

RACHAS DE PRECIPITACION ESCASA

EN LA

ZONA ARIDA DEL CHUBUT

~~HECTOR DEL VALLE~~

por
MARIA M. RIVERO

SUBSECRETARIA DE ESTADO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA

CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNICAS

CENTRO NACIONAL PATAGONICO

1981

28 de Julio 28 - 9120 - PUERTO MADRYN

CHUBUT - ARGENTINA

RACHAS DE PRECIPITACION ESCASA EN LA ZONA ÁRIDA DE CHUBUT, -

Por María M. RIVERO

RESUMEN

Se calculó para la zona árida de Chubut y para un período de 100 años, la frecuencia esperada de rachas de precipitación negativas con respecto a la moda de cada lugar y al nivel de 150 mm, (que es aproximadamente el valor medio de la moda en la región).-

La estacionariedad y la independencia de cada serie con respecto a dichos niveles se estudió mediante las pruebas de χ^2 y Fisher. Se aceptó la estacionariedad en la totalidad de las estaciones, y en algunas no se descartó la dependencia del proceso.

Por ello, para cada serie, se calculó el coeficiente de autocorrelación, el índice de ergodicidad y el desvío entre la duración media esperada de las rachas negativas (calculadas con un modelo para procesos independientes) y la duración media observada.

Para cada serie se calculó la frecuencia esperada y el desvío standard de las rachas de distinta duración suponiendo: 1º) un proceso independiente y 2º) un proceso de Markov; y se comparó con la frecuencia observada. El segundo método dió una mejor aproximación para las estaciones con índice de ergodicidad superior a 0,2.

Se calculó la frecuencia esperada y el desvío standard para las rachas negativas con respecto a la moda y para un período fijado en 100 años.

Se utilizó para ello el mapa del parámetro Gamma de la distribución de lluvias y en la zona con índice mayor a 0,2 se ajustaron las isólinas a los valores calculados suponiendo un proceso de Markov.

Esta información se presenta en un mapa para el caso de rachas de

dos años,

Para rachas mayores, la variación espacial es del orden de la desviación standard, por lo que puede considerarse un valor único para toda la región.

Se trazó el mapa de probabilidad de precipitación menor que 150mm., que incluye la delimitación de la zona de índice de ergodicidad mayor a 0,2. Para las zonas con índice inferior a 0,2 se preparó una Tabla adjunta para el cálculo del tiempo medio de recurrencia y la frecuencia esperada en 100 años, de las rachas de precipitación menor ó igual a 150mm. en función de los valores de ése mapa.

Para las zonas con índice mayor a 0,2 se presentan tablas semejantes a las anteriores con los valores calculados en base a las series de datos de que se dispone y a partir de un modelo de Markov.-

* * *

1. INTRODUCCION

Debido a la negativa incidencia que tienen los períodos prolongados de escasa precipitación en la producción agropecuaria, se estudiaron las rachas con precipitación anual por debajo de ciertos valores.

Se define como "secuencia de observaciones de la misma clase precedida y seguida por observaciones de distinta clase". Fijado un nivel ó valor de precipitación, la primera clase se referirá a la observación de precipitación menor ó igual a dicho nivel; y la segunda clase a precipitación mayor que dicho nivel. Quedan así definidas las rachas negativas (con respecto al nivel de referencia).

En este trabajo cada observación es el total anual de precipitación de una serie perteneciente a una estación.

La Tabla I muestra el nombre de las estaciones utilizadas, su latitud, longitud y el período en que se dispone de datos consecutivos. Dichas estaciones se encuentran en la zona árida y semiárida de Chubut.

Se tomó la moda de cada estación como nivel de referencia de las rachas, pues parece ser el valor al cual mejor se adapta la vegetación. También se usó 150 mm. como otro nivel de referencia, porque se acerca al valor modal en una gran extensión de la zona árida y parece representar un valor aceptable para mantener la producción lanera.

Según la teoría clásica de rachas que se aplica a un proceso estocástico, estacionario e independiente, Mood [1] llega a la siguiente expresión para una serie de sucesos de alternativa simple con probabilidad p y q :

$$E [f(r)] = p^r q [(N-r-1) q + 2] \quad p+q = 1$$

donde $E[f(r)]$ es la frecuencia esperada de rachas de duración r del suceso con probabilidad p en una serie de N observaciones, $f(r)$ tiene una distribución asintóticamente normal,

Para usar la teoría clásica de rachas se hace necesario entonces investigar la estacionariedad e independencia interanual de las series.

Estos temas se analizan en la sección 2.

Para estudiar la estacionariedad se subdividieron las series de más de 30 años de datos, en dos subseries y se compararon las respectivas distribuciones mediante pruebas estadísticas, no pudiéndose descartar la estacionariedad en ninguna serie (salvo en Esquel).

La independencia también se analiza en la sección 2 y para ello se usaron 4 métodos:

- 1) Coeficiente de autocorrelación,
- 2) Pruebas estadísticas de independencia (χ^2 y Fisher),
- 3) Índice de ergodicidad.
- 4) Comparación entre duración media esperada para rachas negativas (suponiendo hipótesis de independencia) y duración media observada.

De acuerdo a estos criterios se rechazó la hipótesis de independencia en algunas estaciones, las cuales presentan un índice de ergodicidad superior a 0.2 para series de más de 30 años.

Se vió entonces la necesidad de hacer un análisis de rachas a través de la teoría de los sucesos recurrentes que se aplica tanto a procesos independientes como a series que presentan dependencia ligada a un proceso de Markov.

Para tratar la racha como suceso recurrente, Feller [2] introduce la siguiente definición: " Dadas dos alternativas S y F , una secuencia de n sucesos contiene tantas rachas de longitud r como sucesiones ininterrumpidas y no superpuestas de exactamente r sucesos

S. Por ejemplo en : SSSSFSSSSSS hay tres rachas de longitud (ó duración) igual a tres y ocurren en los pasos número 3, 8 y 11".

Hay cinco rachas de longitud 2 y ocurren en los pasos 2,4,7,9 y 11.

Con esta nueva definición de racha y usando la teoría de los sucesos recurrentes se obtienen tiempos medios de recurrencia (T.M.R.) para las distintas duraciones de rachas tanto para procesos independientes como dependientes, asociados éstos últimos a un proceso de Markov.

Dichos T.M.R. se convierten en frecuencias esperadas para determinados períodos de observación.

Comparando, para las distintas duraciones de racha y para cada estación, las frecuencias esperadas con las frecuencias observadas, se ve que en las estaciones en que se rechazó la hipótesis de independencia, el ajuste entre valor observado y valor esperado mejora al usar el método que supone cierta dependencia. Otro tanto ocurre con la duración media esperada de las rachas negativas.

En la sección 3 se amplía la teoría desarrollada por Feller, para incluir el caso de sucesos dependientes.

En la sección 4 se discute el uso del mapa de los parámetros de la función de distribución para calcular los T.M.R. de las distintas rachas en las zonas en que faltan observaciones y se presentan los resultados.

