

EL PROGRAMA "EXCESOS Y DEFICIENCIAS DE AGUA EN LA REPUBLICA ARGENTINA" DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOMETEOROLOGICAS (CIBIOM - CONICET)

Académico de Número Ing. Agr. JUAN JACINTO BURGOS

I. Introducción

El Centro de Investigaciones Biometeorológicas, dependiente del CONICET, fue creado en 1976 con el agrupamiento de algunos investigadores de la Universidad de Buenos Aires que, en forma individual, se habían dedicado al estudio de la aplicación de la meteorología a los procesos de la biósfera y a los organismos vivientes que la pueblan. El objetivo fue integrar ese esfuerzo en un equipo que por medio de programas debidamente planificados pudieran hacer su labor más fructífera, trascendente y controlada. Por esta razón los programas que integran el Centro no son nuevos, sino que en su mayoría tienen su origen en investigaciones realizadas antes de su formación y sus metas futuras, se ha considerado que responden a intereses prioritarios que demanda el desarrollo del país.

II. Origen o primera etapa de desarrollo del programa

El programa "Excesos y deficiencias de agua en la República Argentina" surgió de la comprensión de la magnitud que este problema, aún no resuelto, tiene en la evolución económico-social argentina y frente a la posibilidad de que, con la aplicación de nuevas técnicas, se obtenga su esclarecimiento al nivel que permiten los conocimientos científicos actuales. Desde la introducción en el país del primer modelo de balance de agua del suelo en 1948 (Thornthwaite, 1948; Burgos y Vidal, 1951) resultó evidente que sólo con el perfeccionamiento de una metodología similar se podría tender hacia una adecuada evaluación de las condiciones de humedad y aridez del clima, y de los episodios extremos como las sequías y excesos de agua que tanta importancia tienen en las fluctuaciones económicas del país, cuantificar el efecto del factor hidrológico como determinante de los grandes biomas y los tipos de suelos y eventualmente disponer de un elemento eficaz como predictor de la productividad natural y agrícola.

Con estos conceptos se vislumbró que la clásica fórmula del balance hidrológico,

$$P + E + R \rightarrow 0 \quad (1)$$

donde:

- P, es la precipitación
- E, es la evaporación, y
- R, es el escurrimiento,

es válida como aproximación a un valor general únicamente de aplicación a grandes extensiones de la superficie terrestre y prolongados períodos de tiempo; y que para los problemas ecológicos y para menores escalas de espacio y de tiempo, podría explicitarse y resolverse en forma más adecuada con la siguiente expresión

$$P + E_{tr} + R_s + R_f + \Delta w \rightarrow 0 \quad (2)$$

donde:

R, precipitación

E_{tr} , evaporación real

R_s , escurrimiento superficial

R_f , escurrimiento profundo

Δw , variación del almacenaje de agua en el suelo.

Aquel primer modelo mencionado anteriormente permitió la estimación aproximada de la evapotranspiración real, el escurrimiento y la variación del almacenaje en el suelo. No obstante los datos elementales utilizados como una primera verificación, tales el escurrimiento observado en algunas cuencas de ríos del país, el consumo de agua por sistemas de riego en zonas áridas y valores de almacenaje de agua en el suelo observados en algunas localidades, se consideró indispensable producir los materiales necesarios para realizar una verificación más auténtica y definitiva.

Posteriormente, trabajos realizados en otros países de América Latina, confirmaron la relación evidente entre los tipos de vegetación natural y de suelos, la variación de almacenaje de agua de estos últimos y algunos escurrimientos superficiales observados, con los elementos del balance hidrológico explicitado en (2) (Burgos, 1959-1965, América del Sur y Venezuela; Burgos y Corsi, 1970). Ello afirmó la convicción de que, aun cuando la metodología de estimación pudiera ser perfeccionada, el enfoque general era correcto. Con estos fundamentos se concentró la atención en dos problemas fundamentales para el desarrollo del país como el que se conforma por la alternancia de las sequías y los excesos de agua en la región pampeana, y la delimitación y evaluación cuantitativa de las zonas áridas.

Se mostró, en 1956, un primer intento del espectro regional de la capacidad de agua, el de las constantes hidrológicas que la determinan y su régimen estacional en suelos pampeanos con pastizales naturales (Δw) y, por inferencia analógica, las modificaciones que se pueden inducir con distintos métodos de manejo (Burgos y Tschapek, 1958). Con respecto al segundo problema mencionado, con estos mismos elementos estimados del balance de agua se estableció que sólo un 19 % del territorio del país posee climas húmedos, mientras el resto se reparte en: 21 % subhúmedos secos, 26 % semiáridos, 25 % áridos y 9 % zona cordillerana no considerada (Burgos, 1963). Este gran agrupamiento, subdividido según el período libre de heladas, ha sido un antecedente frecuentemente utilizado por el INTA para dictaminar sobre las condiciones de aridez, en causas de desgravación impositiva legalmente amparadas por esta circunstancia (*). Todo ello definió en términos reales la importancia que tiene el uso y la economía del agua en el desarrollo socio-económico del país.

(*) Ing. Jorge I. Bellati. Comunicación personal.

III. Segunda etapa de desarrollo con la colaboración de otros organismos

Lo realizado hasta ese momento estimuló la planificación del trabajo futuro para lograr materiales que permitieran una mejor verificación de modelos de estimación del balance de agua, así como los necesarios para la aplicación de éstos a los problemas prácticos variados y específicos de los recursos naturales renovables y agropecuarios. Para ello se buscó y obtuvo la financiación de organismos vinculados, como el Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger", de la Estanzuela, República Oriental del Uruguay (CIA-AB); el CONICET, de la Argentina; el Comité Argentino para el Decenio Hidrológico Internacional (DHI, 1960-1970); y el correspondiente al Año Biológico Internacional (ABI, 1967) —éstos los últimos auspiciados por la UNESCO—, que facilitaron los medios necesarios para esta segunda etapa de los trabajos. En el Instituto mencionado del Uruguay se perfeccionó una metodología para la evaluación sistemática y comparable de la capacidad de agua de los suelos y las constantes hidrológicas necesarias para ello (Burgos y Corsi, 1967).

Al propio tiempo se inició en 1962 la determinación de la humedad de dos suelos pampeanos típicos de clima subhúmedo-húmedo, con muestras replicadas y frecuencia semanal, cada 10 cm hasta 1 m de profundidad, con el objeto de generar una serie temporal de valores observados, que pudieran servir para la verificación de modelos de estimación del cambio de almacenaje de agua en el suelo. En la actualidad se posee un registro de 20 años de estas observaciones. El Comité Argentino del DHI financió trabajos que se realizaron para la determinación de la capacidad de agua en suelos pampeanos, con la metodología ajustada en el CIAAB. El comité correspondiente del ABI financió el trabajo de recolección y depuración de la información meteorológica necesaria para realizar un proyecto de estudio sobre "Régimen de las sequías y excesos de agua de la Región Pampeana" que como tal fuera comunicado en la reunión realizada por la UNESCO en Lima, Perú, y por la OEA en Colonia Suiza, Uruguay (Burgos, 1972). Para ello se firmó un convenio especial entre el Servicio Meteorológico Nacional y la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires, aprobado por Resolución C.S. N° 429/71, en cuya Cátedra de Climatología y Fenología Agrícola se localizaron originalmente estos trabajos.

El CONICET financió en 1970 un proyecto sobre "Dinámica del agua en suelos semiáridos" que tuvo por objeto, como ya se realizaba en el CIAAB desde 1962, generar una serie temporal de valores observados de humedad del suelo para poder examinar la validez de modelos empíricos de su estimación en suelos como los del oeste de la región pampeana. Asimismo, otorgó becas de iniciación y personal técnico de apoyo para trabajos ulteriores con estos objetivos. Finalmente, teniendo en cuenta esta labor y otros trabajos realizados por el mismo grupo, el CONICET decidió la creación del Centro de Investigaciones Biometeorológicas (CIBIOM) (Res. 170/76) el 4 de noviembre de 1976, integrado por diversos programas, uno de los cuales conserva la designación y el objetivo "Régimen de los excesos y deficiencias de agua en la República Argentina".

IV. Tercera etapa: Creación del CIBIOM

La creación del CIBIOM fijó el comienzo de la tercera etapa de este programa durante la cual se elaboró y ordenó buena parte de los materiales

acumulados en la etapa anterior y se originaron nuevos proyectos. La contribución de tesis, becarios y jóvenes investigadores, investigadores contratados y personal de apoyo a la investigación, la adquisición de una moderna computadora y la instalación de laboratorios auxiliares, han sido medios valiosos en el desarrollo alcanzado por el programa.

La transferencia al medio de los resultados obtenidos hasta el presente se ha hecho a través de reuniones internacionales y nacionales vinculadas con los problemas estudiados, como la de Climatología del Hemisferio Sur, en Campinas, Brasil. En 1978 se realizó un taller de trabajo auspiciado por el convenio bilateral CONICET-NSF (National Science Foundation, de EE.UU.), que se denominó "La sequía y el hombre", al que concurrió una representativa delegación de investigadores de los Estados Unidos, en el dominio de la hidrología aplicada, e investigadores integrantes de organismos argentinos vinculados con esta misma actividad. Varios trabajos del CIBIOM del programa que se describe, se comunicaron y discutieron en esta reunión. Otros trabajos se presentaron en diferentes reuniones realizadas en el país, como en el IV Congreso de Meteorología en 1982; Reunión de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas en Mar del Plata, 1982; Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras (UNESCO), 1983; VII Reunión Nacional de Zonas Áridas y Semiáridas, 1980, San Luis; y IV Congreso del Agua (Córdoba), 1983.

El programa en la actualidad está integrado por diversos proyectos y subproyectos, algunos de los cuales se encuentran terminados, otros en plena ejecución y algunos permanecen en forma de proyectos para realizar en el futuro. No obstante que los terminados fueran comunicados en diferentes reuniones científicas aún no han sido publicados.

Su enumeración se puede ordenar así:

- 1) Capacidad de almacenaje de agua en suelos argentinos.
 - a) Suelos Pampeanos;
 - b) Suelos Áridos.
- 2) Características de la cantidad y distribución de las precipitaciones.
 - a) Provincia de Buenos Aires;
 - b) Región Pampeana;
 - c) Noroeste Argentino;
 - d) Noreste Argentino;
 - e) Cuenca del Plata.
- 3) Características de la intensidad de las precipitaciones:
 - a) Escurrimiento superficial y arrastre y erosión de suelos en:
 - i) Región Pampeana;
 - ii) Noroeste Argentino.
- 4) Infiltración de las precipitaciones.
 - a) Región Pampeana.

- 5) Verificación de modelos locales (puntuales) de estimación de almacenaje de agua en el suelo.
 - a) Análisis crítico estadístico del muestreo de almacenaje de agua en el suelo;
 - b) Series experimentales de variación de almacenaje de agua en suelos subhúmedos - húmedos, subhúmedos - secos y semiáridos (Región Pampeana);
 - c) Valores experimentales de almacenaje de agua en suelos áridos.
- 6) Extensión areal de estimaciones locales del almacenaje de agua en el suelo.
- 7) Efecto del poder desecante del aire sobre la vegetación.
 - a) Distribución de la densidad del sistema radicular.
- 8) Régimen de la sequía edáfica y atmosférica y de los excesos de agua.
- 9) Origen y dinámica de las sequías y de los excesos de agua (inundaciones en la República Argentina).

V. Resultados obtenidos

1. Capacidad de almacenaje de agua de los suelos argentinos.

Los materiales acumulados en forma sistemática sobre diferentes tipos de suelo en la región pampeana, han permitido realizar una síntesis de esta importante característica hidrológica, indispensable para la elaboración de balances de agua racionales de uso ecológico en mesoescala. Los suelos representativos de dicha región, estudiados edafo e hidrológicamente en su primer metro de profundidad, alcanzan su mayor capacidad de agua total y útil en la parte norte y este de la región, con una disminución paulatina hacia el sur y oeste (Fig. N° 1).

Los suelos no impedidos, o de drenaje profundo, pero con texturas de medianas a pesadas, más frecuentes en la parte nororiental, alcanzan valores superiores a los 400 mm de capacidad total y de 150 mm de agua útil; mientras que en los suelos más sueltos del oeste de la región, estos valores son algo superiores a 200 mm de capacidad total y alrededor de 100 mm de agua útil (Burgos y Forte Lay, 1978).

Los suelos impedidos de drenaje profundo, como los evolucionados sobre horizontes petrocálcicos (tosca), registraron valores inferiores por esa circunstancia, aunque de éstos los de mayor textura, como los del SE de la provincia de Buenos Aires, tienen mayor capacidad que los correspondientes más sueltos del oeste. La Fig. N° 2 ilustra las características mencionadas en algunos de los suelos estudiados en la región.

Las observaciones acumuladas sobre suelos áridos aún no se han terminado de elaborar, pero ya se conoce que la capacidad de agua total es mayor en los suelos áridos, subtropicales y del centro oeste del país, que en los climáticamente análogos patagónicos. Este proyecto abarcará sistemáticamente otras regiones del país y se intensificará la red de lugares observados en la ya relevadas.

2) *Características de la cantidad de las precipitaciones y de su distribución temporal.*

Este importante aspecto físico de las precipitaciones, así como las características edafohidrológicas aportadas por el proyecto anterior, se consideraron como punto de partida para obtener aproximaciones reales a las incógnitas incluidas en la fórmula (2).

