

## CRONOLOGIA DE INUNDACIONES Y SEQUIAS EN LA DEPRESIÓN DEL SALADO

E.M. SIERRA y E.R. MONTECINOS (\*)

Recibido: 27-07-90

Aceptado: 14-09-90

### RESUMEN

*Utilizando una serie pluviométrica mensual de la localidad de Las Flores (1888-1989) se reconstruyó la cronología de sequías e inundaciones de la Depresión del Salado por medio de un modelo de balance hidrológico en el que se toman en cuenta las características de baja permeabilidad y lento escurrimiento de los suelos en la misma. Aunque la variabilidad interanual es de alta frecuencia, con un período de retorno de aproximadamente de 15 años, se producen anomalías de alta persistencia y gran intensidad que pueden superar los dos años de duración.*

**Palabras clave:** inundaciones, sequías, Depresión del Salado.

### FLOODINGS AND DROUGHTS CHRONOLOGY OF THE SALADO RIVER DEPRESSION

### SUMMARY

*The monthly precipitation record (1888-1989) from Las Flores was employed to reconstruct the drought and flooding chronology of the Salado River Depression by means of a modified water balance, which takes into account low soil permeability and slow run-off. In spite of high frequency interannual variability, persistent anomalies, up to two years long, appear with an interval of about fifteen years.*

**Key words:** flood, droughts, Salado River Depression

---

(\*) Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Facultad de Agronomía. UBA.  
Avda. San Martín 4453 (1416) Buenos Aires - Argentina -

### INTRODUCCION

Las inundaciones que con cierta frecuencia sufre la Depresión del Salado constituyen un tema de debate desde fines del siglo pasado (Ameghino, 1886), y mucho se ha dicho, a veces posiblemente con alguna exageración, acerca de sus efectos depresivos sobre la productividad agropecuaria.

A pesar de la construcción de canales artificiales de drenaje, el complejo suelo-clima-topografía del área continúa siendo un obstáculo grave para la introducción de los cultivos de cereales y oleaginosas que constituyen la componente más importante de la economía agraria de la llanura pampeana, relegándola a un rol preponderantemente pecuario (Tricart, 1973).

Recientemente, ha dado comienzo un estudio científico de las características de esta interesante situación, y de sus posibilidades de desarrollo (Deregibus y Cahuepé, 1983; Durán, 1982). En lo que respecta a la interacción suelo-clima-vegetación puede citarse el trabajo de Sala et al. (1981) en el que se relacionan el consumo de agua por parte de la vegetación con los ascensos y descensos de la napa freática y las tormentas frontales de gran intensidad, señalando la existencia de un período de exceso de agua en el suelo, en la primavera, y un período de déficit hídrico, a fin del verano. Lavado y Taboada (1987/88) estudiaron la relación entre el proceso de salinización y el régimen hídrico del área.

Aunque los episodios de inundación de 1980 y 1985-1986, así como otros menores, fueron muy publicitados, la falta de una cronología de larga data ha impedido hasta ahora evaluar hasta qué punto se trata de eventos extraordinarios, como en su momento afirmaron muchos medios de difusión, o si se trata de fenómenos intensos, pero propios del clima regional del área.

En este estudio, las características del suelo determinadas en la bibliografía citada se incorporaron al esquema clásico de balance hídrico del suelo (Thornthwaite, 1948 y 1957) obteniendo un modelo teórico que permite reproducir la intensidad relativa de las sequías e inundaciones en una serie pluviométrica de larga duración, identificando los períodos más significativos.

### MATERIALES

Gracias a la colaboración del Servicio Meteorológico Nacional pudieron obtenerse de sus archivos varias series pluviométricas mensuales de una duración que hasta ahora ha sido poco común en los estudios de esta índole. La más larga, pertenece a la localidad de Las Flores (Figura 1) y abarca el período 1888-1989, lo que la hace muy interesante, ya que permite observar la última parte del período de inundaciones que afectó a la provincia de Buenos Aires durante la segunda mitad del siglo pasado (Ameghino, 1886). La segunda, un poco más corta, corresponde a la localidad de Dolores, y se extiende desde 1901 hasta 1989, complementando útilmente a la anterior.

Los datos pluviométricos mensuales pertenecientes a las localidades de Buenos Aires (1861-1989), Azul (1888-1989), Balcarce (1893-1989), Chascomús (1888-1989), Mar del Plata (1888-1989), Nueve de Julio (1897-1989), Saladillo (1893-1989) y Tandil (1888-1989), fueron empleados para evaluar la amplitud de la difusión espacial de los fenómenos estudiados dentro de la Depresión del Salado.