Para toda la zona árida de Chubut y para rachas convencionales negativas con respecto a la moda, se pueden esperar en 100 años, de 5 a 7 rachas de 2 años de duración, de 1 a 3 rachas de 3 años de duración, una racha de 4 años de duración y frecuencias entre cero y uno para rachas de 5 años, y ninguna racha para 6 ó más años de duración. Esto en términos de valor medio.

Para el nivel 150 mm. los resultados no se pueden unificar porque presentan mucho más variación a lo largo de la provincia, pero se puede tener una estimación de las frecuencias esperadas usando el mapa de

probabilidad de precipitación menor ó igual a 150 mm. y una Tabla adjunta que se describe en la sección 3.-

2. ANALISIS DE LA ESTACIONARIEDAD E INDEPENDENCIA DE LAS SERIES

2.1. ESTACIONARIEDAD.

Se dividieron las series temporales de más de 30 años en dos subgrupos y se compararon las distribuciones de ambas subseries usando la prueba de ajuste de χ^2 [1] Página 9.

No se encontraron diferencias de distribución a nivel de significación del 10%, salvo en Esquel en la cual la segunda mitad del período presenta valores apreciablemente más altos que la primera mitad.-

2.2. CALCULO DE GRADO DE DEPENDENCIA ENTRE AÑOS SUCESIVOS.

Aceptando la hipótesis de estacionariedad, queda por determinar si se trata de un proceso independiente, para lo cual se usaron distintos métodos que se detallan a continuación.

2.2.1. Coefficiente de autocorrelación.

Para cada serie se hizo el cálculo de coeficiente de autocorrelación $\hat{R}(u)$ y de su varianza, según la ecuación desarrollada por Bendat y Piersol [3] :

$$\text{Var} [\hat{R}(u)] = \frac{\text{Var} [\hat{\text{Cov}}(u)] - \text{Var} [\hat{\text{Cov}}(0)] \cdot E^2 [\hat{R}(u)]}{1 + \text{Var} [\hat{\text{Cov}}(0)]} \quad (1)$$

$$\text{Var} [\hat{\text{Cov}}(u)] \approx \frac{2}{n} \sum_{i=0}^{U-u} \hat{\text{Cov}}(i)^2 + \hat{\text{Cov}}(i+u) \cdot \hat{\text{Cov}}(i-u) \quad (2)$$

$$\hat{\text{Cov}}(u) = \frac{1}{n-u} \sum_{i=1}^{n-u} |pp(i) - m| - |pp(i+u) - m| \quad (8) \quad 0 \leq u \leq U \quad (3)$$

$pp(i)$ es la precipitación anual del año i de la serie, u llega hasta un intervalo máximo (U) y se hace la aproximación de que para valores mayores de (U) la función $\text{Cov}(u)$ toma valores despreciables.

En la Tabla I figuran los valores estimados de R para $U=1$ y su desvío estándar σ , y el número de años con que fue calculado.

En general el alto valor del desvío standard hace que los resultados obtenidos sean poco representativos. Se necesitarían más años de datos para reducir el error standard del estimador de R .

Aún en las estaciones en que $\hat{R}$ es muy bajo el alto valor de σ no permite asegurar independencia entre años consecutivos.

2.2.2. Pruebas de χ^2 .

Se reclasificaron los datos de precipitación anual según dos estados: El Estado 1 (E_1) que comprende todos los valores menores o iguales a la moda y el estado 2 (E_2) que comprende los valores que superan la moda.

Para cada estación se construyó la matriz de transición de dichos estados.

$$\begin{vmatrix} F_{11} & F_{12} \\ F_{21} & F_{22} \end{vmatrix}$$

F_{11} es la frecuencia de pares de años consecutivos con precipitación menor ó igual a la moda,

F_{22} es la frecuencia de pares de años consecutivos con precipitación mayor a la moda,

F_{12} es la frecuencia de casos con valor menor ó igual seguido por valor mayor a la moda,

F_{21} es la frecuencia de casos con valor mayor seguido por valor menor ó igual a la moda,

Se propone la hipótesis de independencia como hipótesis de nulo, es decir, que el hecho de que un año la precipitación esté por encima ó por debajo de la moda no influye en el hecho de que el año siguiente se dé un valor inferior ó mayor a la moda,

Para las estaciones con un número suficiente de datos anuales, como para reunir una frecuencia de 3 ó más casos en cada casillero de la tabla de contingencia se usó el test de χ^2 y como resultado no se pudo rechazar la hipótesis de nulo a nivel de significación del 10% con excepción de Estancia La Argentina,

Para las estaciones en las cuales no se pudo usar el test de χ^2 por contar con un número insuficiente de años, se usó el test de Fisher para tablas de contingencia de 2×2 [4]. Fijando un nivel de significación del 10% sólo se rechaza la hipótesis de independencia en la estación Dos Pozos.

La Tabla II muestra los valores de χ^2 , los valores del estadístico P. dados por el test de Fisher para el nivel de significación, el valor del índice de ergodicidad E que se define en 2.2.3., y el número de años de cada serie.

2.2.3. Indice de ergodicidad.

Otro enfoque para buscar una relación no necesariamente lineal (como en el caso del coeficiente de correlación) es el índice de ergodicidad que da una medida del grado de independencia interanual.

Se calcula la matriz de probabilidades de transición estimadas a partir de las frecuencias y se la eleva a las sucesivas potencias n .

$$\begin{vmatrix} p_{11} & \dots & p_{1r} \\ & \dots & \\ p_{r1} & \dots & p_{rr} \end{vmatrix}^n = \begin{vmatrix} p_{11}^{(n)} & \dots & p_{1r}^{(n)} \\ & \dots & \\ p_{r1}^{(n)} & \dots & p_{rr}^{(n)} \end{vmatrix}$$

Se define el índice de ergodicidad :

$$E(n) = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{j=1}^r (p_{rj}^{(n)} - p_{1j}^{(n)})^2}$$

$p_{ij}^{(n)}$ indica la probabilidad de pasar del estado i al estado j en n años.

Se construyó la matriz de transición con dos estados: mayor y menor ó igual que la moda. Se dió al exponente n valores 1,2,4,8,16, etc., y rápidamente el valor de E tendió a cero, lo cual indica cómo los valores de probabilidad se independizan del estado inicial a medida que que transcurren los años.

Un resultado característico es, por ejemplo, el de Estancia La Lochiel:

$$E(1)=0,161; \quad E(2)=0,026; \quad E(4)=0,0007; \quad E(8)=0,00000$$

Para $n = 1$ el índice de ergodicidad E se expresa como:

$$E = \sqrt{\frac{1}{2} [(p_{11}-p_{21})^2 + (p_{12}-p_{22})^2]} = (p_{11}-p_{21}) \quad (4)$$

El valor máximo que E puede tomar es 1.

Los valores del índice para $n=1$ nos dan una medida de la ergodicidad de la matriz de probabilidades para una transición de orden 1, lo cual equivale a un indicador de la dependencia entre el valor de un año y el del año siguiente.