En un primer trabajo realizado (Troha, 1978) se abarcó la provincia de Buenos Aires, considerada como área piloto de la región pampeana por la densidad, uniformidad y duración del período con observaciones y, sobre ella, se ordenaron los 70 años de registros diarios (1911-1970) de una red de 200 estaciones pluviométricas, provistos y depurados por el Servicio Meteorológico Nacional.

Si bien un registro de 70 años con observaciones diarias de precipitación no es suficientemente largo para incluir en él grandes fluctuaciones climáticas, como las que han ocurrido en la época post-glacial que vivimos, resulta el único disponible sobre una red razonablemente densa cuyo estudio puede ser aplicado a muchos problemas socio-económicos prácticos. Las 200 estaciones estudiadas cubren la provincia de Buenos Aires a razón de aproximadamente dos estaciones por partido, lo cual permite subdividir en forma aproximada tales unidades políticas en sus aspectos hidrológicos derivados.

Las lluvias, acumuladas en períodos de tiempo de 14 días, mensual, trimestral, semestral y anual y en clases de cantidad (de 10 ó 20 mm) en 10 localidades, distribuidas sobre toda la extensión provincial, se ordenaron para obtener los respectivos espectros de frecuencias de cantidad de lluvia y someter la información reunida a un análisis probabilístico. A las distribuciones empíricas obtenidas se ajustaron las funciones matemáticas teóricas de la distribución normal, normal-logarítmica, gamma incompleta y normal-raíz cúbica, que pretenden representar la distribución de una población infinita de casos cuya variabilidad fuera la misma que la que existe en la muestra finita. La función normal-raíz cúbica mostró el mejor ajuste de todas las probadas, aún de la gamma incompleta que tan asiduamente se ha usado para estos casos. La Fig. N° 3 muestra gráficamente estos resultados para la localidad de Colman y los períodos de 14 días y mes de enero.

Con estos resultados, y suponiendo que la variabilidad del fenómeno no cambie con el tiempo, es posible resolver dos tipos de problemas. En primer lugar, dada la cantidad de precipitación ocurrida en un intervalo cualquiera de tiempo mayor que un día (por razones de seguridad de cálculo en relación con la duración de la serie, son aconsejables períodos ≥ 14 días), determinar la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones iguales o mayores, o bien, iguales e inferiores a la cantidad fijada. En segundo lugar, el caso inverso: para una probabilidad dada determinar la cantidad de precipitación igual o mayor, o igual e inferior, que puede ocurrir en ese intervalo de tiempo y localidad.

Se podrá argüir válidamente que la variabilidad de los fenómenos climáticos, y la precipitación entre ellos, están sujetos a fluctuaciones y aún a cambios de origen natural y también antropogénicos, no forzosamente incluidos en una serie temporal de 70 años de registro diarios. Pero tampoco se podrá negar que, hasta tanto no se posean pronósticos o modelos razonablemente seguros y detallados de sus elementos a largo plazo, la experiencia de casi un siglo pueda servir para fines prácticos. En problemas de plani-

ficación y desarrollo, deberán tenerse en cuenta las magnitudes más frecuentes; y en cambio, para establecer la estrategia que demande atenuar los efectos de las anomalías extremas, deberán basarse en la probabilidad de la serie histórica disponible. En estos casos, aunque constituyan episodios iniciales de una nueva fluctuación, tendencia o cambio, su probabilidad, dentro de la serie histórica antecedente, será una medida de su contraste con la experiencia, o sea, una auténtica expresión de su impacto económico-social. La repetición más frecuente de tales o mayores extremos, de mantenerse esta tendencia, al paso que irá aumentando la probabilidad de su ocurrencia en la serie ampliada, originará la experiencia correspondiente a la nueva serie.

Sobre esta lógica, se ha propuesto la estrategia de carácter general, que debe aplicarse para atenuar los efectos del impacto económico-social que pueden ocasionar los episodios extremos del balance de agua (sequías e inundaciones). Así como una primera aproximación, se ha considerado aconsejable el siguiente agrupamiento de la magnitud de la anomalía y el tipo de medida a aplicar:

a) Anomalías probables en un año de cada 20 (Probabilidad = 20 %) a un año cada 10 (Probabilidad = 10 %). Medidas tecnológicas de responsabilidad individual. En el caso de atenuación de sequías: riego suplementario, labores de conservación del agua en el suelo; barbecho, cubiertas orgánicas e inorgánicas, aumento de la capacidad de agua en el suelo, incorporación de agregados texturales hidrofílicos; rotación de cultivos, uso de cultivos y variedades resistentes a las sequías, variedades con alta reflectancia, como prácticas de manejo agrícola y disminución de la carga animal, pastoreos rotativos, alimentación suplementaria, reserva de forrajes y granos (silos, depósitos), como prácticas de manejo animal. En el caso de las inundaciones: obras de manejo del escurrimiento superficial (canalización, endicamientos, represas), mejoramiento de la infiltración (cambio de textura del suelo, uso de la tierra, drenaje, subsolado), traslado de hacienda, etcétera.

b) Anomalías probables una vez en períodos mayores de 10 años y menores de 50 ($P < 10\%$ y $> 2\%$). Medidas de solidaridad social regional. Seguros cooperativos regionales, reservas y bancos de forraje y semillas regionales, facilidades de créditos y financiación regional, mora y facilidades de la recaudación fiscal, servicios de equipo y maquinarias cooperativos regionales. Transporte y evacuación de animales, cooperativos regionales, etcétera.

c) Anomalías probables sólo en períodos superiores a los 50 años. Medidas de solidaridad social nacional e internacional.

La serie de 70 años de valores pluviométricos diarios en la provincia de Buenos Aires, ha permitido evaluar algunas anomalías extremas producidas con posterioridad a la serie estudiada y determinar su extensión (Burgos et al., 1983). Las Figs. N° 4 a y b muestran las zonas de equiprobabilidad de sequías semejantes o más intensas, que la ocurrida en el verano y otoño de 1978 y las correspondientes a las catastróficas inundaciones de 1980 y en donde, de haberse determinado en el momento oportuno, se deberían haber aplicado estrategias como las propuestas.

Actualmente se dispone del total de la información necesaria para extender este conocimiento a toda la región Pampeana Argentina, del 60 % de la del NW argentino (Jujuy, Salta, Tucumán, Catamarca y La Rioja y W de Chaco, Formosa y Santiago del Estero) y del 20 % de la del NE del país. Además se considera posible en el futuro obtener la información correspondiente de los países de la Cuenca del Plata.

3) Características de la intensidad de las precipitaciones.

El estudio de la intensidad de las precipitaciones se consideró el medio más apropiado para establecer estimaciones aproximadas de las variables incógnitas R_s y R_f (escurrimiento superficial y profundo o infiltración) de la ecuación (2). Asimismo, esta información resultará un elemento importante en los modelos que permiten estimar el arrastre de los suelos por la lluvia o erosión pluvial. Dos becas otorgadas al CIBIOM se dirigieron con este objetivo que produjeron sendos trabajos sobre la región pampeana (Troha, 1978) y sobre la región noroeste argentina (Spescha, 1983). Por carecer hasta ese momento de curvas de infiltración determinadas experimentalmente, tanto de los suelos pampeanos como los del noroeste argentino, se utilizaron las obtenidas en suelos de características edafológicas y climáticas semejantes de América del Norte. Los resultados obtenidos han permitido, en primer lugar, obtener una estimación de la precipitación que se infiltra y que escurre superficialmente, en algunos puntos de ambas grandes regiones del país, y del arrastre de suelo que anualmente ocasionan las distintas pendientes y manejo de suelo que los caracterizan. Por otra parte, estos primeros datos experimentales han servido, en cierto modo, de verificación de los distintos modelos empíricos que comúnmente se utilizan para estimar el balance de agua del suelo y, por lo tanto, de los excesos de agua.

Los resultados obtenidos se ilustran en las Figs. 5 y 6 y en los Cuadros N° 1 a 4. Se observó así que, mientras en los suelos de texturas pesadas, bajo los climas más húmedos de la región pampeana el escurrimiento llega a alcanzar valores de un 25 % de la precipitación normal: en los suelos livianos del oeste y del sud de la región, ese volumen es menor del 10 %. La pérdida de suelo, por el carácter plano de la región pampeana y con el uso de pastizales para la ganadería, registra los arrastres mínimos de suelo, de menos de $1 \text{ tn ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, mientras que los cultivos estivales en regiones planas pueden llegar a ocasionar valores mayores, cuando el volumen del escurrimiento es alto, y superar las $10 \text{ tn ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, en donde las pendientes son pronunciadas como en Tandilia y Ventania.

Los valores correspondientes al noroeste argentino resultaron lógicos y coherentes con los hallados en la región pampeana. Los volúmenes mayores y, por lo tanto, más intensos registrados en su porción más húmeda, corresponden a la vez con suelos texturales y relieves o pendientes pronunciadas y produjeron los mayores valores totales y relativos de escurrimiento (Tucumán, Salta, Jujuy y Orán). En cambio, en las áreas más áridas de la región, con suelos aluviales arenosos y de menores pendientes, el escurrimiento resultó mínimo y por lo tanto la infiltración mayor (Catamarca, La Rioja, Chepes)(*).

Las dos experiencias sirvieron además de verificación de algunos modelos de estimación del balance de agua en el suelo, que permiten obtener valores aproximados de escurrimiento. Se comprobó así la magnitud del error que conlleva el período base de tiempo utilizado en esos modelos y que aumenta con la mayor duración del mismo que se utilice. Esta verificación

(*) Los valores de arrastre de suelo, o de erosión pluvial, fueron mayores en los climas húmedos y con relieve pronunciado, que en la región Pampeana. Los menores correspondieron a las praderas o pastizales sin laboreo agrícola, y los mayores a cultivos anuales de escarda como la papa y el tabaco.

se obtuvo al aplicar el modelo de Thornthwaite-Mather (1955) con valores diarios, mensuales consecutivos y normales. Sin embargo, el modelo de Budyko (1963), aplicado por Iudina y Koszvel (1974) a Sudamérica, aún realizado sobre valores normales, mostró una coincidencia notable. En los Cuadros N° 1 y 3 se pueden constatar los valores obtenidos con ambos modelos y los que resultan de las observaciones de intensidad de la precipitación. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que estos últimos se obtuvieron mediante curvas de infiltración adaptadas que deberán ajustarse cuando se obtengan de las curvas experimentales correspondientes.

4) *Infiltración de las precipitaciones.*

Un primer proyecto de estudio sistemático de la infiltración en suelos argentinos se ha desarrollado en el CIBIOM, dada la importancia de conocer valores reales de este importante componente (R_f), de la fórmula (2). En este proyecto se ha tratado de evaluar este elemento en los suelos de la región pampeana, ya conocidos en otros parámetros edafohidrológicos descritos en VI, 1ª.

La metodología utilizada fue la que correspondía al objetivo perseguido y al equipo material y humano disponibles. Este proyecto se inició después de probar los métodos más simples, como los infiltrométricos de uno y doble cilindro, al considerar que su objetivo debía alcanzar el conocimiento de este elemento en escala regional o meso-escala. Otros métodos, como los basados en observaciones con lisímetros fijos de infiltración, o con parcelas de escurremiento y arrastre de suelos, por una parte, y de simuladores de lluvia, por otra, son mucho más costosos, requieren más personal y resultan aplicables a estudios de menor escala.

No obstante las limitaciones que los trabajos de distintos autores han atribuido al uso de infiltrometros, los resultados obtenidos hasta aquí han permitido establecer, en una primera aproximación, el decremento temporal de la infiltración del agua en el suelo en relación con su grado a saturación y la infiltración básica de los mismos cuando están saturados.

El trabajo actualmente en desarrollo se ha circunscripto a los mismos suelos estudiados, que se mencionaron en V, 1; de la región pampeana y se proyecta extender este estudio a los de la región NW argentina en una segunda y próxima etapa. La Fig. N° 7 muestra las curvas halladas de un suelo de infiltración lenta, como Dolores en la Cuenca del Salado y otro de infiltración rápida como el de Blaquier, en Buenos Aires. Se puede notar en ellos la diferencia relativa de la intensidad de infiltración básica luego que el suelo está saturado.

Como es fácil deducir, si bien esta línea de trabajo tiene principalmente al suelo como espacio biosférico de estudio, resulta por otra parte fundamental de la descrita en V, 3 como efectividad de las precipitaciones.

5) *Variación del almacenaje de agua en el suelo.*

El conocimiento de la variación del almacenaje de agua en el suelo Δw , de la fórmula (2), es de capital importancia en los procesos biológicos y físicos de la biósfera. Sin embargo, es a la vez un elemento del balance que sólo en muy pocos lugares de la Tierra se lo ha observado regular y sistemáticamente. Lo más frecuente de hallar son observaciones experimentales,

de valor local, realizadas en cortos períodos de tiempo, con diferentes tipos de instrumentos y en distintas profundidades. Probablemente la dificultad operativa de realizarlas y su valor esencialmente local, haya sido la causa de la escasez que existe de este tipo de información. No obstante, el desfase cada vez mayor entre la necesidad y disponibilidad de este conocimiento motivó en las últimas décadas el desarrollo notable de modelos matemáticos empíricos y semiempíricos, para estimar las variaciones de almacenaje de agua del suelo mediante la utilización de otros elementos meteorológicos más abundantes y fáciles de obtener.