Los datos de suelos fueron extraídos de los trabajos de Lavado y Taboada (1987, 1988) anteriormente citados, arrojando un valor de 63 mm de almacenaje a coeficiente de marchitez, 112 mm a capacidad de campo y 192 a saturación, correspondiente a una profundidad de 25 cm.

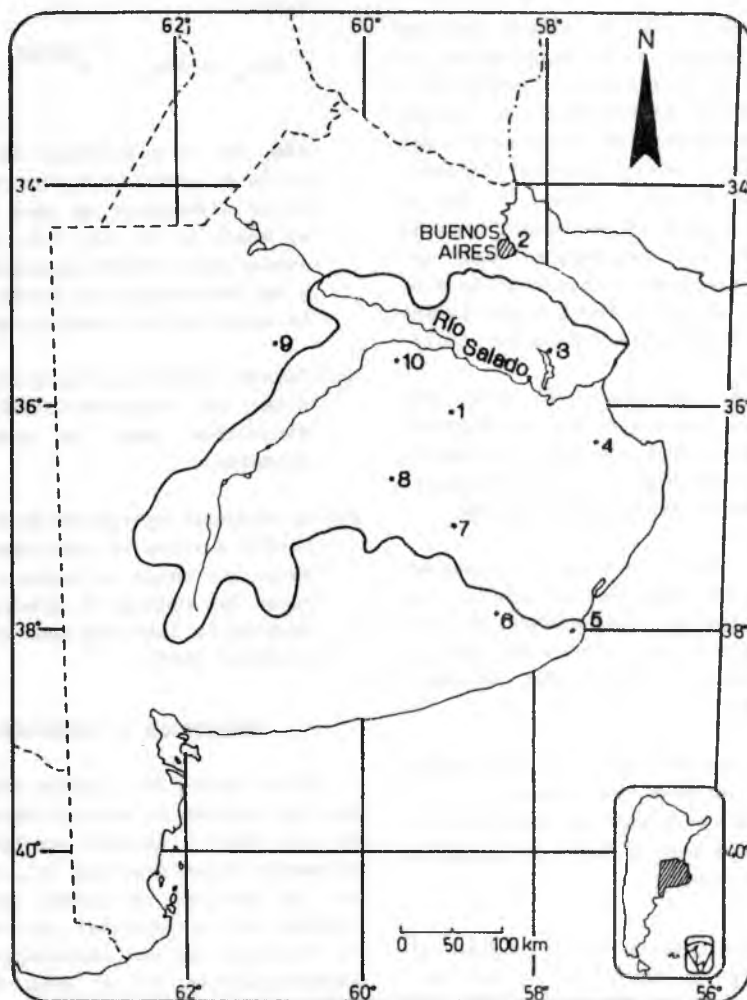


Figura 1: Ubicación geográfica en la Provincia de Buenos Aires de las localidades incluidas en este estudio: (1) Las Flores; (2) Buenos Aires; (3) Chascomús; (4) Dolores; (5) Mar del Plata; (6) Balcarce; (7) Tandil; (8) Azul; (9) Nueve de Julio; (10) Saladillo.

#### MÉTODOS

El método clásico de balance hídrico de Thornthwaite (1948, 1957) adaptado por Pascale y Damario (1977, 1983) para el procesamiento de series temporales, resulta muy eficaz para la detección de períodos secos pero, como se supone que el agua gravitante se elimina rápidamente por percolación, es muy difícil evaluar los períodos de

exceso hídrico, ya que la memoria de estos eventos tiende a desaparecer en el siguiente paso de tiempo.

Muy diferente es lo que sucede en la zona en estudio, en la que el lento movimiento vertical del agua provocado por horizontes subsuperficiales arcillosos y alcalinos de escasa permeabilidad (Perelman, 1984; Paruelo y Salta, 1990), causa un alto grado de incomunicación entre el agua superficial y la freática, de manera que,

la principal vía de salida de los excesos hídricos es la evaporación, ya que las características arreicas o endorreicas de la Depresión del Salado le impiden hacerlo en mayor medida por percolación y escurrimiento (Tricart, 1973; Sala et al., 1984). A fin de tomar en cuenta estas condiciones se efectuaron las siguientes modificaciones al programa de computación elaborado por Sierra (1983), según la metodología de Pascale y Damario (1977).