En la Tabla II se observa que si se fija un nivel de significación del 10% se rechaza la hipótesis de independencia en Dos Pozos y en Estancia La Argentina, cuyos índices son: ,340 y ,379 respectivamente. Estas series tienen 24 y 38 años cada una.

Con series menores de 20 años, como en el caso de Río Mayo (14 años) y Sierra Cuadrada (17 años) y con índices que alcanzan el valor ,380, la hipótesis de independencia no se rechaza a nivel de significación de 10%, aunque sí con valores un poco más altos.

2.2.4. Utilización del concepto convencional de rachas.

Otra alternativa consiste en utilizar la teoría clásica de rachas en la cual se define como secuencia de observaciones de la misma clase precedida y seguida por una observación de diferente clase.

Si tenemos una sucesión de valores X_t y seleccionamos un valor arbitrario X_0 como ser la moda ó 150 mm, consideramos como rachas negativas a todas las rachas relacionadas con las desviaciones negativas $(X_t - X_0) \leq 0$ y rachas positivas a todas las relacionadas con las desviaciones positivas. Llamando r a la duración de racha negativa, para el caso en que existe independencia entre los sucesos y se trata de un proceso estacionario, para una población infinita, el valor esperado de r es según [1]:

$$E(r) = 1/q \quad (5)$$

q es la probabilidad de que en un año cualquiera se dé una desviación positiva.

$$q = 1 - p$$

La varianza de las rachas negativas es:

$$\sigma^2(r) = p/q^2 \quad (6)$$

Para cada estación con más de 30 años de datos se calculó la duración media de las rachas negativas observadas respecto de la moda, se estimó p a partir de la serie y se halló el valor de $E(r)$ y $\sigma(r)$.

También se calculó la duración media observada de las rachas negativas.

En la Tabla III figura la duración media observada de las rachas negativas $\bar{r}$, el valor de $E(r)$, el valor de $\sigma(r)$ y el valor del índice de ergodicidad E para el nivel moda.

"Puesto que se conoce la Esperanza de r y su varianza tan pronto como se define p para un proceso estocástico independiente y estacionario, la función $E(r)$ puede servir para investigar si se trata de una serie de sucesos

independientes" [1] .

Para esto se halló el valor del desvío:

$$\lambda = \frac{\bar{r} - E(r)}{\sigma / \sqrt{N}} \quad (7)$$

Por ser $\bar{r}$ el valor medio de variables igualmente distribuidas, si se cumple la condición de independencia $\bar{r}$ tiene una distribución asintótica normal con media $E(r)$ y desvío $\sigma / \sqrt{N}$ (siendo N el número de rachas que aparecen en la serie observada).

Fijando para $\bar{r}$ un intervalo de confianza del 90%, λ no debe superar el valor 1,64. En la Tabla III se ve que este valor es superado en Estancia La Argentina y Estancia El Maitén cuyos índices son .379 y .222. Para estas series entonces se rechaza la hipótesis de independencia. Las demás estaciones con más de 30 años de datos en las que no se rechaza la hipótesis de igualdad entre duraciones medias, presentan índice de ergodicidad inferior a 0.200.

2.2.5. Conclusiones sobre la independencia de series,

De acuerdo a las pruebas de χ^2 y Fisher a nivel de significación del 10% se rechazó la hipótesis de independencia interanual en las estaciones Dos Pozos y Estancia La Argentina, cuyos índices de ergodicidad son .340 y .379 respectivamente.

Tomando las series con más de 30 años de datos y usando la hipótesis de igualdad entre valor teórico para sucesos independientes y valor observado de la duración media de las rachas, dentro de un intervalo de confianza del 90% para el test de distribución normal, se rechazó

esta hipótesis en Estancia La Argentina y Estancia El Maitén; ésta última con índice igual a .222.-

Por lo tanto, generalizando, se rechazó la hipótesis de independencia para lugares que presenten un índice de ergodicidad superior a 0.200 aún cuando éste haya sido calculado con menos de 20 años, mientras tanto no se disponga de series más largas para dicho lugar.

Como esto ocurre en un buen número de estaciones, se elaboró un método para calcular el tiempo medio de recurrencia de las rachas prescindiendo de la hipótesis de independencia. Este método se describe en la sección siguiente.-

3. SUCESOS RECURRENTES LIGADOS A UN PROCESO DE MARKOV

Dado que no siempre se puede prescindir de la dependencia interanual de la precipitación, se procuró un marco teórico aplicable indistintamente al caso de dependencia ó independencia interanual.

Si se considera la racha como suceso recurrente, se define dicho suceso de la forma siguiente (Feller [2]) :

El atributo ϵ define un suceso recurrente si:

- a) Para que ϵ ocurra en el lugar n ésimo y en el lugar $(n+m)$ ésimo de la serie es necesario y suficiente que ϵ ocurra en el último lugar de las dos subsecuencias,

$$(E_1, E_2, \dots, E_n) \text{ y } (E_{n+1}, E_{n+2}, \dots, E_{n+m})$$

- b) Siempre que ocurre ésto, si lo expresamos en términos de probabilidades P , tenemos:

$$P \{E_1, \dots, E_{n+m}\} = P \{E_1, \dots, E_n\} \cdot P \{E_{n+1}, \dots, E_{n+m}\}$$

3.1. Sucesos independientes.

El tiempo medio de recurrencia $\mu(r,p)$ de la racha de duración r en una serie estacionaria de sucesos independientes de alternativa simple (p,q) está dado por [2] :

$$\mu(r,p) = \frac{1 - p^r}{qp} \quad (8)$$

$$q = 1-p$$

y la varianza de los tiempos de recurrencia:

$$\sigma^2(r,p) = \frac{1}{(qp^r)^2} - \frac{2r+1}{qp^r} - \frac{p}{q^2} \quad (9)$$

Se calcularon los valores de $\mu(r,p)$ y $\sigma(r,p)$ y se presentan en las Tablas IV y V.

El número $N_n(r)$ de rachas de longitud r observadas en una serie de n sucesos sigue una distribución aproximadamente normal con valor medio $E(N_n)$ y $\text{Var}(N_n)$:

$$E[N_n(r,p)] \approx \frac{n}{\mu(r,p)} \quad (10)$$

$$\text{Var}[N_n(r,p)] \approx \frac{n \sigma^2(r,p)}{\mu^3(r,p)} \quad (11)$$

Se tomaron las series de precipitaciones anuales y de los datos se estimó p a partir de la frecuencia relativa de casos inferiores ó iguales a la moda.

3.2. Aproximación a un proceso de Markov,

A continuación se hace la suposición de que se cumple un proceso de Markov y se amplía el modelo de Feller, suponiendo que cada suceso depende del suceso anterior,

La probabilidad de pasar del estado j al estado k en un paso es:

$$(1) \quad p_{jk} = p_{jk}$$

y en dos pasos:

$$(2) \quad p_{jk}^{(2)} = \sum_v p_{jv} p_{vk}$$

y por inducción en $(n+1)$ pasos:

$$p_{jk}^{(n+1)} = \sum_v p_{jv}^{(n)} p_{vk}^{(n)}$$

y en $(n+m)$ pasos:

$$p_{jk}^{(n+m)} = \sum_v p_{jv}^{(m)} p_{vk}^{(n)}$$

La letra v representa todos los estados intermedios posibles.