Se puede afirmar que a pesar de la importancia de evaluar el elemento en cuestión y la abundante bibliografía producida al respecto, son mucho más numerosos los trabajos en los que se describen o usan los modelos propuestos por distintos autores, que aquellos en los cuales se ha tratado de verificar su autenticidad experimentalmente. La falta de ajustes de esta naturaleza ha impedido el desarrollo y aplicación práctica de este conocimiento. No obstante, en el país se han adelantado algunas contribuciones de esta naturaleza que deberán ser analizadas posteriormente (Pascale y Damario, 1977 y 1983, y Vargas, 1982).

Los materiales acumulados de observaciones sistemáticas de humedad del suelo realizadas desde antes de constituirse el CIBIOM en climas subhúmedos y semiáridos de la región pampeana, referidos en III, se utilizaron para verificar algunos de los modelos más difundidos y, de este modo, permitirán conocer el grado de seguridad de los resultados que se obtengan con su aplicación. En un proyecto de esta línea de trabajo (Forte Lay y Burgos, 1978) se utilizaron 475 muestras triplicadas semanalmente, obtenidas entre 1965 y 1975, en la Estanzuela (R. O. del Uruguay), clima subhúmedo-húmedo; 719, entre 1967 y 1975, de Marcos Juárez, Córdoba, Argentina, clima subhúmedo-seco(*); y 166, entre 1970 y 1975, de Anguil, La Pampa, Argentina, clima entre subhúmedo-seco y semiárido.

Los modelos que se han propuesto para estimar el almacenaje de agua del suelo se pueden reunir en dos grandes grupos. El primero de aquéllos, que en el balance consideran el agua total, desde su capacidad de campo hasta su desecamiento absoluto; el segundo agrupa los modelos que consideran sólo el agua útil, es decir, la capacidad de almacenaje entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. No obstante, existen algunos pocos métodos que, por considerar el desecamiento en un intervalo de límites diferentes a los mencionados, podrían formar un grupo intermedio. Los modelos que consideran sólo el intervalo de agua útil se desarrollaron y aplicaron generalmente, en regiones con climas húmedos, subhúmedos-húmedos o en áreas regadas con climas áridos. De ambos grupos de modelos se verificaron en el proyecto del CIBIOM los siguientes:

a) Primer Grupo:

i) Thornthwaite-Mather (1955); (TT).

En este modelo el almacenaje de agua estimado, en un momento dado (W), se puede representar en forma simplificada con la expresión

(*) El material de Marcos Juárez fue provisto por el Ing. Agr. C. A. Puricelli del INTA, a quien se agradeció la cesión de los datos.

$$W = f (W_a, cc, E_{tp}, P) \quad (3)$$

donde:

W_a , es el almacenaje o contenido de agua antecedente del suelo, en el espesor considerado (1 mm).

cc , es el contenido de agua a la capacidad de campo en el espesor de suelo considerado (1 mm).

E_{tp} , es la evapotranspiración potencial diaria según Thornthwaite (1948), que es una función de la temperatura media diaria y de la duración del día.

P , es la precipitación diaria.

- ii) Thornthwaite-Mather-Penmann, en el cual para el balance de agua anterior se utilizó la exapotranspiración potencial de Penmann (1948); (TP).

La forma simplificada de este modelo es la misma que la (TT), salvo que aquí, E_{tp} , es la evapotranspiración potencial de Penmann (1948), que, a su vez, es una fracción de la evapotranspiración estimada del tanque americano E_0 y el resultado de una función del balance de energía, déficit de saturación del aire y velocidad del viento.

- iii) Slatyer (1968) con el uso de la evapotranspiración potencial, según Penmann (1948); (SP).

La expresión simplificada de este modelo es la siguiente:

$$W = "A" + "B" + c = f (E_0, \Sigma E_0, W_u, W_{ut}, W_{\beta}, P) \quad (4)$$

donde los términos no definidos anteriormente son:

"A" = W_u , es el almacenaje "A" equivalente al agua útil (W_u) entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

"B" = W_{β} , es el almacenaje de supervivencia por debajo del punto de marchitez, que la vegetación resistente a la sequía puede utilizar. Es una cantidad propia de cada región y tipo de vegetación.

c , es el almacenaje remanente después que "B" se ha agotado o fracción no utilizable por la vegetación.

E_0 , evaporación diaria del tanque tipo A (Penmann, 1948).

ΣE_0 , suma de la evaporación diaria acumulada desde el último día en que el suelo alcanzó la capacidad de campo.

W_{ut} , almacenaje "A" máximo, o el agua útil máxima que el suelo puede almacenar.

b) Segundo Grupo:

- i) Modelo de Eagleman (1971) con el uso de la evapotranspiración potencial de Penmann (198); (EP).

Es un modelo empírico derivado de resultados experimentales de varios autores norteamericanos, cuya expresión más simple se puede escribir así:

$$W = f (Wu, Wut, Etp, P) \quad (5)$$

cuyos términos se definieron anteriormente.

- ii) Modelo de Baier y Robertson (1966), con la evapotranspiración potencial de Penmann (1948); (BP).

En este modelo el almacenaje, en el espesor considerado del suelo, resulta de la integración del particular en cada subcapa del mismo, dividido según ciertos porcentajes de agua útil preestablecidos, para lo cual son necesarios estimadores de suelo, cubierta vegetal y su período vegetativo. El modelo puede simplificarse así:

$$W = f (Wua(j), Wut(j), kj, Etp, P) \quad (6)$$

donde los términos aún no explicitados significan,

$Wua(j)$, almacenaje de agua útil antecedente de cada subcapa del suelo.
 $Wut(j)$, almacenaje de agua útil total de cada subcapa de suelo.

- iii) Modelo de Mc Alpine (1970), con la evapotranspiración potencial de Penmann (1948); (MP).

El modelo original utilizó dos funciones escalonadas simples para dos localidades, una en clima árido y otra en semiárido, donde representa la relación Evapotranspiración Real / Evapotranspiración Potencial según que el suelo esté por encima o por debajo del 50 % de su capacidad de campo y que fueron convenientemente adaptadas para las localidades pampeanas estudiadas y su expresión simplificada es:

$$W = f (Wu, Wut, Etp, P) \quad (7)$$

Los resultados de las correlaciones y regresiones halladas entre los valores diarios de almacenaje de agua en el suelo, observados y estimados por los distintos modelos aplicados, se pueden observar en las Figs. 8, 9 y 10. Las conclusiones generales de este análisis fueron las siguientes:

1. — Todos los modelos evaluados mostraron una correlación muy significativa entre valores observados y estimados.
2. — La gran dispersión de puntos observada en todos los casos analizados derivó más de la variación del suelo utilizado al obtener las muestras para la observación directa que de los modelos probados, según investigaciones aún en marcha.
3. — Cuando el almacenaje se estimó sobre láminas de capacidad de campo pequeñas, como las que corresponden a suelos superficiales, se notó cierta tendencia a subestimar la humedad del suelo. Esto tendió a desaparecer y aún la sobreestimación del almacenaje, cuando el balance se efectuó con láminas de mayor espesor. De ello se puede deducir que el intercambio de agua entre el suelo y la atmósfera adyacente se manifiesta con suficiente autenticidad en estos suelos con cobertura de pastizal bajo hasta por lo menos 1 m de profundidad.

4. — El modelo de Thornthwaite-Mather (TT) arrojó menores valores de intercepción sobre la ordenada de origen "a" (el valor ideal es cero), y el valor del coeficiente de regresión "b" más próximo a 1 (valor ideal 1), cuando se utiliza la Eap de Thornthwaite que cuando se usa la de Penmann. Sin embargo, la dispersión "Sky" (error standard de la estimación) es ligeramente menor ($\approx 1\%$ de la lámina de capacidad de campo con que se realiza el balance) cuando se utiliza la Etp de Penmann. Estos resultados permiten afirmar que dentro de la región pampeana, cuando no se disponen de observaciones directas de humedad de suelo como para ajustar una buena regresión, es probable cometer un menor error si al aplicar el balance de Thornthwaite-Mather se utiliza simplemente la Etp de Thornthwaite.

5. — El modelo de Slatyer (SP), según el cual el suelo se deseca hasta un nivel que depende del tipo de suelo, clima y vegetación locales, mostró igualmente un buen ajuste en sus resultados. Sin embargo, su aplicación está supe-
ditada al conocimiento previo, teórico o empírico que se pueda tener del mismo. Este predictor se puede conocer luego de muchos años de observaciones sistemáticas o promedio de determinaciones de humedad del suelo luego de sequías excepcionales.

6. — Los modelos que operan sobre el contenido de agua útil no resultan aconsejables porque en gran parte de la región, y con mayor frecuencia en su porción occidental, el almacenaje de agua desciende a niveles inferiores al punto de marchitez permanente. Esto conduce a que especialmente los períodos de sequía no puedan ser caracterizados en forma definida. Tales modelos son aconsejables en climas muy húmedos o en la aplicación del riego.

6) *Extensión superficial de los elementos estimados del balance de agua.*

Al tener en cuenta los elementos del balance de agua, que por falta de observaciones han sido estudiados indirectamente, surgió el problema de extender los valores locales, con el propósito de definir su régimen en meso-escala. Previamente a la consideración de la teoría estadística, que define la representatividad de área de las observaciones hidrológicas locales, un primer paso en este problema fue investigar metodologías que permitieran aumentar la densidad de la red con información sobre los elementos del balance de agua del suelo.

De los dos elementos forzantes del balance de agua, como son la precipitación y la energía necesaria para la evaporación, el primero es un elemento discontinuo y de gran variación en el tiempo y el espacio; el segundo, del cual la temperatura del aire puede ser una medida indirecta, es continuo y mucho menos variable. Afortunadamente en sentido inverso, por su naturaleza más objetiva, la precipitación es más fácil de medir y las redes con su observación son relativamente densas en el espacio y largas en el tiempo. En cambio, la red con observaciones de las cuales se puede estimar el balance de energía, o aún simplemente las de temperatura, son mucho menos densas y permanentes. Así en la provincia de Buenos Aires, mientras se pudo reunir una colección de 220 estaciones con una serie, más o menos homogénea de 60 años con observaciones pluviométricas diarias, sólo se alcanzó la cifra de 12 estaciones con las correspondientes para estimar valores diarios del balance de energía, o con observaciones relativas de su medida, como es la temperatura del aire.

De las características señaladas anteriormente surgió como hipótesis que los episodios extremos del balance de agua, tales como las sequías y excesos

de agua, resultan en una mayor medida del volumen y distribución de las precipitaciones diarias, que de los respectivos valores de la evaporación. De ello se infirió que, cuando se dispone de series de muchos años con observaciones de precipitación, se puede estimar el régimen de estos episodios utilizando sólo el valor normal de la evapotranspiración potencial diaria, tal como puede obtenerse por la simple interpolación de la red poco densa de estaciones climatológicas. La región pampeana, por sus características de relieve llano y superficie relativamente uniforme, favorecía este tipo de hipótesis.

Para comprobar estos supuestos, se utilizaron las observaciones pluviométricas de dos estaciones de climas extremos en la región pampeana: Buenos Aires (Ortúzar), con 66 años de registros (1906-1972), clima subhúmedo-húmedo; y Trenque Lauquen, con 38 años de registros (1910-1948), en climas subhúmedo-seco. Se calcularon los balances de agua de ambas estaciones con el método de Thornthwaite-Mather (1955), utilizando el valor diario de la Etp, calculado día por día (Método original) y el valor diario normal deducido del valor mensual, dividido por 31, 30 y 28, según la duración de cada mes (Método simplificado). Con los valores diarios resultantes de cada método, se calcularon las duraciones e intensidades de cada sequía ocurrida en el período analizado, tomando como base la sequía absoluta ($W \leq 0,5 \text{ cc}$) y la sequía condicional ($W \leq 75 \text{ cc}$). Estos niveles se consideran, para esta región, muy próximos al punto de marchitez permanente, en el primer caso; y al nivel en el cual una pronunciada demanda atmosférica de agua puede ocasionar efectos de sequía en muchas especies vegetales, en el segundo caso.

Los resultados obtenidos, como pueden apreciarse en las Figs. N° 11 y 12, que muestran las curvas empíricas de la probabilidad acumulada de ambas características de estos fenómenos, fueron ampliamente satisfactorios ya que, prácticamente, no existen diferencias apreciables entre ambas curvas. Ello permitirá pues aprovechar toda la red pluviométrica existente para estimar los demás elementos del balance de agua y tener el mejor conocimiento posible de sus episodios extremos en esta importante región del país (Fuentes, 1976; Burgos y Forte Lay, 1978). En la actualidad se está preparando la información de unas 400 estaciones pluviométricas de la región pampeana para definir el régimen de la sequía edáfica mediante la aplicación de la experiencia adquirida por el programa.

7) Investigaciones sobre otros aspectos metodológicos en el estudio del balance de agua.

El desarrollo del programa y el volumen y naturaleza de la información disponible, así como el objetivo perseguido, que es producir resultados que puedan ser de aplicación práctica en escala subregional y local, originó la necesidad de investigar algunos aspectos metodológicos complementarios del objetivo principal.

Entre ellos corresponde mencionar trabajos desarrollados para generar observaciones faltantes y con ellas completar series interrumpidas o de menor duración que la serie básica de 60 años del mayor número de localidades. Con este propósito se aplicó una matriz de precipitación para un período de días básico dado y de un conjunto de estaciones con la serie completa de datos, vecinas de la deficiente, de la cual se obtuvieron los autovectores y autovalores que permitieron estimar los datos faltantes. El trabajo realizado (Troha, 1980), mostró que no se pueden generar valores seguros con series

pluviométricas compuestas por valores de períodos inferiores a un mes y que a medida que este período aumenta el ajuste entre valores reales y estimados es mayor. Se ratificó lo observado por otros autores, que la estimación es más segura en los climas más húmedos y cuando se utilizan series básicas con mayor número de años.