1. En lugar de considerar una percolación mensual total, se introdujo un coeficiente capaz de hacerla variar entre 0 y 100% mensual, tomándose un valor medio de 10%.
2. Por lo tanto, cuando se producen excesos de agua en el suelo, los mismos quedan disponibles al mes siguiente en una proporción igual a 100 menos la percolación, es decir del 90%.
3. Cuando los excesos así acumulados superan el nivel de saturación del suelo, el excedente se trasfiere a una laguna que se forma en la parte baja del campo.
4. Para la formación de la laguna se considera un campo de 10.000 ha, que es el tamaño medio de las cuencas casi arreicas en que se encuentra dividida el área. La pendiente del campo es del 1 o/oo, lo que permite la formación de una laguna de sección cónica en su parte inferior.
5. Dado que la microcuenca se supone arreica se computa un escurrimiento de sólo un 10% mensual.
6. La evapotranspiración potencial se computa de la siguiente manera:

- 6.1 Cuando el contenido de agua del suelo está en capacidad de campo o valores inferiores se emplea la expresión desarrollada por Sierra (1983),

$$Alm_t = Alm_{t-1} C^{EP/CC} \quad (I)$$

$Alm_t$  es el almacenaje de agua en mm en el suelo en el mes  $t$ ;  $Alm_{t-1}$  es el almacenaje de agua en mm en el suelo en el mes  $t-1$ ;  $EP$  es la evapotranspiración potencial en mm a ser descontada del suelo y  $CC$  es la capacidad de campo en mm.

- 6.2 Cuando existe agua gravitante, la misma se considera directamente disponible para la evapotranspiración.
- 6.3 La evapotranspiración desde la superficie libre se considera un 50% mayor que desde el suelo a fin de tener en cuenta el efecto de la superficie libre de agua (Sierra y Pórfido, 1978).

#### RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro N° 1 puede observarse que los valores de precipitación anual de Las Flores guardan correlaciones altamente significativas ( $r$ ), al nivel del 1% con las de todas las localidades que la circundan, lo cual pone en evidencia que sus observaciones son representativas de un área bastante extensa. El grado de asociación estadística entre las series parece variar en función del rumbo que se considere, manteniéndose más en ciertas direcciones que en otras. Para poner de manifiesto esto, se calculó, para cada localidad, la distancia ( $D_{70}$ ) en que el coeficiente de correlación disminuye hasta el valor de 0,7, que representa un 50% de la variancia explicada, para lo cual se empleó una función exponencial del tipo

$$R_d = R_0 b^{d/100} \quad (II)$$

$R_d$  significa el  $r$  a una distancia  $d$  en km;  $R_0$  es el  $r$  a la distancia = 0 km, que se supone igual a 1; y  $b$  es el coeficiente que expresa la variación de  $r$  en 100 km.

Cuadro N° 1: Correlación entre las precipitaciones anuales de Las Flores y las localidades circundantes.

Localidad	Rumbo	r	b	D70 (km)
Buenos Aires	NNE	0,66	0,807	167
Chascomús	WNW	0,77	0,811	171
Dolores	WSW	0,77	0,832	194
Mar del Plata	SE	0,61	0,826	186
Balcarce	SSE	0,59	0,782	145
Tandil	S	0,57	0,687	95
Azul	SW	0,66	0,645	82
Nueve de Julio	WNW	0,58	0,759	130
Saladillo	NW	0,79	0,676	91

La distancia necesaria para que  $r$  descienda a 0,7 ( $D_{70}$ ) es bastante variable, aunque no aleatoria, ya que es evidente que aumenta desde el NW (Saladillo) hasta el SE (Mar del Plata), desde donde disminuye hasta el SW (Azul), para aumentar hacia el WNW (Nueve de Julio) y volver a disminuir hacia el NW (Saladillo), cerrando así el círculo.

A lo largo del año se alterna con bastante rapidez entre dos ambientes bien contrastados (Figura 2). Desde comienzos de enero, hasta fines de marzo el suelo posee, término medio, un contenido de humedad inferior al 50% de agua útil (87,5 mm), lo que configura una sequía estival bien definida que corta la cadena de pastoreo. Desde fines de abril hasta comienzos de diciembre, el suelo tiene un contenido de agua superior al de la capacidad de campo (112 mm) determinando un largo período de excesos. La transición entre estos dos ambientes disímiles es casi instantáneo, no existiendo períodos prolongados en los que la humedad edáfica no sea limitante por exceso o por defecto.

Ambos ambientes, el estival seco y el invernal húmedo, presentan una variabilidad temporal muy considerable que adiciona una nueva dimensión al problema. En la Figura 3 se representa la variación temporal (1888-1989) del contenido de agua en el suelo durante el mes de febrero. Se nota un fuerte predominio de las situaciones de sequía, en las que el contenido de agua útil es inferior al 50%, las que

se dieron en 69 de los 102 años estudiados, constituyendo un 67% del total. A pesar de ello, también se presentan años en los que el suelo se halla saturado a fines de febrero, aunque en una proporción menor, de 23 casos sobre 102, es decir de un 22,5% lo que vuelve a poner en evidencia el carácter contrastante del clima hídrico del área, ya que en sólo 10 casos sobre 102, o sea en un 9,8% de los años, el contenido de agua del suelo no fue limitante.