Se agrega la condición de estacionariedad que reducida a términos simples expresa que : " Dado un estado j en el tiempo m , ningún dato adicional concerniente a los estados del sistema antes del tiempo m puede alterar la probabilidad (condicional) del estado k en el tiempo n para $(n > m)$ " [2].

Así:

$$p_{jk}^{(n-m)} = P \{ E(n) = k / E(m) = j \}$$

$E(n)$ es el estado del sistema en el tiempo n .

$E(m)$ es el estado del sistema en el tiempo m .

$p_{jk}^{(n-m)}$ depende de la diferencia $(n-m)$, nó de $\underline{m}$ (Feller [2]).-

Considerando a la racha de duración r como suceso recurrente E_r , tenemos que u_n es la probabilidad de que E_r se dé en el n -ésimo año, ó sea, de que en el año n se complete la racha de longitud r . Y f_n es la probabilidad de que E_r se dé por primera vez al cabo de n años.

Las respectivas funciones generatrices son:

$$U_r(s) = \sum_{n=0}^{\infty} u_n(r) s^n \quad (12)$$

$$F_r(s) = \sum_{n=r}^{\infty} f_n(r) s^n \quad (13)$$

Por convención ; $f_0 = 0$; y también se hace la convención de que antes de comenzar la serie se acaba de completar la racha, es decir que : $u_0 = 1$

En base a la definición de sucesos recurrentes se demuestra [2] que:

$$F_r(s) = \frac{U_r(s) - 1}{U_r(s)} \quad (14)$$

Hasta aquí el razonamiento presentado por Feller [2].-

E_j es el suceso que pertenece a la racha, es decir que la precipitación de un año sería inferior ó igual al nivel fijado.

La probabilidad de que en los r años: $n, n-1, n-2, \dots, (n-r+1)$ se dé E_j es:

$$p_{jj}^{(n-r+1)} (p_{jj})^{r-1}$$

p_{jj} es la probabilidad de que el sistema se encuentre en el estado E_j dos años consecutivos. Por convención (en la teoría de los sucesos recurrentes) en el instante cero se dá el suceso recurrente: E_r y por lo tanto E_j ; de modo que $p_{jj}^{(n-r+1)}$ es la probabilidad de que partiendo de E_j (en el instante cero) vuelva el sistema al estado E_j al cabo de $(n-r+1)$ años.

Para que ocurra la racha según la definición de suceso recurrente y ésta se dé en el n ésimo año, se debe cumplir que:

$$u_n(r) = p_{jj}^{(n-r+1)} (p_{jj})^{r-1} u_{n-1}(r) p_{jj} \dots \dots u_{n-r+1}(r) (p_{jj})^{r-1} \quad (15)$$

ó sea:

$$u_n(r) + u_{n-1}(r) p_{jj} + \dots \dots + u_{n-r+1}(r) = p_{jj}^{(n-r+1)} (p_{jj})^{r-1} \quad (16)$$

Esta ecuación vale para $n \geq r$

siendo:

$$u_1 = u_2 = \dots \dots = u_{r-1} = 0 \quad ; \quad u_0 = 1$$

Siguiendo el método utilizado por Feller para una sucesión de Bernouilli, se multiplicó (16) por s^n y sumando para $n=r, r+1,$

$r+2$ queda la expresión;

$$\{u(s)-1\} \{1+p_{jj}s + \dots p_{jj}^{r-1} s^{r-1}\} = p_{jj}^{(n-r+1)} \cdot (p_{jj})^{r-1} \cdot [s^r + s^{r+1} + \dots]$$

Luego:

$$\{U_r(s)-1\} \cdot \frac{1-(p_{jj}s)^r}{1-p_{jj}s} = \frac{p_{jj}^{(n-r+1)} (p_{jj})^{r-1} s^r}{1-s} \quad (17)$$

El valor medio y la varianza de los tiempos de recurrencia están dados por las relaciones [1] :

$$E(r) = \left. \frac{\partial Fr}{\partial s} \right|_{s=1} \quad (18)$$

$$Var(r) = \left. \frac{\partial^2 Fr}{\partial s^2} \right|_{s=1} + \left. \frac{\partial Fr}{\partial s} \right|_{s=1} - \left(\left. \frac{\partial Fr}{\partial s} \right|_{s=1} \right)^2 \quad (19)$$

Usando la relación $Fr(s) = \frac{U_r(s) - 1}{U_r(s)}$ y reemplazando en

(15) y calculando las derivadas ; se llegó a que:

$$E(r) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 - (p_{jj})^r}{p_{jj}^{(n-r+1)} (p_{jj})^{r-1} q_{jj}} \quad (20)$$

$$Var(r) = \frac{C \{q_{jj} [1-2r-(p_{jj})^r] + p_{jj} [2-2(p_{jj})^r + (p_{jj})^{2r-1}] + 1-2(p_{jj})^r\}}{C^2 (q_{jj})^2} \quad (21)$$

donde $q_{jj} = 1 - p_{jj}$

$$y C = \lim_{n \rightarrow \infty} p_{jj}^{(n)} (p_{jj})^{r-1}$$

Al igual que en (10) y (11) el número de rachas esperadas en n años y su varianza es:

$$E [N (r)] \approx \frac{n}{E(r)} \quad (22)$$

$$\text{Var} [N_n (r)] \approx \frac{n \text{Var} (r)}{E^3 (r)} \quad (23)$$

Las expresiones (20) y (21) se reducen a (8) y (9) en el caso en que los sucesos sean independientes, en este caso para todo n :

$$p_{jj}^{(n)} = p_{jj} = p_j$$

El valor $\lim_{n \rightarrow \infty} p_{jj}^{(n)} = p_j$ es la probabilidad ergódica del suceso E_j que integra la racha.

4. RESULTADOS

4.1. COMPARACION DE LOS RESULTADOS CON Y SIN LA HIPOTESIS DE INDEPENDENCIA INTERANUAL.

Con los dos métodos descriptos en 3.1. y 3.2. se calcularon por separado las frecuencias esperadas de rachas de distinta duración para el período que abarca los años de observación,

La Tabla VI muestra para las distintas duraciones de rachas R de precipitación menor ó igual a la moda, las frecuencias observadas, el valor esperado y el desvío standard de la distribución de frecuencias calculadas con ambos métodos,

Los valores de p_j y de p_{jj} introducidos en las ecuaciones de la sección anterior se calcularon a partir de las frecuencias relativas observadas en las series,

Las tres estaciones de la Tabla VI están tomadas de entre las que tienen más de 20 años de datos, y además de éstas, se eligieron las que presentan mayor apartamiento entre valor esperado y valor observado, usando el método que supone independencia interanual,

Están señalados con asterisco los casos en que:

$$| \text{frecuencia observada} - \text{frecuencia esperada} | > \sigma$$

Se ve que en estas estaciones se logra una mejor aproximación con el segundo método (descripto en 3.2.),

Para las series de más de 20 años se calculó la duración media de las rachas observadas y su estimación por ambos métodos,

Se halló el valor absoluto del desvío relativo:

$$D = \frac{\text{valor medio esperado} - \text{valor medio observado}}{\text{valor medio observado}}$$

Para cada serie, la diferencia entre D calculado con el primer método menos el D calculado con el segundo método, dá una medida de la mejora del segundo método con respecto al primero (en el caso de diferencia positiva, ya que implica que disminuye el

valor de D con el segundo método).