Con el mismo objetivo del trabajo comentado anteriormente, se ensayó la aplicación del método denominado "Lluvia teórica". Este método se basa en el uso de un parámetro homónimo calculado mediante los valores normales de por lo menos tres estaciones vecinas a la deficiente, de un índice de homogeneidad o relación entre la lluvia teórica y la real de estas estaciones, ponderados ambos por la distancia entre las estaciones y la estación problema. El método reveló buenos resultados para períodos mensuales, pero para períodos menores al mes la distancia entre las estaciones disponible constituyó un factor limitante.

Otro aspecto que se debió investigar, por no existir experiencia suficiente, fue el efecto de la duración del período básico de tiempo, utilizado en el cálculo del balance de agua, sobre los parámetros estadísticos que se pueden obtener para definir su régimen. Algunos autores, por economía de tiempo, de trabajo de computación o simplemente por no disponer de información diaria, han simplificado el cálculo del balance realizándolo con valores acumulados de precipitación y de evapotranspiración potencial de 5, 7 días o 30 días (Mc Culloch, 1965; Slatyer, 1966; Pascale y Damario, 1977 y 1983; y Buriol et al., 1977).

Aprovechando las series de observaciones de humedad del suelo reunidas por el CIBIOM, se verificó estadísticamente la diferencia que puede ocurrir al usar períodos básicos de tiempo de 1, 5, 10, 15 y 30 días para estimar el almacenaje de agua en el suelo y cuál es el efecto de este error sobre los valores de los otros elementos como la deficiencia y el exceso de agua (Villagra, 1982 y Forte Lay y Villagra, 1983).

Los resultados obtenidos confirmaron la mayor autenticidad del método del balance diario para estimar la humedad del suelo y que al aumentar el período básico de tiempo, en el que se acumulan las lluvias ocurridas en algunos días del mismo, frente a las demandas de agua (Etp) de todos los días del período, se producen errores cada vez mayores y del mismo sentido. Se ha comprobado en los métodos sumarios, una subestimación de la humedad real del suelo, especialmente en los valores bajos de la misma a medida que aumenta la duración del período básico, lo que implica una sobreestimación de la sequía. Por el contrario, con niveles altos de almacenaje, se constató una sobreestimación de la humedad en relación con los valores observados a medida que aumenta el período básico de tiempo, lo cual implica correspondientemente estimar períodos húmedos y excesos de agua mayores que los reales. Estas comprobaciones coinciden con referencias incluidas en algunos trabajos previos en los cuales se hicieron análisis críticos del método del balance (Mather, 1961; Burgos, 1965) o verificaciones complementarias de algunos de sus elementos (Troha, 1978; Spescha, 1983).

Bibliografía

- Baier, W. and G. W. Robertson. 1966. "A new versatile soil moisture budget". *Can. J. Plant. Sci.*, 46:299-315.
- Budyko, M. I. 1963. "Atlas tieplobogo balantsa zemnogo shara" (Atlas del balance calórico del globo terrestre). 69 mapas y texto. Moscú, 1963.
- Burgos, J. J. y A. L. Vidal. 1951. "Los climas de la República Argentina, según la nueva clasificación de Thornthwaite". Serie agroclimática. Publ. N° 3, 32 págs. Servicio Meteorológico Nacional. Buenos Aires.
- Burgos, J. J. y M. Tschapek. 1958. "Water storage in semiarid soils". Symposium on arid zone climatology, UNESCO, págs. 72-95. Canberra, Australia.
- Burgos, J. J. 1959. "El régimen hídrico de Sudamérica". Univ. Nac. de Cuyo, Symposium sobre bases de programación del desarrollo hidráulico integral, en relación a las regiones áridas y semiáridas argentinas. Dic. 1957, Mendoza, 1959, págs. 73-78 y 4 mapas.
- Burgos, J. J. 1963. "El clima de las regiones áridas en la República Argentina". *Rev. de Investigaciones Agronómicas (RIA)*, 19 págs., T. XVII, (4):385-405, Buenos Aires.
- Burgos, J. J. 1965. "Aptitud agroclimática y planificación de siembra de papa simiente (*Solanum tuberosa*) en la región andina venezolana". *Rev. Agronomía Tropical*, Vol. XV, N° 1 - 4, Abril - Dic. 1965, págs. 193-212, Tablas, Maracay, Venezuela.
- Burgos, J. J. y W. Corsi. 1967. "Constantes hidrológicas de dos suelos de praderas en Colonia". *Boletín Técnico* N° 6, 24 págs. ilustr. Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger", La Estanzuela, República Oriental del Uruguay.
- Burgos, J. J. y W. Corsi. 1970. "Verificación de métodos de simulación de la marcha del almacenaje de agua en un clima pampeano subhúmedo". 17 págs. Reunión de ALAF, Set. 197. Bogotá, Colombia (en prensa).
- Burgos, J. J. 1972. "La sequía como fenómeno agroclimático". *Actas del Seminario Regional sobre Hidrología de Sequías* (Lima, 21-27 de julio de 1970). Montevideo, 1972, 165-174.
- Burgos, J. J. y J. A. Forte Lay. 1978. "Capacidad de almacenaje de agua en los suelos de la región pampeana". Centro de Investigaciones Biometeorológicas, CONICET y Facultad de Agronomía de la U.B.A., Argentina. Taller Argentino-Estadounidense sobre "Sequías", Mar del Plata, Argentina, 4 al 8 de diciembre de 1978 (en prensa).
- Burgos, J. J.; Troha, A. y J. A. Forte Lay. 1983. "Anomalía de episodios extremos en el balance de agua registrados en la provincia de Buenos Aires". Centro de Investigaciones Biometeorológicas, CONICET, Buenos Aires, República Argentina, *Geoacta* (en prensa).
- Buriol, G. A.; Estefanel, V.; Saccol, A. V.; Fontana, G.; Ferreira, M.; Schneider, F.; Aita, L. y A. Giarretta. 1977. "Balanço hídrico seriado do Rio Grande Sul". Universidade Federal de Santa María, R. S. Centro de Ciências Rurais, Departamento de Fitotecnia.
- Canziani, Of.; Forte Lay, J. A.; Quintela, R. M. y A. Troha. 1983. "Estudio de grandes tormentas en la «Pampa deprimida» en la provincia de Buenos Aires, Argentina, y su incidencia en el balance hidrológico". *Coloquio Internacional de Grandes Llanuras (CONAPHI)*, Olavarría, abril de 1983, 93 págs. a máquina (38 mapas, 13 figuras y 15 tablas) (en prensa).
- Eagleman, J. R. 1971. "An experimentally derived model for actual evapotranspiration". *Agricultural Meteorology*, 8(4/5):385-394.
- Forte Lay, J. A. y J. J. Burgos. 1978. "Verificación de métodos de estimación de la variación del almacenaje de agua en suelos pampeanos". Centro de Investigaciones Biometeorológicas, CONICET y Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos

- Aires, Argentina. Taller Argentino-Estadounidense sobre "Sequías", Mar del Plata, Argentina, 4 al 8 de diciembre de 1978 (en prensa).
- Forte Lay, J. J. y M. M. Villagra. 1983. "El Balance hidrológico de Thornthwaite y Mather (1955) aplicado bajo diferentes unidades de tiempo. Verificación con valores observados y comparación de resultados". Centro de Investigaciones Biometeorológicas, CONICET. XI Congreso Nacional del Agua, Agroecología, Córdoba, Argentina, Tomo I: Aguas superficiales, 89-119. Mayo, 1983.
- Fuentes, J. B. 1976. "Comparación onjetiva y empírica de un método simplificado para el cálculo de la variación diaria del almacenaje de agua en el suelo por el método de Thornthwaite-Mather". Trabajo final realizado en la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires.
- Kouzell, A. and V. Iudina. 1974. "Atlas mundial del balance de agua". Srednii godovoi stok (mm). Ecurrimiento medio anual, mm. Redactor: A. A. Sokolov.
- Mather, J. R. 1961. "The climatic water balance". Publications in Climatology. XIV: 3; 251, 264. Lab. of Climatology. C. W. Thornthwaite Associates. Centerton, N. J.
- McAlpine, J. R. 1970. "Estigmating pasture growth periods and droughts from simple water balance models". Proc. of the XI Intern. Grassland Congress. Univ. of Queensland Press, págs. 484-488.
- McCulloch, J. S. G. 1965. "Tables for rapid computation of Penmann estimae of evaporation". East Afr. Agric. For Jour. 30:286-295.
- Pascale, A. J. E. Damario. 1977. "El balance hidrológico seliao y su utilización en estudios agroclimáticos". Revista de la Facultad de Agronomía (3ª época). LIII (1-2). La Plata, Argentina.
- Pascale, A. J. y E. A. Damario. 1983. "Variación del agua edáfica disponible para los cultivos en la región oriental de la Argentina". Revista Facultad de Agronomía, 4(2): 141-181 (en prensa).
- Penmann, H. L. 1978. "Natural evaporation from open water, bare soil and grass". Proc. Roy. Soc. London (A, 193:120-145.
- Slatyer, R. O. 1966. "The use of soil water balance". Relationships in Agrometeorology. UNESCO. Symposium on Methods in Agroclimatology. Reading paper C, 8, 18 p. tables annd figs.
- Spescha, L. B. 1983. "Efectividad de las precipitacioes en el Noroeste Argentino sobre la base de su intensidad". Centro de Investigaciones Biometeorológicas, CONICET (en prensa).
- Thornthwaite, C. W. 1948. "An approach toward a rational classification of climate". Geogr. Rev., 38:85-94.
- Thornthwaite, C. W. y J. R. Mather, 1955. "The water balance. Publications in Climatology". VIII (1):104 págs. Drexel Inst. of Techn., New Jersey.
- Troha, A. 1978. "Efectividad de las precipitaciones en la región pampeana". Centro de Investigaciones Biometeorológicas, CONICET y Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, Argentina. Taller Argentino-Estadounidense sobre "Sequías". Mar del Plata, Argentina, 4 al 8 de diciembre de 1978 (en prensa).
- Troha, A. 1978. "Régimen de las precipitaciones en la Provincia de Buenos Aires". Centro de Investigaciones Biometeorológicas, CONICET y Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, Argentina. Taller Argentino-Estadounidense sobre "Sequías". Mar del Plata, Argentina, 4 al 8 de diciembre de 1978 (en prensa).
- Troha, A. 1980. "Generación de datos pluviométricos como contribución al conocimiento ecológico del Noroeste de la provincia de Buenos Aires". Centro de Investigaciones Biometeorológicas, CONICET; ECOSUR, Argentina, Vol. 7, Nº 14, págs. 161-170, setiembre de 1980.
- 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.
- Vargas, W. M. 1982. "Excesos y deficiencias de humedad en la región húmeda y semi-árida argentina". Atlas, Tomo 2. Centro de Investigaciones Biometeorológicas, CONICET, Buenos Aires, 135 págs.
- Villagra, M. M. 1982. "Importancia del período base de tiempo para el cálculo de índices agroclimáticos complejos: caso del balance de agua en el suelo". Trabajo final realizado en la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas de la Facultad de Agronomía de la U.B.A.

**PALABRAS DE CLAUSURA DE LAS JORNADAS ACADÉMICAS
POR EL DECANO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA,
DR. MIGUEL ANGEL TISCORNIA**

Damas y señores: En nombre de la Universidad Nacional de Río Cuarto y particularmente de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, quiero agradecer al Sr. Presidente de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, quien con su esfuerzo tutelar, hizo posible la concreción de este encuentro tan pródigo en enseñanzas. También nuestro reconocimiento a los señores Académicos, quienes con su presencia y autorizada palabra, le han dado un significado muy especial a esta Jornada de elevado contenido científico. Asimismo, hemos contado con el valioso apoyo prestado por el Sr. Subsecretario de la Secretaría de Cultura de la Nación; en su persona agradecemos el auspicio brindado por la mencionada institución y, a la Municipalidad de Río Cuarto, en la del Sr. Intendente, quien en su carácter del anfitrión, ofreció su homenaje a este distinguido grupo de hombres de ciencias. Por su parte, con su adhesión, se identificó con esta Jornada, el Ministerio de Cultura y Educación de la Provincia.

La ponderable vocación didáctica a los señores Académicos que ocuparon esta tribuna, permitió la comunicación de sus conocimientos y experiencias a sus colegas y a todos aquellos que se han hecho presente, movidos por el afán de conocer el más allá de los móviles que crean y perfeccionan la producción agropecuaria y los factores inherentes a la misma.

La Universidad, como institución que promueve una enseñanza superior, debe así nutrirse de sabiduría de las fuentes más excelsas, para enriquecer su propio acervo. Considero que este tipo de convocatoria contribuye a dar una imagen superior de nuestro sector, que al decir de Ortega y Gasset: "El dato que mejor define la excelencia de un pueblo, es el perfil de los modelos que elige".

Al reiterar las gracias por la presencia en este estrado a los señores académicos, les deseamos una estada placentera en esta ciudad, que ha querido, a través de un calificado grupo de ciudadanos, acompañarnos en estas clases magistrales.