Aunque el período seco del año abarca en el promedio climático los meses de enero, febrero y marzo, en años individuales pueden producirse períodos secos más prolongados según puede observarse en el Cuadro N° 2, en el que se han registrado aquellos cuya duración supera el semestre. Se destacan las prolongadas sequías de 1891-1894 y 1908-1911, que superaron los dos años de duración, ocurriendo a poco de finalizado el ciclo de inundación, que según los testimonios de la época (Ameghino, 1886), habría tenido lugar durante las décadas anteriores. Los episodios posteriores fueron de mucha menor duración y el último de importancia tuvo lugar en 1979-1980, hace ya diez años. La sequía de 1988-1989 que produjo graves daños en la cosecha de ese año agrícola, tuvo una manifestación mucho más restringida en la Depresión del Salado, abarcando los meses de diciembre de 1988 y enero y febrero de 1989, aunque muy posiblemente sus efectos causaron una viva impresión en el

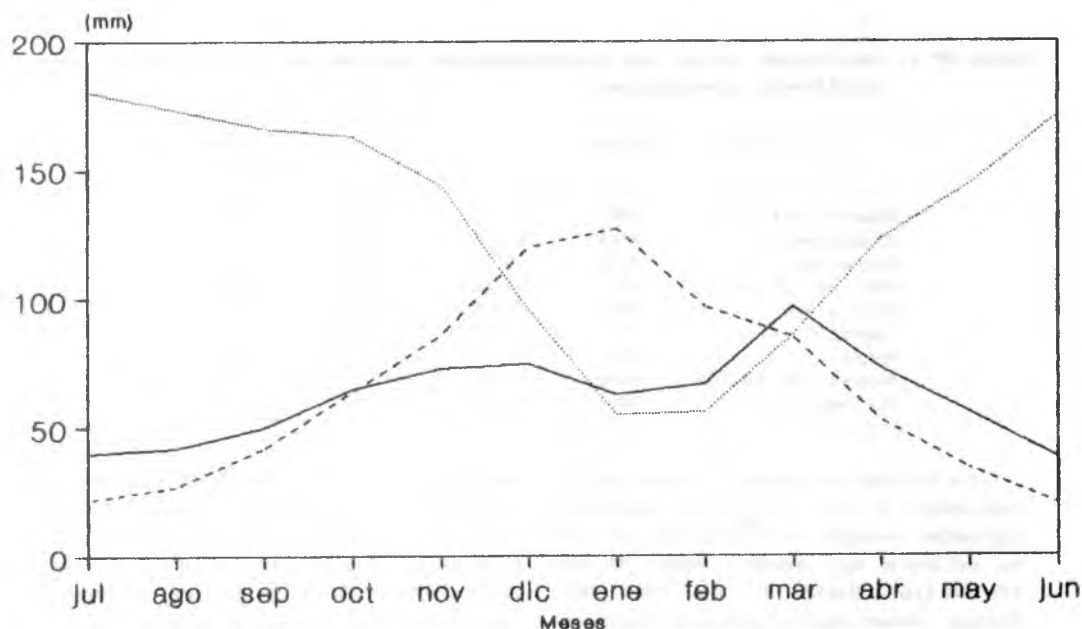


Figura 2: Marcha estacional de la precipitación (—), evapotranspiración potencial (---) y agua total contenida en el suelo (.....). Valores medianos en mm.

ánimo de los productores por contrastar mucho con las condiciones más húmedas de la década anterior. Llama también la atención que las sequías de 1950-51 y 1962-63, que afectaron considerablemente la producción agrícola de esos años, no hayan tenido su equivalente en la Depresión, por lo que podría pensarse que su régimen es independiente en este aspecto.

En la Figura 4 puede observarse la variabilidad interanual del ambiente húmedo, representado por la superficie de la laguna a fin de noviembre que es el momento de su mayor desarrollo medio. Es imposible establecer aquí un límite tan claro como el usado para definir el inicio de la sequía, pero haciendo un análisis dimensional del problema puede estimarse, aunque con cierto grado de subjetividad que, cuando el 10% de la superficie está ocupada por la laguna, los efectos del fenómeno comienzan a afectar claramente el funcionamiento de la explotación. Además, el nivel del 10% de superficie inundada tiene una probabilidad de ocurrencia a lo largo de

todo el año del 27,2%, es decir que hay un 72,8% de que la laguna sea menor. Este nivel de probabilidad es aproximadamente el mismo que la situación de 50% de agua útil, que tiene un 70,8% de probabilidad de ser superada y un 29,2% de que ocurran deficiencias más severas. Por lo tanto, más del 10% de superficie inundada y menos de 50% de agua útil son eventos que tienen una equivalencia probabilística del orden del 30%.