La diferencia mencionada es presentada en la Figura 1, en función del índice de ergodicidad, para rachas referidas al nivel moda para estaciones con más de 20 años de datos (también se incluyó la estación Telsen que posee 17 años).

Se ve que en general, el segundo método conviene a los lugares con índice mayor a 0,200, ya que en la mayoría de estos casos la diferencia es marcadamente positiva.

Para el caso de las rachas negativas con respecto al nivel 150mm, la Figura 2 muestra en general mejores resultados al usar el segundo método. En especial, para las estaciones que tienen índice de ergodicidad mayor a 0,200, se observa una significativa mejora en el cálculo de la duración media de las rachas. En realidad, los resultados de las ecuaciones a que se llegó en 3.a. (ec.(22) y (23)), deberían dar una mejora con respecto a las ecuaciones de 3.1. (ec.(10) y (11)) ó a lo sumo deberían coincidir en el caso de independencia.

En la práctica se encontró que en muchos de los casos en que se supuso que existe independencia, los resultados empeoraron con el segundo método. Esto se debe a errores en la estimación de la probabilidad condicional, ya que el número de casos con que se puede estimar la frecuencia condicional p_{jj} es menor.

Por eso, excepto para valores del índice de ergodicidad superior a 0,200 conviene usar el primer método.

4.2. USO DEL MAPA DEL PARAMETRO GAMMA.

4.2.1. Nivel moda.

Suponiendo independencia interanual se usaron las ecuaciones (10) y (11) para $n=100$ y para distintos valores de r , y se calculó el valor esperado y el desvío standard

de las frecuencias de rachas de duración r en un período de 100 años,

Por un lado se trabajó con valores de p hallados a partir de la serie de datos y por otra parte, p se halló a partir de la función de probabilidad de precipitación de cada estación [5], cuyos parámetros fueron calculados de la serie de observaciones y con el método de máxima verosimilitud,

La precipitación anual en la zona árida de Chubut se ajusta a una distribución de probabilidad Pearson tipo III,

La probabilidad p para el nivel moda sólo es función de Gamma:

$$\text{Prob} (pp \leq Mo) = 1 - \left[2^{1/8} \sqrt{\gamma} \int_x^{\infty} e^{-t/2} t^{\gamma-1} dt \right] \quad (24)$$

$$\text{en donde } x = \frac{28}{pp} Mo$$

$\overline{pp}$ = precipitación anual media; y siendo:

$$Mo = \left(\frac{\gamma-1}{\gamma} \right) \overline{pp}$$

el límite de integración pasa a depender sólo de γ ;

$$\text{y Prob} (pp \leq Mo) = F(\gamma)$$

Y al usar el valor de $F(\gamma)$ en lugar de p en (8), (9), (10) y (11), se pueden estimar $E(N)$ y $[\text{Var}(N)]^{1/2}$ para los lugares en que se supone que existe independencia inter-

anual,

Los valores de la integral que figura en (24) se obtuvieron de tablas [6].

Algunos resultados para distintos valores de γ y r figuran en la Tabla VII.

Usando la Tabla VII y el mapa de Gamma, se trazó el mapa de isolíneas de frecuencia esperada de rachas de dos años en una serie de 100 años (Figura 3). Se sombreó el área en la cual es aconsejable no suponer independencia interanual, que comprende los lugares con series cuyo índice de ergodicidad es mayor a 0.200. Para esas series se calcularon los valores de $E(N)$ y $\sigma(N)$ para $r=2$, usando el método descrito en 3.2. y se ajustó el trazado de las isolíneas a estos valores.

Este procedimiento se generalizó para los demás valores de r , es decir, que se usó la Tabla VII en casos de independencia y para las zonas en donde el índice supera el valor 0.200. Los valores de $E(N)$ y $\sigma(N)$ se calcularon con el método descrito en 3.2., como se explica más adelante.

Todos los valores de $E(N)$ se pueden convertir a frecuencias esperadas de rachas convencionales mediante un algoritmo sencillo, tal como se mencionó en la Introducción.

Los resultados coinciden, en el caso de independencia, con los que resultan de aplicar la ecuación de Mood [1], que da el número esperado de rachas convencionales de duración r , $E[k(r)]$ en una sucesión de N años para un proceso estacionario e independiente ;

$$E[k(r)] = p^r q [(N-r-1)q+2] \quad p+q = 1$$

p es la probabilidad del suceso que pertenece a la racha,

La Tabla VIII muestra los valores de $E[k(r)]$ para distintos valores de γ y de r para rachas convencionales.

Las rachas convencionales esperadas en el caso de dependencia se presentan en la Tabla IX, y se obtuvieron, no ya con la ecuación de Mood, sino después de aplicar el algoritmo mencionado antes, a los valores de $E(N)$ calculados con el método descrito en 3.2.1.-

4.2.2. Nivel 150 mm.

Para cualquier otro nivel además de la moda, se puede estimar el valor de p , a partir de la función de probabilidad.

Esto se hizo para el nivel 150mm. en base al mapa de precipitación media anual [7] y al mapa de Gamma [5]. Se trazó el mapa de probabilidad de precipitación inferior a 150 mm. en toda la zona árida de Chubut (Fig. IV).-

Al igual que para el nivel moda, se sombreó la zona con índice de ergodicidad (calculado para el nivel 150mm.), superior a 0.200.

En la zona sin sombrear se supuso que se cumple la hipótesis de independencia y se calculó el tiempo medio de recurrencia y la varianza de rachas negativas respecto del nivel fijado usando las ecuaciones (8) y (9).

Las Tablas IV y V dan los valores del tiempo medio de recurrencia y del desvío standard para distintos valores de p que se pueden tomar del mapa y para distintos valores de r .

También para este nivel coinciden los resultados de la ecuación de Mood, con los de convertir las frecuencias esperadas de rachas como suceso recurrente a rachas con-

5. CONCLUSIONES

En términos generales y para toda la zona árida, para rachas negativas con respecto a la moda, que responden a la definición convencional, podemos esperar en 100 años:

- de 5 a 7 rachas de 2 años de duración;
- de 1 a 3 rachas de 3 años de duración;
- de 1 racha de 4 años de duración;
- valores que oscilan entre 0 y 1 para 5 años de duración
- y prácticamente ninguna racha de 6 años de duración.

Esto equivale a esperar que como término medio ocurra una racha negativa con respecto al nivel moda, de dos ó más años de duración, aproximadamente una vez cada 10 años .