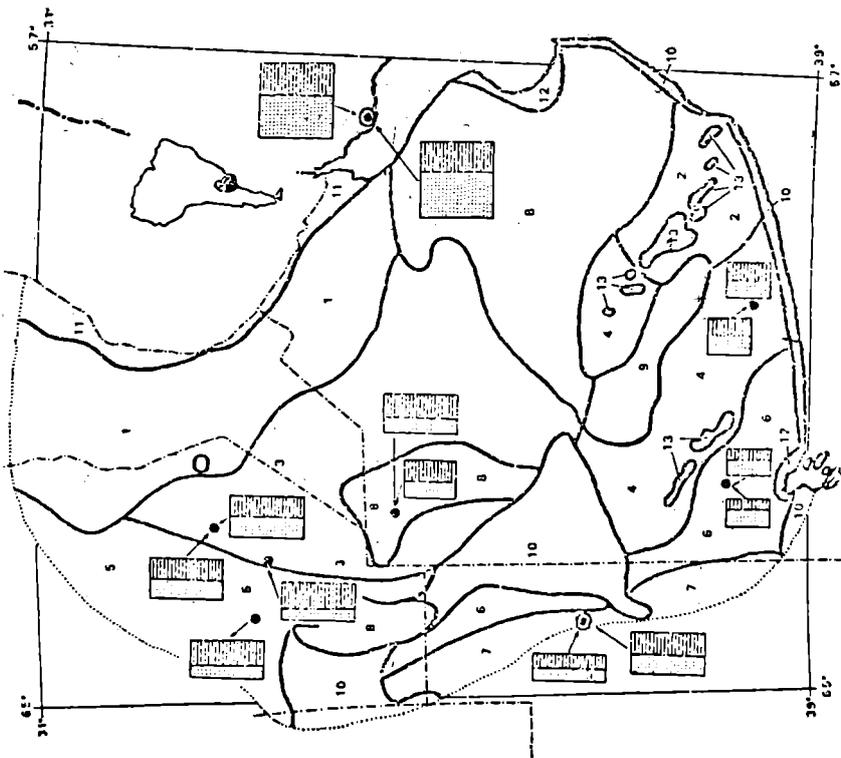
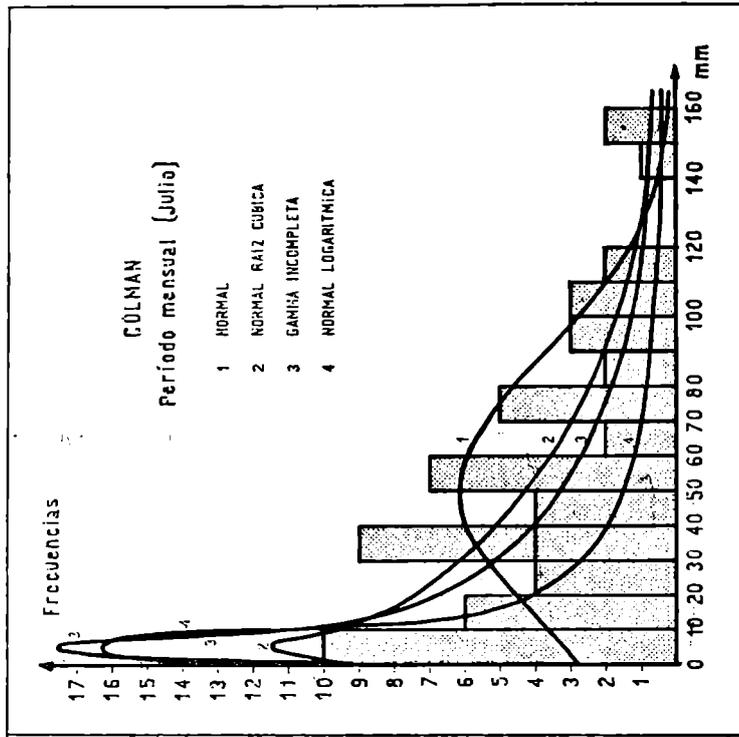


Fig. 1. CAPACIDAD DE AGUA DE LOS SUELOS PAMPEANOS. 1, Chernosoide con B textural sin tosa; 2, Chernosoide con B textural sobre tosa; 5, Castaño oscuro sin tosa; 6, Castaño oscuro sobre tosa; 7, Castaño claro sobre tosa; 8, Chernosoide y castaño de vega sin tosa; 9, Chernosoide y castaño de vega sobre tosa; 10, Arenoso. ● Lugar de donde se determinaron las constantes hídricas. ○ Puntos de verificación de modelos de estimación de almacenaje. Ancho del área punteada = capacidad a la marchitez permanente. Ancho del área rayada = agua útil. Altura del área punteada y rayada = profundidad del suelo.



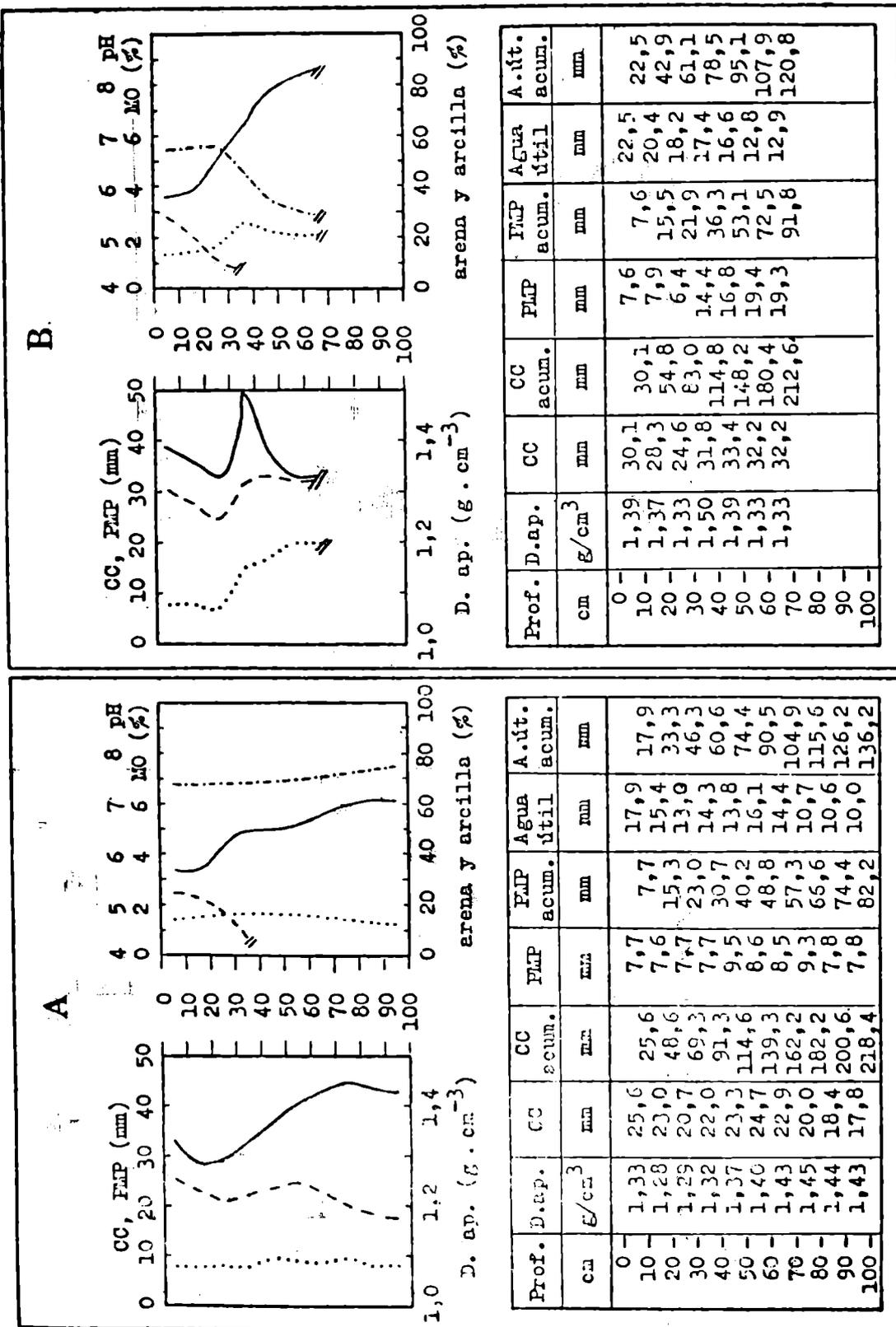
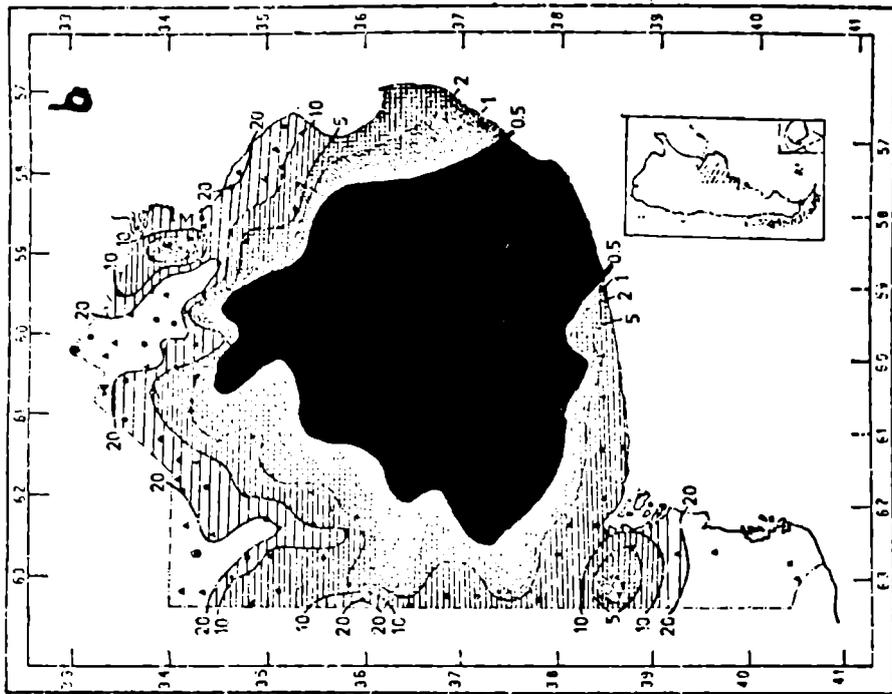
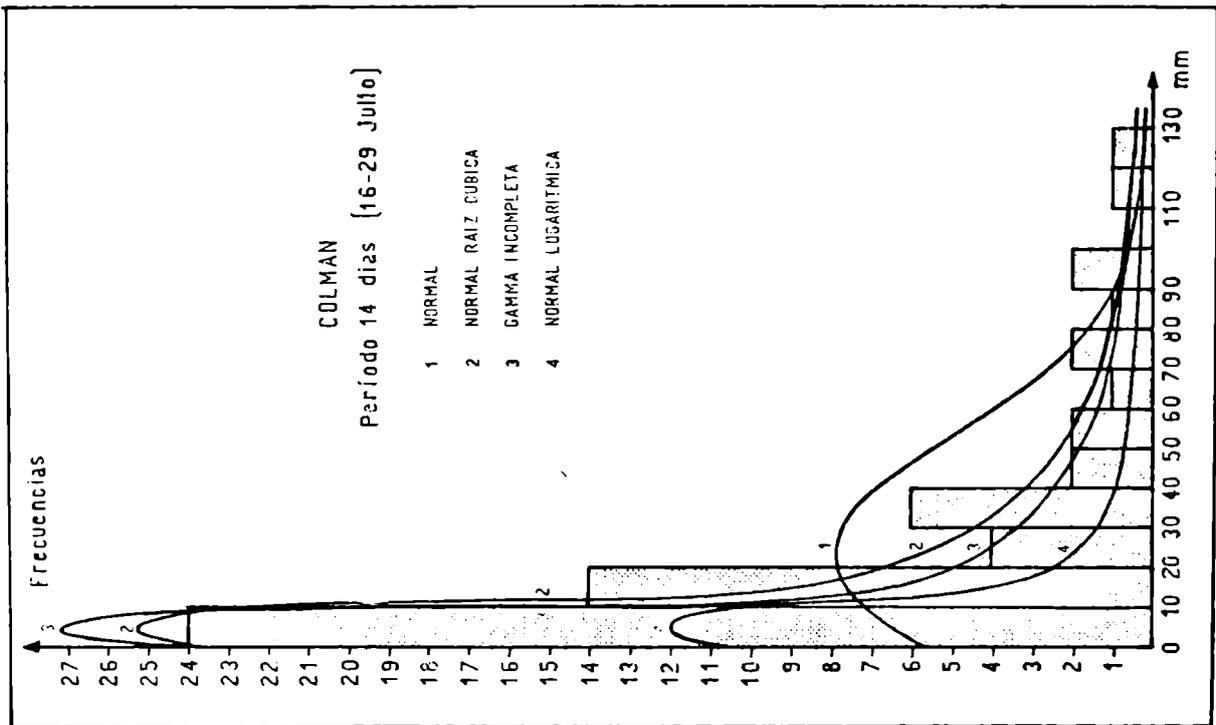
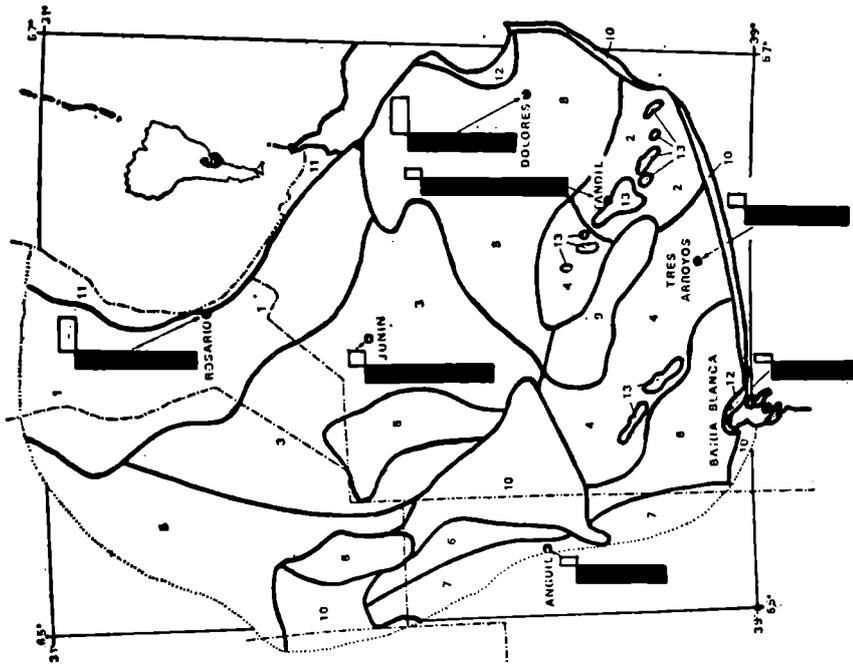
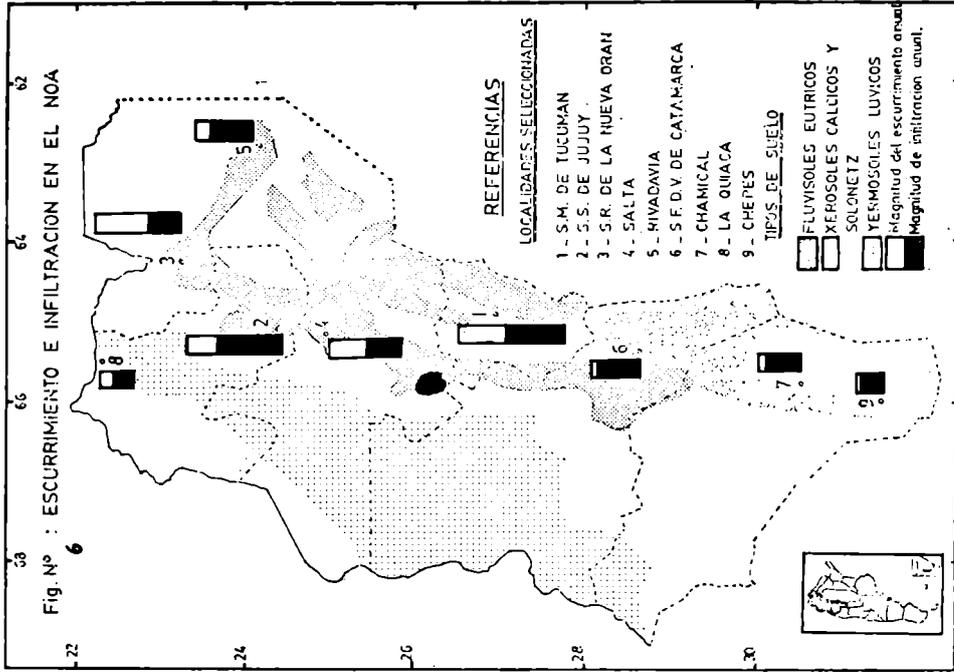