Se destaca el período húmedo de 1975 a 1987, durante el cual la superficie de la laguna estuvo casi siempre por encima del 10%, con una persistencia bastante superior a la del resto de la serie analizada, aunque también pueden notarse varios episodios durante los cuales la laguna se redujo a cero, y que son coincidentes con las sequías señaladas en el Cuadro N° 2.

Si bien la variabilidad interanual es de alta frecuencia, y no pudieron detectarse fenómenos de persistencia, la variabilidad intra-anual presenta a menudo largos períodos en que se

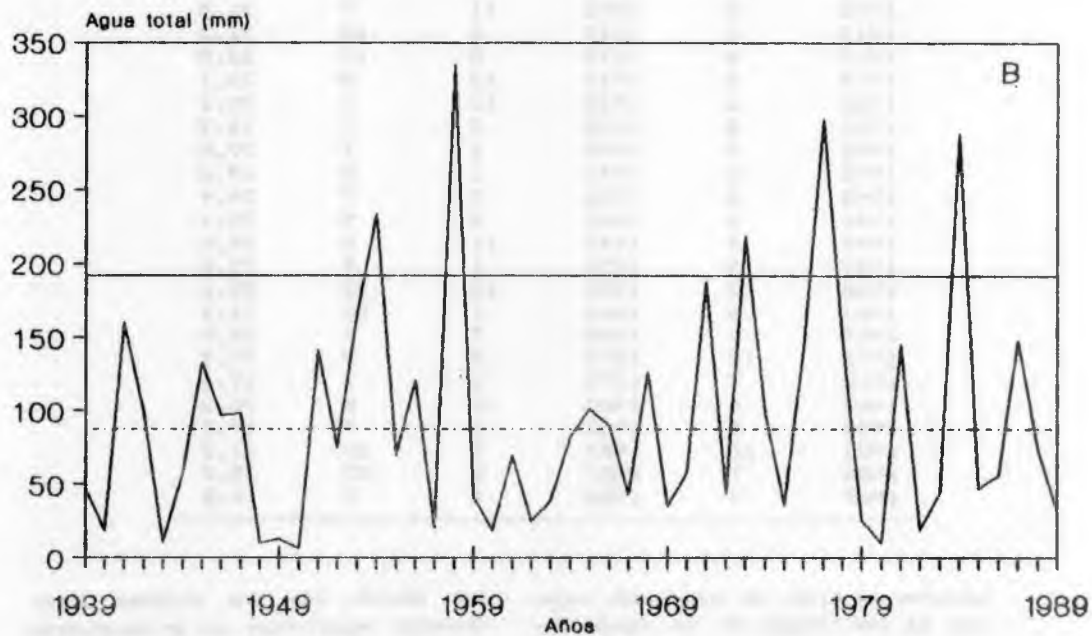
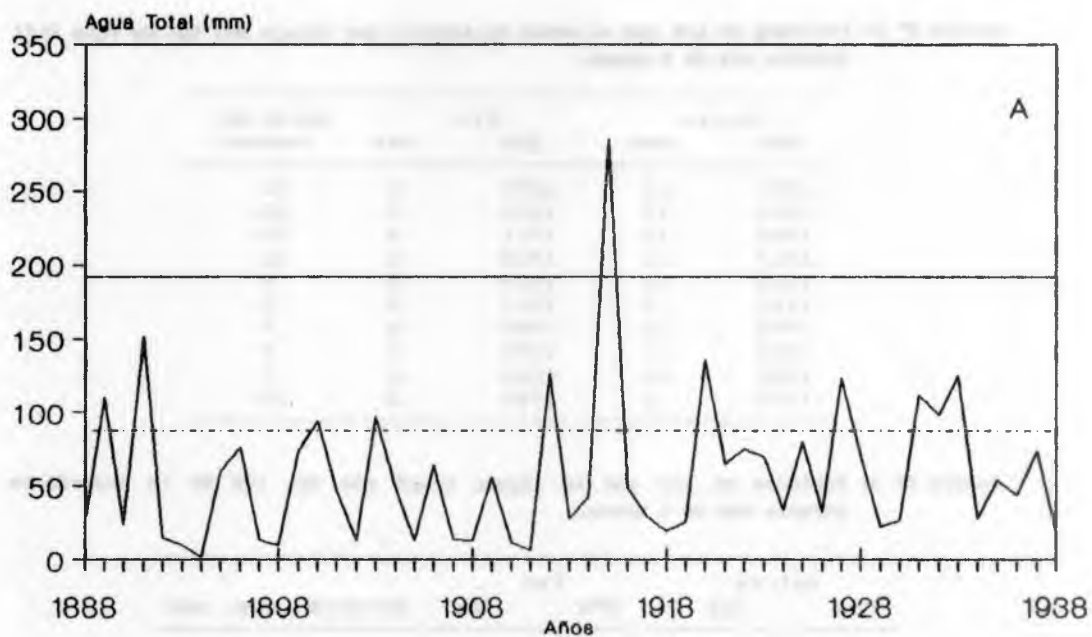


Figura 3: Agua total en mm contenida en el suelo al final del mes de febrero. Nivel de saturación, 192 mm, (—), nivel correspondiente al 50% del agua útil, mm (- - -). A) período 1888-1938, B) período 1939-1989.