TABLA I

SERIES DE PRECIPITACION ANUAL UTILIZADAS

ESTACION	LATITUD	LONGITUD	AÑOS	AUTOCORRELAC.	σ
Comodoro Rivadavia	45° 47'	67° 30'	40	,0492	,2437
Trelew	43° 14'	65° 18'	70	,0343	,1857
Sarmiento	45° 35'	69° 05'	54	,0215	,2227
La Mimosa	43° 27'	70° 50'	36	,0216	,2087
La Súnica	43° 20'	70° 59'	36	,0814	,2312
Leleque	42° 25'	71° 03'	44	,0974	,2015
Esquel	42° 54'	71° 21'	44	,2096	,2019
Ea. San Jorge	44° 42'	65° 58'	50	,0826	,2302
Ea. La Berna	44° 19'	65° 58'	58	,1554	,2198
El Maitén	42° 06'	71° 10'	47	,2813	,2100
El Maitén(Cholila)	42° 19'	71° 20'	47	,0053	,2659
Ea. San Andrés	42° 53'	64° 45'	40	,1766	,2563
Ea. La Argentina	42° 20'	64° 37'	38	,2664	,2302
Ea. Don Guillermo	44° 27'	70° 28'	17	,3887	,2941
Ea. La Isabel	44° 50'	66° 08'	49	,0802	,2274
Camaronés	44° 49'	65° 42'	13	,3145	,2918
Ea. Shaman	44° 25'	70° 47'	25	,2527	,2656
Valle Huemules	43° 57'	71° 32'	15	,0174	,2928
Ea. La Pepita	44° 55'	70° 58'	13	,0386	,3567
Vuelta del R. Senguer	45° 57'	69° 24'	16	,2516	,3372
Gualjaina	42° 42'	70° 32'	19	,3015	,3121
Ea. La Laurita	44° 47'	70° 10'	12	,1675	,3948
Gastre	42° 18'	69° 17'	11	,0815	,3556
Río Pico	44° 13'	71° 22'	18	,0471	,3206
Río Mayo	45° 25'	70° 16'	14	,3451	,3331
Alto Las Plumas	43° 39'	67° 11'	25	,0522	,3945
Boca de la Zanja	43° 27'	65° 57'	25	,1392	,3589
Dolavon	43° 18'	65° 43'	22	,0323	,3883
Dos Pozos	43° 56'	65° 25'	24	,2722	,2419
Escalante	45° 45'	67° 48'	16	,0868	,3642
Km. 163	45° 47'	61° 45'	30	,2045	,2858
Malaspina	45° 68'	66° 54'	16	,1815	,3310
Pampa del Castillo	45° 47'	68° 04'	17	,1857	,2982
Pto. Madryn	42° 47'	65° 01'	18	,0856	,3130
Telsen	42° 27'	66° 58'	18	,4720	,3088
Pampa de Salamanca	45° 24'	67° 27'	15	,2901	,3041
Ea. La Adela	42° 33'	64° 18'	65	,0203	,1908
Paso de Indios	43° 49'	68° 53'	15	,4774	,3739
Gaiman	43° 17'	65° 29'	29	,0460	,3563
Gan-Gan	42° 33'	68° 17'	15	,2972	,3787
Faro Pta. Delgada	42° 16'	63° 38'	26	,1591	,2985
Ea. Fofocahuel	42° 20'	70° 40'	26	,0112	,2320

T A B L A I (continuación)

<u>ESTACION</u>	<u>LATITUD</u>	<u>LONGITUD</u>	<u>AÑOS</u>	<u>AUTOCORRELAC.</u>	<u>σ</u>
Ea. La Aurora	45° 07'	69°40'	17	.1273	.3881
Ea. Sa. Cuadrada	44° 42'	67°45'	17	.0679	.3087
Ea. Lag. Palacios	44° 45'	69°05'	16	.2207	.3099
Ea. La Madreselva	44° 13'	67°10'	14	.0119	.3049
Ea. Lag. Grande	45° 12'	67°08'	14	.1312	.3744
Ea. La Lochiel	44° 45'	66°15'	74	.1379	.1720
Ea. Aguada Perez	44° 20'	65°50'	44	.0763	.2074
Ea. La Nueva	44° 50'	66°30'	39	.1284	.2506
Ea. Santo Domingo	43° 56'	65°43'	13	.0075	.3279
Ea. La Corona	42° 40'	63°50'	22	.0069	.3138
Ea. La Teutonia	44° 23'	65°32'	16	.1787	.3391
Ea. Don Pablo	45° 05'	67°20'	24	.1326	.3173
Ea. La Maciega	44° 28'	65°37'	16	.2373	.3477
Ea. San Jorge	44° 42'	65°58'	14	.0021	.3787

* * *

T A B L A I I

RESULTADOS DE LOS VALORES DE LOS ESTADISTICOS χ^2 Y p (NIVEL DE SIGNIFICACION) PARA LAS PRUEBAS DE χ^2 Y FISHER RESPECTIVAMENTE, PARA TABLAS DE CONTINGENCIA DE 2 x 2,

<u>ESTACION</u>	<u>p</u>	<u>χ^2</u>	<u>E</u>	<u>N° AÑOS</u>
Ea. San Andrés		0,59	,122	40
Ea. La Argentina		3,56 *	,379	38
Dolavon		1,05	,136	22
Comodoro Rivadavia		0,61	,129	40
Trelew		0,58	,004	70
Sarmiento		0,02	,024	54
El Maitén (Cholila)		0,16	,076	47
Ea. El Maitén		2,20	,222	47
Ea. La Súnica		0,00	,079	36
Ea. La Mimosa		0,48	,119	36
Ea. La Berna		0,00	,001	58
Ea. La Adela		0,00	,006	65
Ea. La Isabel		0,87	,136	49
Ea. San Jorge		1,36	,167	50
Ea. La Lochiel		0,55	,087	74
Ea. Ag. Pérez		0,24	,104	44
Ea. La Nueva		0,01	,017	39
Ea. Leleque		0,15	,086	44
Río Pico (2° período)		1,38	,231	26
Km.163		1,14	,237	30
Pto. Madryn		0,36	,179	18
Gaiman		0,00	,011	29
Faro Punta Delgada		1,32	,233	26
Ea. Don Pablo		0,62	,166	24
Ea. Fofocahuel		0,87	,100	26
Ea. Don Guillermo	,582		,067	17
Vuelta Río Senguer	,405			
Gualjaina	,220		,299	19
Ea. La Laurita	,757		,067	12
Río Mayo	,208		,381	14
Alto Las Plumas	,646		,007	25
Boca de la Zanja	,500		,085	25
Dos Pozos	,070 *		,340	24
Gan - Gan	,702		,000	15
Ea. La Aurora	,471		,083	17
Ea. Sierra Cuadrada	,157		,380	17
Ea. Laguna Palacios	,252		,278	16

Los valores con asterisco corresponden a los casos en que se rechaza la hipótesis a nivel de significación del 10 %,-

T A B L A I I I .