Fig. 2. SUELOS DE BLAQUIER (Pdo. Gral. Pinto, Prov. de Buenos Aires). UNIDAD Nº 8. Suelos CHERNOSOIDE y CASTAÑO DE VEGA SIN TOSCA. A, Suelo zonal, en relieve positivo, semejante al Chernosoide sin B textural sin tosca de la Unidad Nº 3; B, Suelo intrazonal, en relieve negativo con horizonte B planosólico compacto y poco permeable.





CUADRO N° 1 - Volúmenes de precipitación infiltrable y escurrible calculados con las observaciones del período estudiado (cuadro N° 1) con las curvas de las ecuaciones ajustadas y los correspondientes a los valores normales según estas estaciones, expresadas en valores absolutos y relativos y su comparación con los valores del escurrimiento, según diferentes métodos empíricos de estimación del balance de agua.

Estación	Intensidad mínima de infiltración mm / 30 min	Valores calculados con las observaciones del período.				Valores calculados con las curvas ajustadas.				Precipitación normal		Escorrimento según el balance hidrológico											
		precipitación anual infiltrable		precipitación anual escurrible		precipitación anual infiltrable		precipitación anual escurrible		infiltrable sobre % de columna 8	escurrible sobre % de columna 10	Thornthwaite diario		Thornthwaite mens. cons.		Thornthwaite mens. normal		Kovzeil mens. normal					
		total	%	total	%	total	%	total	%			total	%	total	%	total	%	total	%	total	%		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19				
ROSARIO	7,8	702,8	77,2	207,4	22,8	693,9	77,3	204,0	22,7	715,5	210,0	188,0	10,9	248,0	26,8	91,0	9,8	145,0	15,7				
DOLORES	5,3	642,9	75,2	212,2	24,8	631,6	74,1	220,8	25,9	640,2	223,8	167,1	19,6	251,1	29,1	168,0	19,4	110,0	12,7				
TRES ARBOYOS	8,5	605,0	80,9	75,2	11,1	579,0	88,5	75,0	11,5	613,7	79,8	68,8	9,6	69,3	9,9	1,0	0,2	75,0	10,8				
TARDIL	8,7	678,6	94,1	42,8	5,9	678,4	94,2	42,2	5,8	863,8	53,2	78,0	10,2	144,5	15,7	109,0	11,9	90,0	9,8				
JURIN	8,6	682,4	85,9	114,0	14,4	702,9	89,5	82,8	10,5	762,7	89,5	66,3	8,3	197,9	23,2	110,0	12,9	90,0	10,6				
ANGUIL	10,2	590,0	91,4	55,3	8,6	577,1	92,4	47,3	7,6	522,9	43,1	14,0	1,9	5,7	1,0	0,0	0,0	45,0	7,9				
BAHIA BLANCA	10,2	499,9	93,5	34,7	6,5	486,5	92,0	42,1	8,0	496,4	43,2	11,7	1,9	5,4	1,0	0,0	0,0	50,0	8,9				

CUADRO N° 2 - Estimabilidad hídrica de los suelos de las localidades estudiadas.

Estación	Estimabilidad potencial (mm-h ² ·d ⁻¹)	Factor suelo	Factor pendiente	Factor profundidad	Factor calidad		Factor escurrimiento	Factor evapotranspiración	Estimabilidad real (mm-h ² ·d ⁻¹)	
					problema	inversión			problema	evapotranspiración
ROSARIO	165	0,33	0,2	0,03	0,19	0,23	0,8	0,80	1,05	2,44
DOLORES	172	0,35	0,1	0,09	0,19	0,23	0,8	0,43	0,23	1,21
TRES ARBOYOS	125	0,31	0,2	0,09	0,19	0,23	0,8	2,56	1,17	1,55
TARDIL	120	0,25	1,8	0,03	0,19	0,23	0,8	1,10	6,66	11,40
JURIN	132	0,34	0,1	0,07	0,19	0,23	0,8	0,32	2,68	6,89
ANGUIL	119	0,16	0,1	0,63	0,19	0,23	0,8	0,27	0,64	0,82
BAHIA BLANCA	110	0,16	0,1	0,09	0,19	0,23	0,8	0,28	0,60	0,79

Cuadro N° 3 : precipitación infiltrable y escurrible en valores absolutos y relativos correspondientes a la precipitación registrada por el pluviógrafo y a la normal y su comparación con algunos métodos empíricos de estimación (Thorntwaite y Mather, Kovzell e Iudina), Spescha, 1983.

ESTACION	Inten. mínima de infiltr. en mm c/30'	Valores calculados con las observ. del período						Valores calculados con las curvas ajustadas						Precipitación normal						Escurrimiento según Balance Hidrológico					
		Precipitación anual			Precipitación anual			Infiltrable			Escurrible			Infiltr. Escur.			T H O R N T H W A I T.			Kovzell					
		Infiltrable		Escurrible	Infiltrable		Escurrible	Infiltrable		Escurrible	Infiltr. Escur.		mens. cons.		mens. nor.	mens. nor.		mens. nor.	Tot. %		Tot. %	Tot. %			
		Tot.	%	Tot.	%	Tot.	%	Tot.	%	Tot.	%	8	10	Tot.	%	Tot.	%	Tot.	%	Tot.	%	Tot.	%		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			10	11	12	13	14	15	16	17	18	19				
S.M. DE TUCKMAN	7.0	561.2	57.7	409.8	42.2	520.3	58.3	371.7	41.6			573.6	410.3	370	36.8	583	58.1	83	8.3	430	43.7				
S.S DE JUJUY	7.0	602.5	71.8	236.5	28.2	600	72.2	230.6	27.8			649.8	250.2	230	25.5	200	22.4	163	18.1	300	33.3				
S.R. DE LA N. ORAN	15.0	348.1	42.4	471.9	57.5	350	43.5	453.5	56.5			364.9	474.1	400	50.1	588	73.6	6	0.7	500	59.5				
SALTA	8.6	409.1	57.7	299.9	42.3	390	56.1	304.8	43.8			388.7	304.2	303	39.7	318	41.7	9	1.3	400	57.7				
RIVADAVIA	8.5	497	80.6	120	19.4	500	81.8	110.8	18.1			472.8	105.1	80	12.5	0	0	0	0	5	0.9				
CHAMICAL	22.0	372.4	95.5	17.6	4.5	368	96.8	12	3.1			397.8	13.1	30	0.8	0	0	0	0	5	1.2				
S.F. DEL V. DE CATAMARCA	19.0	335.1	94.1	20.9	5.9	338.8	97.1	10.0	2.8			366.1	10.9	2.0	0.6	0	0	0	0	5	1.3				
LA QUIACA	16.0	186.6	65.1	100.4	34.9	176	62.5	105.3	37.4			198.1	118.8	120	33.9	90	25.5	0	0	50	15.7				
CHEPES	22.0	199.8	94.2	12.2	5.8	185	96.9	5.8	3.0			288.7	9.2	4	2.7	0	0	0	0	5	1.6				

**Cuadro N° 4 : Erosionabilidad hídrica de los suelos de las estaciones estudiadas (tn/ha/año¹)
Spescha, 1983.**

E S T A C I O N	E R O S I O N A B I L I D A D R E A L A N U A L tn/ha/año										
	Pradera	Caña de azúcar	Cereal de invierno	Anís Comino	Maíz sorgo granífero	Algodón	Soja	Cultivos varios	papa	tabaco	
SAN MIGUEL DE TUCUMAN	4.9	6.4	10.4	11.4	13.7	12.5	14.9	15.9	17.1	18.6	
SAN SALVADOR DE JUJUY	6.1	8.1	12.7	14	16.7	15.4	18.7	8.1	21.4	23.4	
SAN RAMON DE LA NUEVA ORAN	5.8	7.8	12.4	13.7	16.3	17.1	18.3	19.6	20.9	22.9	
SALTA	4.9	6.6	10.5	13.7	13.8	15.1	15.5	16.6	17.7	19.4	
RIVADAVIA	3.1	4.3	6.7	7.4	8.8	9.2	9.9	11.7	12.5	13.7	
CHAMICAL	0.9	1.2	1.9	2.1	2.5	2.4	2.8	3.1	3.2	3.5	
SAN FERNANDO DEL VALLE DE CATAMARCA	2.3	3.2	5.1	5.5	6.6	6.7	7.4	7.9	8.5	9.3	
LA QUIACA	6.7	9.0	14.2	15.7	18.7	19.5	21.0	22.5	24.0	26.2	
CHEPES	0.5	0.6	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.9	

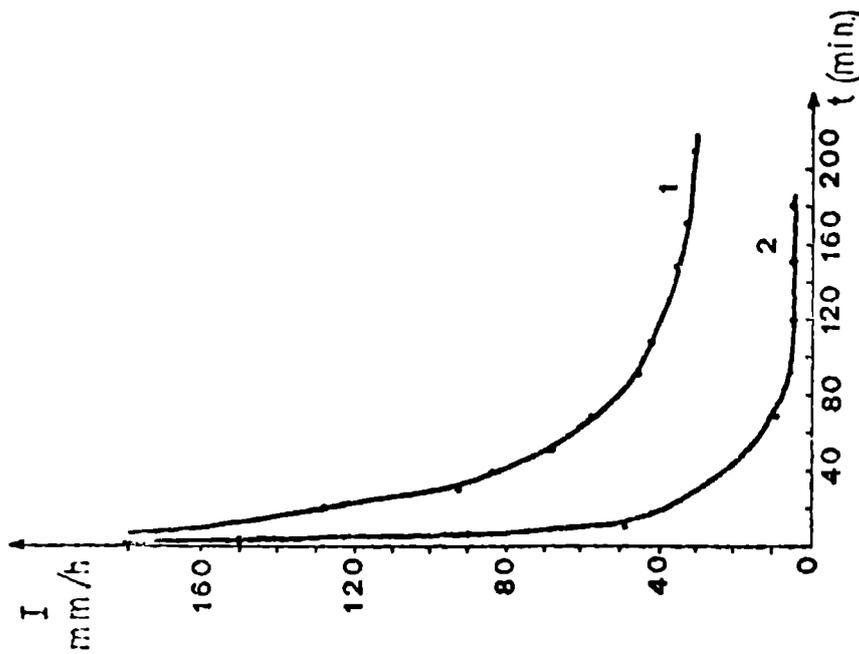
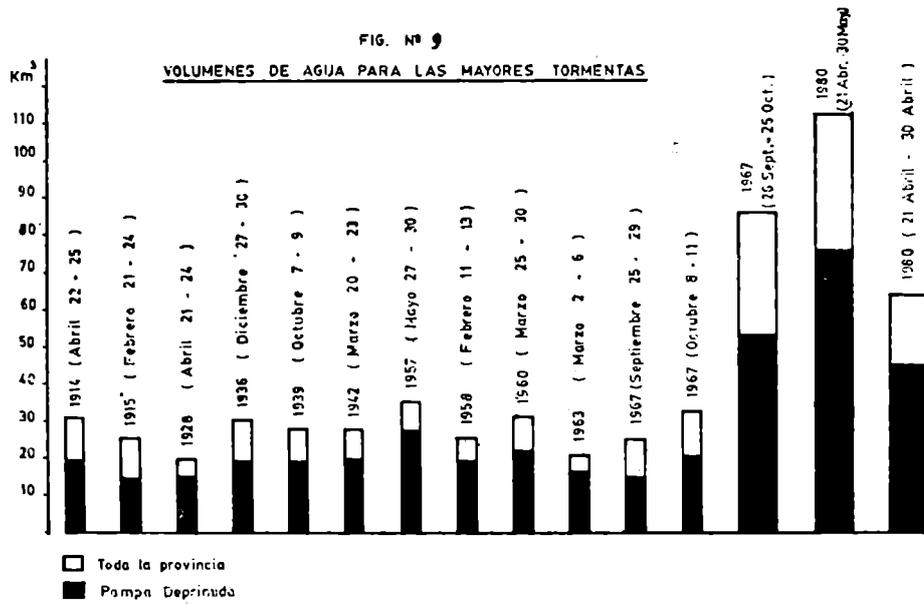


Fig. 7. Velocidad de infiltración.