Cuadro N° 2: Períodos en los que el suelo se mantuvo por debajo del 50% de agua útil durante más de 6 meses.

Inicio		Fin		duración (meses)
Año	mes	Año	mes	
1891	12	1894	6	31
1896	12	1898	5	18
1908	12	1911	4	29
1917	11	1918	8	11
1928	12	1929	8	9
1942	9	1943	5	9
1949	12	1950	6	7
1954	11	1955	6	7
1959	12	1960	6	7
1979	1	1980	3	15

Cuadro N° 3: Períodos en los que la laguna ocupó más del 10% de la superficie durante más de 6 meses.

Inicio		Fin		duración sup. máx	
Año	mes	Año	mes		
1891	3	1891	12	10	15,9
1895	4	1895	11	8	15,6
1900	3	1901	2	12	22,7
1903	5	1903	11	7	21,3
1913	5	1917	2	10	21,3
1913	4	1915	8	17	22,8
1919	5	1919	12	8	23,1
1922	6	1922	12	7	20,2
1931	8	1932	2	7	15,2
1932	7	1933	1	7	20,8
1940	6	1941	1	8	19,6
1945	8	1946	2	7	24,4
1946	6	1947	2	9	20,1
1947	4	1947	11	8	23,6
1949	5	1950	1	9	23,8
1958	2	1959	12	23	22,6
1963	6	1965	1	20	21,2
1967	9	1968	3	7	23,5
1972	12	1973	8	9	14,2
1978	7	1979	1	7	19,4
1980	4	1980	11	8	20,2
1982	6	1983	2	9	19,2
1983	10	1984	7	10	21,2
1985	7	1987	5	23	38,0
1987	7	1988	1	7	19,8

mantiene un nivel de inundación superior al 10% (Cuadro N° 3). Puede observarse que los períodos de inundación más prolongados tuvieron lugar en épocas relativamente recientes, dando la impresión de que el fin de siglo pasado y la primera mitad del presente fueron relativamente más secos. El episodio más notable fue el

que abarcó las dos últimas inundaciones registradas que se sucedieron con un sólo mes de interrupción (junio de 1987) a lo largo de 30 meses llegando a abarcar un 38,0% del área. No obstante, aún en los episodios más cortos, es común que llegue a inundarse más del 20% del área.