ESTACION	$E(r)$	$\sigma(r)$	$\bar{r}$	λ	E
Trelew	2.00	1.37	1.89	.341	.004
Comodoro Rivadavia	2.00	1.67	1.67	.684	.129
Sarmiento	1.92	1.33	1.86	.169	.024
Ea.El Maitén (Cholila)	2.13	1.55	2.50	.755	.076
Ea.El Maitén	1.39	0.73	2.08	3.274*	.222
Ea. La Mimosa	1.55	1.55	2.11	1.022	.119
Ea. La Súnica	1.79	1.19	2.00	0.499	.079
Ea. Leleque	1.69	1.08	1.80	0.288	.086
Ea. La Berna	1.52	0.87	1.54	0.083	.001
Ea. La Adela	1.67	1.05	1.63	0.152	.006
Ea. La Isabel	1.75	1.16	1.50	0.806	.136
Ea. San Jorge	1.73	1.11	1.50	0.775	.167
Ea. La Argentina	1.59	0.96	1.07	1.876*	.379
Ea. San Andrés	2.00	1.41	2.00	0.000	.122
Ea. La Lochiel	1.82	1.22	1.65	0.638	.087
Ea. Aguada Perez	1.56	0.94	1.44	0.383	.104
Ea. La Nueva	2.04	1.46	1.67	0.878	.017

Los valores con asterisco son los que superan los valores de λ para un intervalo de confianza del 90% según la distribución normal.-

* * *

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

[illegible]

T A B L A V

RAIZ CUADRADA DE LA VARIANZA DE LOS
TIEMPOS MEDIOS DE RECORRENCIA

CENPAT																	
CONICET																	
CONICET																	
* R*	* 2	* 3	* 4	* 5	* 6	* 7	* 8	* 9	* 10								
* P	* 2	* 3	* 4	* 5	* 6	* 7	* 8	* 9	* 10								
* 2	*. 23E+04*	*. 13E+06*	*. 64E+07*	*. 32E+09*	*. 16E+11*	*. 96E+12*	*. 48E+14*	*. 28E+16*	*. 18E+17*								
* 4	*. 63E+03*	*. 16E+05*	*. 41E+06*	*. 10E+08*	*. 25E+09*	*. 64E+10*	*. 16E+12*	*. 40E+13*	*. 99E+14*								
* 6	*. 29E+03*	*. 49E+04*	*. 82E+05*	*. 14E+07*	*. 23E+08*	*. 36E+09*	*. 63E+10*	*. 11E+12*	*. 18E+13*								
* 8	*. 17E+03*	*. 21E+04*	*. 27E+05*	*. 33E+06*	*. 41E+07*	*. 52E+08*	*. 65E+09*	*. 81E+10*	*. 10E+12*								
*10	*. 11E+03*	*. 11E+04*	*. 11E+05*	*. 11E+06*	*. 11E+07*	*. 11E+08*	*. 11E+09*	*. 11E+10*	*. 11E+11*								
*12	*. 76E+02*	*. 63E+03*	*. 55E+04*	*. 46E+05*	*. 38E+06*	*. 32E+07*	*. 26E+08*	*. 22E+09*	*. 18E+10*								
*14	*. 57E+02*	*. 42E+03*	*. 36E+04*	*. 22E+05*	*. 15E+06*	*. 11E+07*	*. 79E+07*	*. 56E+08*	*. 40E+09*								
*16	*. 44E+02*	*. 29E+03*	*. 18E+04*	*. 11E+05*	*. 71E+05*	*. 44E+06*	*. 28E+07*	*. 17E+08*	*. 11E+09*								
*18	*. 38E+02*	*. 21E+03*	*. 12E+04*	*. 64E+04*	*. 36E+05*	*. 20E+06*	*. 11E+07*	*. 61E+07*	*. 34E+08*								
*20	*. 23E+02*	*. 15E+03*	*. 78E+03*	*. 39E+04*	*. 20E+05*	*. 58E+05*	*. 49E+06*	*. 24E+07*	*. 12E+08*								
*22	*. 24E+02*	*. 12E+03*	*. 54E+03*	*. 23E+04*	*. 11E+05*	*. 51E+05*	*. 23E+06*	*. 11E+07*	*. 48E+07*								
*24	*. 26E+02*	*. 92E+02*	*. 35E+03*	*. 16E+04*	*. 69E+04*	*. 29E+05*	*. 12E+06*	*. 58E+06*	*. 21E+07*								
*26	*. 17E+02*	*. 73E+02*	*. 29E+03*	*. 11E+04*	*. 44E+04*	*. 17E+05*	*. 65E+05*	*. 25E+06*	*. 96E+06*								
*28	*. 15E+02*	*. 68E+02*	*. 12E+03*	*. 89E+03*	*. 29E+04*	*. 13E+05*	*. 37E+05*	*. 13E+06*	*. 47E+06*								
*30	*. 13E+02*	*. 49E+02*	*. 17E+03*	*. 56E+03*	*. 28E+04*	*. 65E+04*	*. 22E+05*	*. 73E+05*	*. 24E+06*								
*32	*. 12E+02*	*. 41E+02*	*. 14E+03*	*. 43E+03*	*. 14E+04*	*. 43E+04*	*. 13E+05*	*. 42E+05*	*. 13E+06*								
*34	*. 10E+02*	*. 35E+02*	*. 11E+03*	*. 33E+03*	*. 97E+03*	*. 25E+04*	*. 89E+04*	*. 25E+05*	*. 73E+05*								
*36	*. 52E+01*	*. 38E+02*	*. 88E+02*	*. 25E+03*	*. 71E+03*	*. 20E+04*	*. 53E+04*	*. 15E+05*	*. 43E+05*								
*38	*. 82E+01*	*. 26E+02*	*. 73E+02*	*. 28E+03*	*. 53E+03*	*. 14E+04*	*. 37E+04*	*. 58E+04*	*. 26E+05*								
*40	*. 74E+01*	*. 22E+02*	*. 60E+02*	*. 16E+03*	*. 40E+03*	*. 10E+04*	*. 25E+04*	*. 63E+04*	*. 16E+05*								
*42	*. 67E+01*	*. 19E+02*	*. 51E+02*	*. 13E+03*	*. 31E+03*	*. 74E+03*	*. 16E+04*	*. 42E+04*	*. 13E+05*								
*44	*. 61E+01*	*. 17E+02*	*. 43E+02*	*. 18E+03*	*. 24E+03*	*. 53E+03*	*. 13E+04*	*. 29E+04*	*. 66E+04*								
*46	*. 56E+01*	*. 15E+02*	*. 37E+02*	*. 84E+02*	*. 15E+03*	*. 42E+03*	*. 52E+03*	*. 28E+04*	*. 44E+04*								
*48	*. 51E+01*	*. 13E+02*	*. 31E+02*	*. 70E+02*	*. 15E+03*	*. 32E+03*	*. 67E+03*	*. 14E+04*	*. 38E+04*								
*50	*. 47E+01*	*. 12E+02*	*. 27E+02*	*. 58E+02*	*. 12E+03*	*. 25E+03*	*. 50E+03*	*. 10E+04*	*. 28E+04*								
*52	*. 43E+01*	*. 11E+02*	*. 24E+02*	*. 49E+02*	*. 55E+02*	*. 19E+03*	*. 38E+03*	*. 74E+03*	*. 14E+04*								
*54	*. 40E+01*	*. 56E+01*	*. 21E+02*	*. 41E+02*	*. 81E+02*	*. 19E+03*	*. 25E+03*	*. 55E+03*	*. 10E+04*								
*56	*. 37E+01*	*. 86E+01*	*. 16E+02*	*. 35E+02*	*. 67E+02*	*. 12E+03*	*. 23E+03*	*. 41E+03*	*. 74E+03*								
*58	*. 34E+01*	*. 76E+01*	*. 16E+02*	*. 38E+02*	*. 56E+02*	*. 10E+03*	*. 18E+03*	*. 31E+03*	*. 54E+03*								
*60	*. 31E+01*	*. 70E+01*	*. 14E+02*	*. 26E+02*	*. 47E+02*	*. 81E+02*	*. 14E+03*	*. 24E+03*	*. 43E+03*								
*62	*. 29E+01*	*. 64E+01*	*. 12E+02*	*. 22E+02*	*. 39E+02*	*. 67E+02*	*. 11E+03*	*. 18E+03*	*. 30E+03*								
*64	*. 27E+01*	*. 58E+01*	*. 11E+02*	*. 13E+02*	*. 33E+02*	*. 53E+02*	*. 96E+02*	*. 14E+03*	*. 23E+03*								
*66	*. 25E+01*	*. 52E+01*	*. 97E+01*	*. 17E+02*	*. 26E+02*	*. 46E+02*	*. 73E+02*	*. 11E+03*	*. 18E+03*								
*68	*. 23E+01*	*. 48E+01*	*. 87E+01*	*. 15E+02*	*. 24E+02*	*. 36E+02*	*. 59E+02*	*. 96E+02*	*. 14E+03*								
*70	*. 21E+01*	*. 43E+01*	*. 77E+01*	*. 13E+02*	*. 21E+02*	*. 32E+02*	*. 49E+02*	*. 72E+02*	*. 11E+03*								
*72	*. 20E+01*	*. 39E+01*	*. 69E+01*	*. 11E+02*	*. 18E+02*	*. 27E+02*	*. 46E+02*	*. 56E+02*	*. 84E+02*								
*74	*. 18E+01*	*. 36E+01*	*. 62E+01*	*. 59E+01*	*. 15E+02*	*. 23E+02*	*. 33E+02*	*. 47E+02*	*. 67E+02*								
*76	*. 17E+01*	*. 32E+01*	*. 53E+01*	*. 87E+01*	*. 13E+02*	*. 19E+02*	*. 27E+02*	*. 38E+02*	*. 53E+02*								
*78	*. 15E+01*	*. 29E+01*	*. 49E+01*	*. 77E+01*	*. 11E+02*	*. 16E+02*	*. 23E+02*	*. 31E+02*	*. 43E+02*								
*80	*. 14E+01*	*. 26E+01*	*. 44E+01*	*. 67E+01*	*. 58E+01*	*. 14E+02*	*. 13E+02*	*. 26E+02*	*. 34E+02*								
*82	*. 13E+01*	*. 24E+01*	*. 39E+01*	*. 59E+01*	*. 84E+01*	*. 12E+02*	*. 16E+02*	*. 21E+02*	*. 28E+02*								
*84	*. 12E+01*	*. 21E+01*	*. 34E+01*	*. 51E+01*	*. 72E+01*	*. 99E+01*	*. 13E+02*	*. 17E+02*	*. 22E+02*								
*86	*. 11E+01*	*. 19E+01*	*. 30E+01*	*. 44E+01*	*. 62E+01*	*. 83E+01*	*. 11E+02*	*. 14E+02*	*. 18E+02*								
*88	*. 94E+00*	*. 17E+01*	*. 26E+01*	*. 36E+01*	*. 53E+01*	*. 78E+01*	*. 96E+01*	*. 11E+02*	*. 14E+02*								
*90	*. 83E+00*	*. 15E+01*	*. 23E+01*	*. 32E+01*	*. 44E+01*	*. 58E+01*	*. 74E+01*	*. 92E+01*	*. 11E+02*								
*92	*. 72E+00*	*. 13E+01*	*. 19E+01*	*. 27E+01*	*. 36E+01*	*. 47E+01*	*. 63E+01*	*. 74E+01*	*. 89E+01*								
*94	*. 65E+00*	*. 10E+01*	*. 16E+01*	*. 22E+01*	*. 30E+01*	*. 37E+01*	*. 47E+01*	*. 57E+01*	*. 68E+01*								
*96	*. 46E+00*	*. 81E+00*	*. 12E+01*	*. 17E+01*	*. 23E+01*	*. 36E+01*	*. 44E+01*	*. 56E+01*	*. 69E+01*								
*98	*. 33E+00*	*. 58E+00*	*. 81E+00*	*. 11E+01*	*. 14E+01*	*. 16E+01*	*. 22E+01*	*. 36E+01*	*. 31E+01*								