1. Blaquier: tasa de infiltración básica = 29-30 mm/hs.
2. Dolores: tasa de infiltración básica = 4-5 mm/hs.

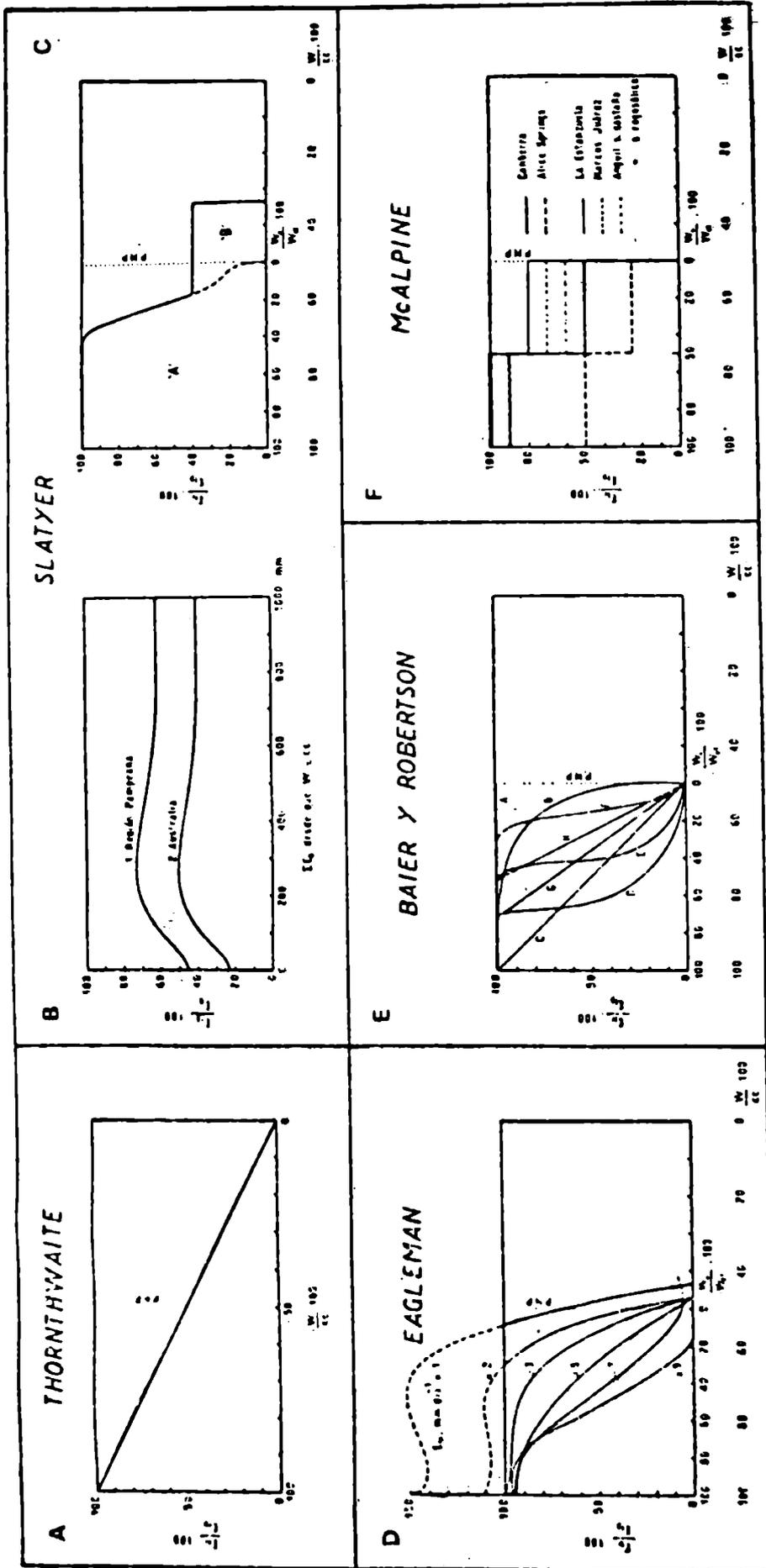


Fig. 10. A, B, C, D, E y F., curvas de desecamiento utilizadas por los diferentes autores de los modelos, construidas para un suelo teórico cuya capacidad de agua útil (W_{ut}) es la mitad de su capacidad de campo de agua total (cc). B, relación E_{tp}/E_0 según el monto de la evaporación del tanque acumulada desde el día de la recarga total de agua en el suelo (modelo de Slatyer).

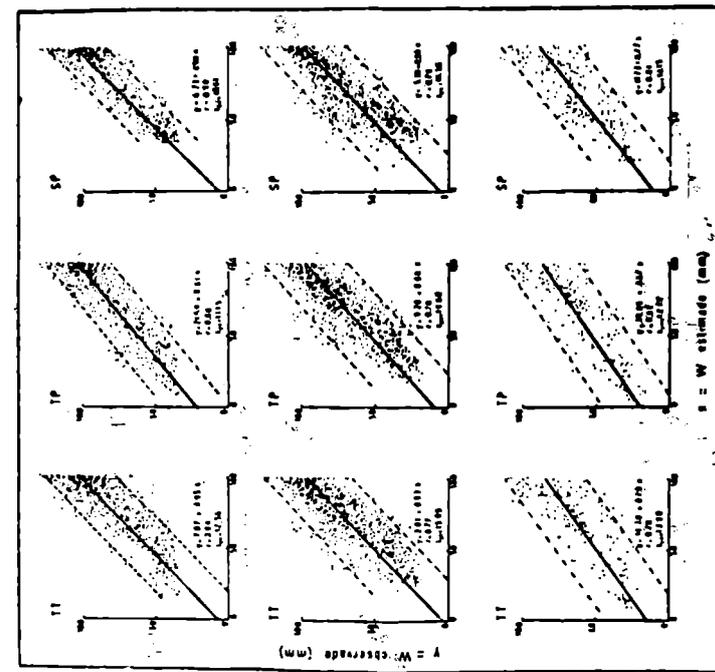


Fig. 11. Gráficos de correlación y regresión entre valores observados (y) y estimados (x) de almacenaje d agua en el suelo para los modelos TT, TP y SP en las localidades de La Estanzuela (1ª fila horizontal), Marcos Juárez (2ª fila horizontal) y Anguil (3ª fila horizontal).

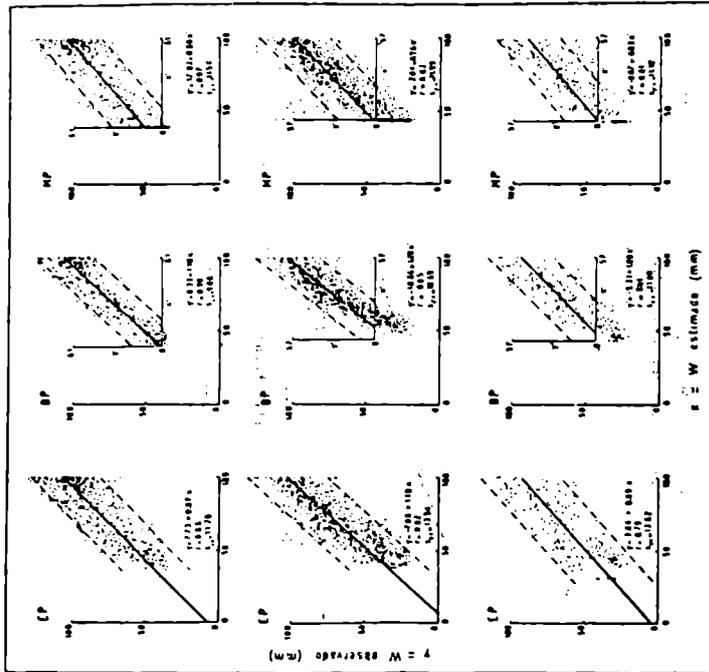
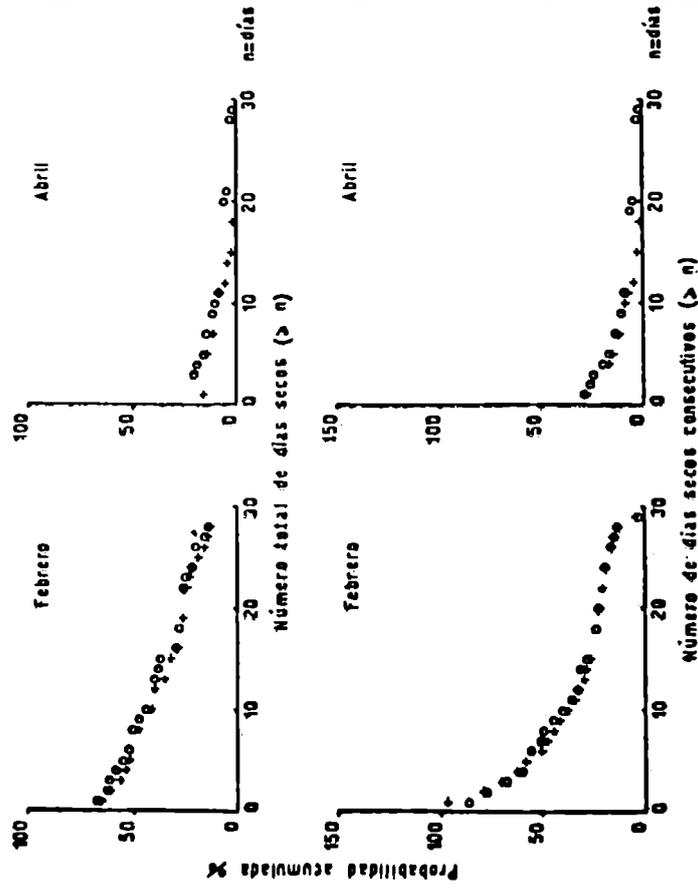


Fig. 12. Gráficos de correlación y regresión entre valores observados (y) y estimados (x) de almacenaje de agua en el suelo para los modelos EP, BP y MP, con la misma disposición de localidades de la fig. 2. Las ordenadas y abscisas indican de los modelos BP y MP limitan el punto de marchitez permanente (P.M.P.) e indican el valor del agua útil (W_u), siendo (y') = W_u observada, y (x') = W_u estimada. Los puntos que figuran por debajo de la abscisa (x') corresponden a la misma, ya que los modelos BP y MP no estiman humedad por debajo del P.M.P., pero se los representa así por comodidad.

