica Nacional de Soja, Santa Fe, 1978. *Trabajos Presentados*. 33 págs.
- 17) Sierra, E. M., 1979. Programa de procesamiento automático del balance hidrológico seriado mensual. Cátedra de Fenología y Climatología Agrícolas, Facultad de Agronomía, UBA. Inédito.
- 18) Thornthwaite, C. W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.*, 38. 55-94.
- 19) Thornthwaite, C. W. and J. R. Mather, 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Drexel Institute of Technology*. Publication in *Climatology*, 10 (3): 185-311.
- 20) Troha, A., 1978. Régimen de las precipitaciones en la provincia de Buenos Aires. Taller argentino-estadounidense sobre "Sequías". Mar del Plata, Argentina. Inédito, 20 págs.
- 21) Vargas, W. M., 1977. Incidencias teórico-prácticas del balance hídrico y propuesta de una mejor aproximación a la región húmeda argentina. Universidad de Buenos Aires. Fac. de Ciencias Exactas y Naturales. Publicación del Departamento de Meteorología, 52 págs.
- 22) Vargas, W. M., 1980. Excesos y déficits de humedad en la región húmeda y semiárida argentina. Atlas. Tomo 1. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas. Centro de Informática Hídrica. Buenos Aires. 133 págs.
- 23) Vargas, W. M., 1982. Excesos y deficiencias de humedad en la región húmeda y semiárida argentina. Atlas, Tomo 2, Centro de Investigaciones Biometeorológicas. Buenos Aires. 135 págs.
- 24) Zaffanella, M. J. R. y M. G. Zaffanella, 1960. Rendimientos decrecientes del maíz en relación con factores edafoclimáticos. *IDIA*. Buenos Aires, 150: 33-43.