Al comparar los Cuadros N° 2 y 3



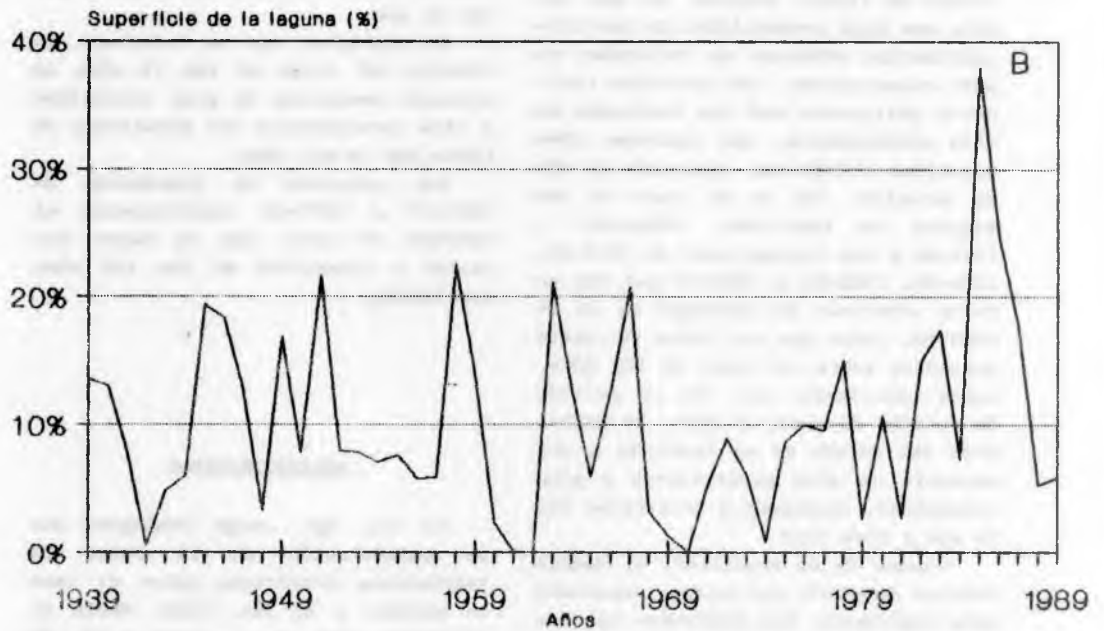
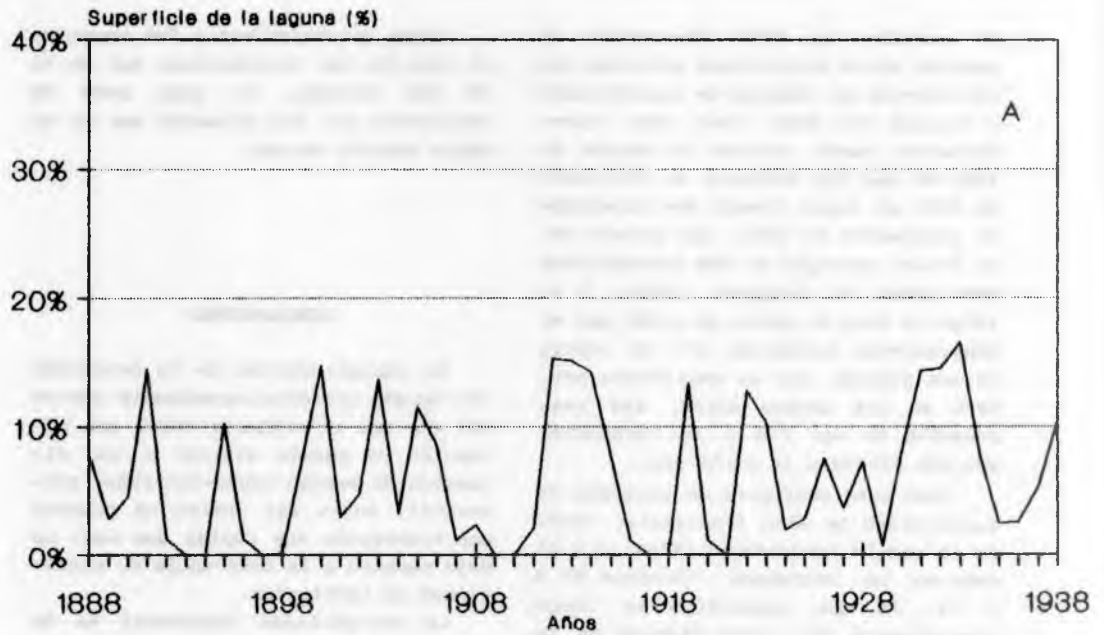


Figura 4: Superficie de la laguna en % de la superficie total, al final del mes de noviembre. A) período 1888-1838; B) período 1939-1989.

se percibe la alta frecuencia de pasajes entre situaciones extremas que caracteriza al régimen de inundaciones y sequías del área. Como caso representativo puede citarse la sequía de 1891-94 que dio comienzo en diciembre de 1891 al mismo tiempo que terminaba la inundación de 1891, que parece ser el último vestigio de las inundaciones descritas por Ameghino (1886). A lo largo de toda la serie es común que el desecamiento producido por el inicio de una sequía, que se manifiesta primero en los campos altos, sea responsable de dar fin a la inundación que aún afecta a la parte baja.

Todo esto configura un panorama de variabilidad de alta frecuencia, tanto en la escala inter-anual (Figs. 3 y 4) como en la intranual (Cuadros N° 2 y 3), lo que constituye un rasgo predominante del clima hídrico de la Depresión del Salado. Ello no constituye un factor adverso, ya que indica una baja probabilidad de que circunstancias adversas se extiendan en años consecutivos. Los episodios realmente peligrosos son los fenómenos de alta persistencia, que aparecen como anomalías climáticas, superando el año de duración. Tal es el caso de las sequías de 1891-1894, 1908-1911 y 1979-80 y las inundaciones de 1913-15, 1958-59, 1963-65 y 1985-87 que con un corto intervalo se prolongó en la de 1987-88. Dado que se trata de siete episodios sobre un total de 102 años, puede calcularse que, con un período de retorno de unos 15 años, la Depresión del Salado se ve sometida a una anomalía de alta persistencia y gran intensidad, tendiendo a alternarse las de uno y otro tipo.