ESTIMACION DE LA DURACION DE SEQUIAS EN BUENOS AIRES (Lámina 100 - mm)

Nivel < 40 mm



Nivel < 75 - mm

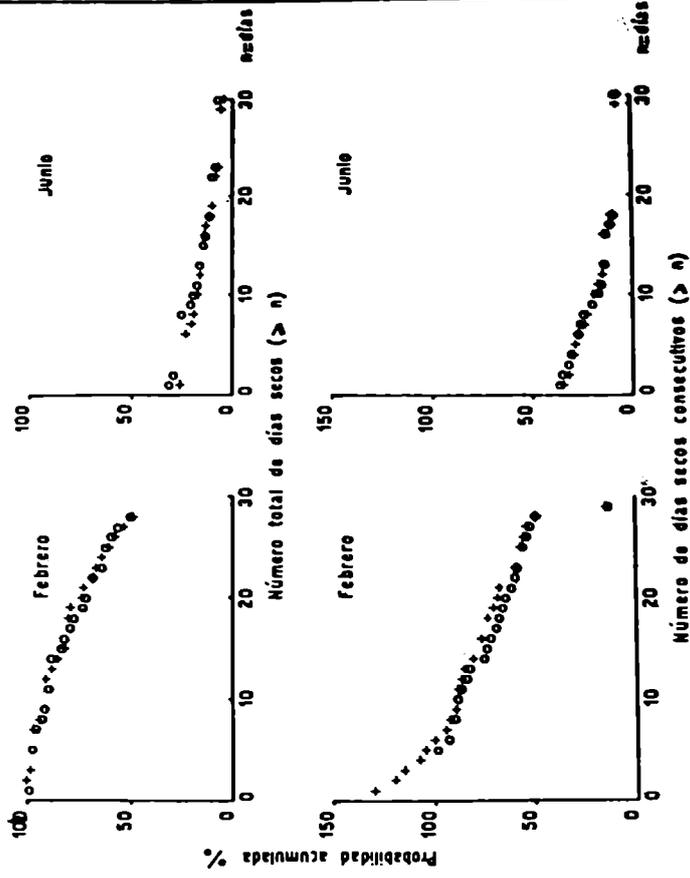


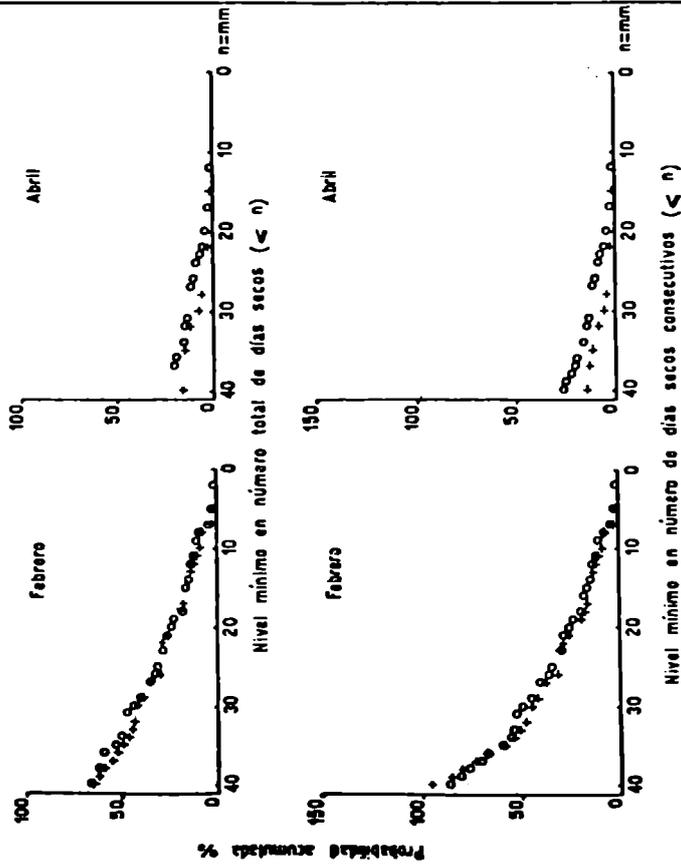
FIGURA No. 13 - n = días

O = método original

+ = método simplificado

ESTIMACION DE LA INTENSIDAD DE SEQUIAS EN BUENOS AIRES (Lámina 100 mm)

Nivel < 40 mm



Nivel < 75 mm

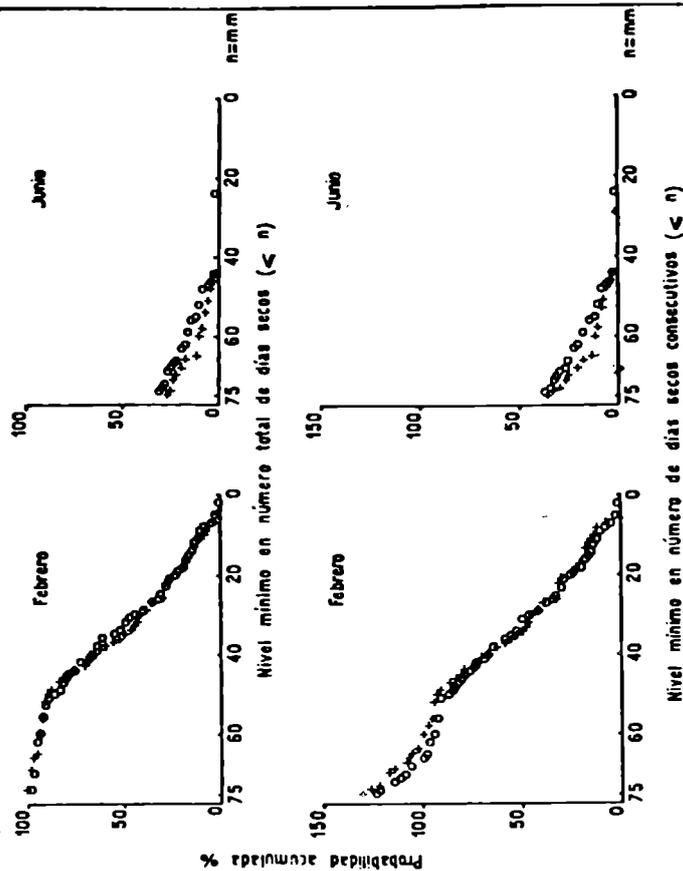


FIGURA No. 14 - n = mm

O = método original

+ = método simplificado

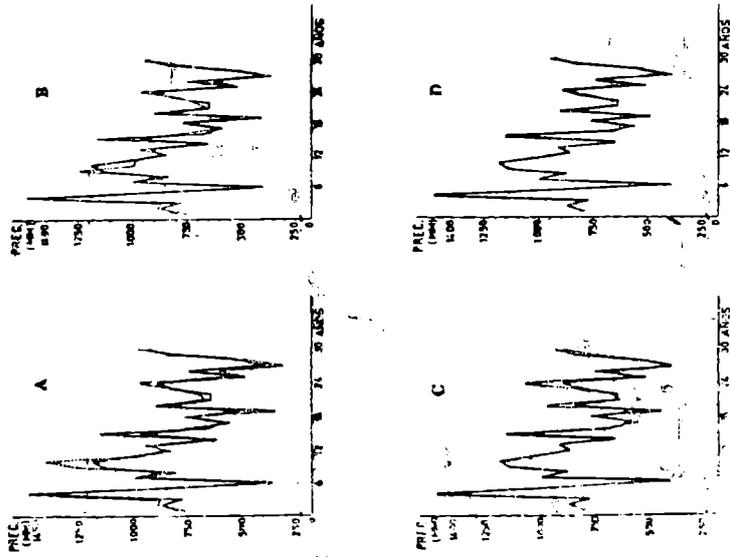


Fig. 15. Comparación entre los milímetros de precipitación observados y generados según distinto número de autovectores y períodos base, para la estación Colonia Seré.

Valores observados — Valores Generados:

- A generados con 3 autovectores y 7 períodos anuales.
- B generados con 5 autoectores y 9 períodos anuales.
- C generados con 9 autovectores y 12 períodos anuales.
- D generados con 12 autovectores y 14 períodos anuales.

ECOSUR, Argentina, 7(14): 161-170 (1980)

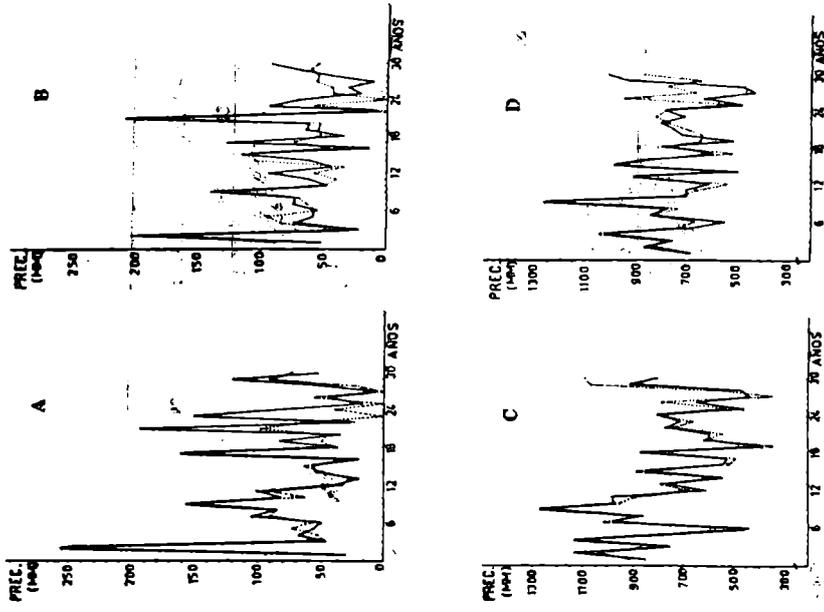
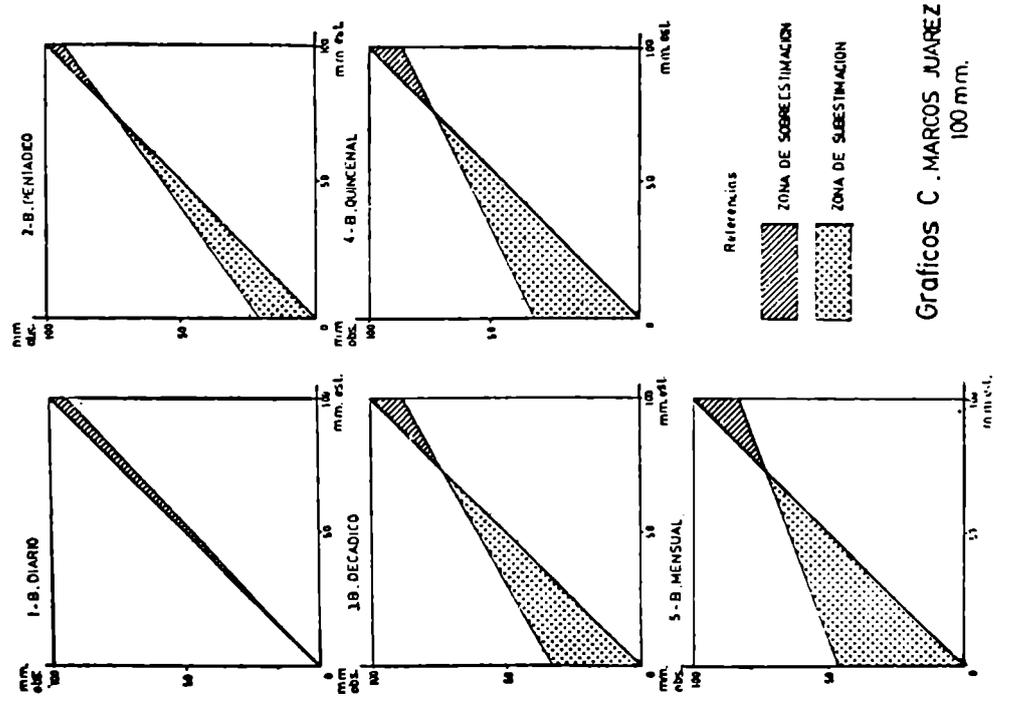
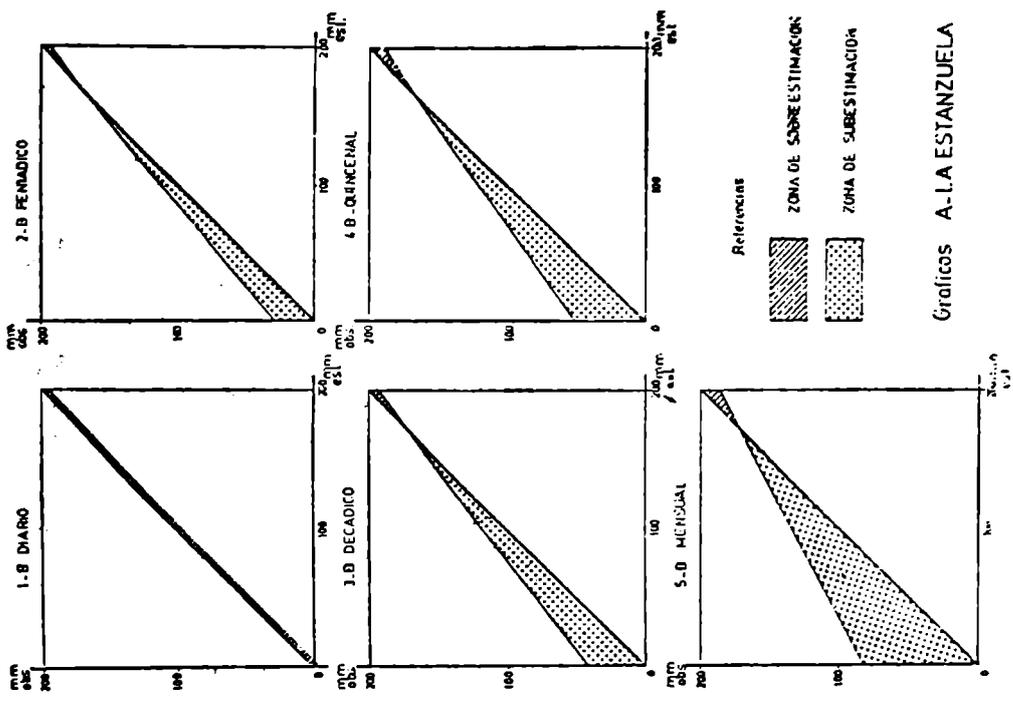


Fig. 16. Milímetros de precipitación observados y generados con la utilización de 13 autovectores y 20 períodos anuales.

- A Enero Sundblad
- B Enero Tranque Lauquen
- C Anual Sundblad
- D Anual Tranque Lauquen

ECOSUR, Argentina, 7(14): 161-170 (1980)



Imprenta CRISOL S.R.L.
Canning 1671 - T. E. 71-7621
1414 - Buenos Aires - Argentina