A pesar de su sencillez, el modelo teórico demostró una notable capacidad para reproducir los fenómenos naturales en estudio y, al compararse sus resultados con la recopilación histórica efectuada por Durán (1985), pudo comprobarse una alta correspondencia entre eventos calculados y eventos observados.

Dicha correspondencia fue mayor en el caso de las inundaciones que en el de las sequías, lo cual pone de manifiesto que las primeras son de un mayor impacto social.

#### CONCLUSIONES

El régimen hídrico de la Depresión del Salado presenta normalmente dentro del año una alternancia entre una situación de sequía estival y una situación de exceso otoño-invierno-primaveral, entre las cuales se produce una transición muy rápida que casi no deja espacio a la ocurrencia de condiciones no limitantes.

La variabilidad interanual es de alta frecuencia y son raros los episodios de sequía o inundación que superen el año.

No obstante, con un intervalo de retorno del orden de los 15 años se producen anomalías de gran intensidad y alta persistencia con duraciones de hasta más de dos años.

Los episodios de inundación de 1985-87 y 1987-88 constituyeron el fenómeno de este tipo de mayor duración e intensidad en los 102 años analizados.

#### AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Jorge Domínguez por su colaboración en la busca de testimonios históricos sobre el tema en estudio y al Tec. Hidr. María E. Fernández Long por la preparación de los archivos utilizados.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) AMEGHINO, F. 1886. *Las secas y las inundaciones en la provincia de Buenos Aires*. Univ. Nac. Nordeste, Publ. Inst. Agrot. Resistencia: 3-99 (2da. ed. y reimpresión, 1958).
- 2) DEREGIBUS, V.A. y M.A. CAHUEPE. 1983. *Pastizales naturales de la Depresión del Salado: Utilización basada en conceptos ecológicos*. *Rev. Inv. Agrop.*, 18(1):47-78.
- 3) DURAN, D. 1982. *La alternancia de sequías e inundaciones (un problema clave en la Pampa Deprimida)*. Ed. Oikos, Buenos Aires, 117 p.
- 4) DURAN, D. 1985. *Las inundaciones en la provincia de Buenos Aires*. Ed. Oikos, Buenos Aires, 192 p.
- 5) LAVADO, R.S. y M.A. TABOADA. 1987. *Soil salinization as an effect of grazing in a native grassland in the Flooding Pampa of Argentina*. *Soil Use and Management*, 3:143-148.
- 6) LAVADO, R.S. y M.A. TABOADA. 1988. *Water, salt and sodium dynamics in a Natraquoll in Argentina*. *Catena*, 15:577-594.
- 7) PARUELO, J.M y O.E. SALA. 1990. *Caracterización de las inundaciones en la Depresión del Salado (Buenos Aires, Argentina)*. *Dinámica de la capa freática*. *Turrialba* (en prensa).
- 8) PASCALE, A.J. y E.A. DAMARIO. 1977. *El balance hidrológico seriado y su utilización en estudios agroclimáticos*. *Rev. Fac. Agr. de La Plata.*, 53(1-2):15-34.
- 9) PASCALE, A.J. y E.A. DAMARIO. 1983. *Variación del agua edáfica disponible para los cultivos en la región oriental argentina*. *Rev. Facultad de Agronomía*, 4(2):141-181.
- 10) PERELMAN, S.B. 1984. *Modelo de circulación de agua en una comunidad de pastizal de la Depresión del Salado*. Informe C.I.C. La plata.
- 11) SALA, O.E.; N. GONZALEZ y E. KRUSE. 1984. *Generalización hidrológica de la provincia de Buenos Aires*. En *Hydrology on large flatlands. Proceedings del Simposio de Olavarría II*, 973-1009.
- 12) SALA, O.E.; A. SORIANO y S.B. PERELMAN. 1981. *Relaciones hídricas de algunos componentes de un pastizal en la Depresión del Salado*. *Revista Facultad de Agronomía (UBA)*, 2:1-10.
- 13) SIERRA, E.M. 1983. *Procesamiento automático del balance hidrológico seriado mensual*. *Rev. Facultad de Agronomía (UBA)*, 5(1-2):115-124.
- 14) SIERRA, E.M. y O.D. PORFIDO. 1978. *Evaluación comparativa de diversas fórmulas de evapotranspiración potencial en la Región Pampeana*. *Meteorológica*, 8(9(1977-78)):99-107.
- 15) THORNTHWAITE, C.W. y R.V. MATHER. 1957. *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. Drexel Institute for Techonology, *Publication in Climatology*, 10(3):185-311.
- 16) THORNTHWAITE, C.W. 1948. *An approach toward a rational classification of climate*. *Geo. Review*, 38:55-94.
- 17) TRICART, J. 1973. *Geomorfología de la Pampa Deprimida*. *Colección Científica XII INTA*, 202 p.