TABLA VI

DOS POZOS

R	Frec. Obs.	Frec. Esp. (1)	σ (1)	Frec. Esp. (2)	σ (2)
2	3	4.00	1.61	3.00	1.44
3	0	1.71 *	1.12	0.92 *	.88
4	0	.80	.81	.30	.53
5	0	.387	.58	.10	.31
6	0	.190	.42	.03	.18
7	0	.094	.30	.01	.10
8	0	.05	.21	.00	.06
9	0	.02	.15	.00	.03
10	0	.01	.11	.00	.02

LA ARGENTINA (BIEDMA)

R	Frec. Obs.	Frec. Esp. (1)	σ (1)	Frec. Esp. (2)	σ (2)
2	2	3.769 *	1.693	1.80	1.25
3	0	1.263 *	1.044	.25	.49
4	0	.450	.647	.04	.19
5	0	.164	.398	.01	.07
6	0	.060	.243	.00	.03
7	0	.022	.148	.00	.01
8	0	.008	.090	.00	.00
9	0	.003	.055	.00	.00
10	0	.001	.033	.00	.00

EL MAITEN

R	Frec. Obs.	Frec. Esp. (1)	σ (1)	Frec. Esp. (2)	σ (2)
2	1	2.82 *	1.545	1.09	1.01
3	0	.735	.828	.08	.29
4	0	.200	.441	.01	.08
5	0	.055	.234	.00	.02
6	0	.015	.123	.00	.01
7	0	.004	.065	.00	.00
8	0	.001	.034	.00	.00
9	0	.000	.018	.00	.00
10	0	.000	.009	.00	.00

(1) Método que supone independencia interanual.

(2) Método que supone dependencia ligada a un proceso de Markov.

T A B L A V I I

NIVEL MODA - RACHA COMO SUCESO RECURRENTE

NUMERO DE RACHAS ESPERADAS EN 100 AÑOS.

r \ γ	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	20
2	9,1	10,2	10,4	10,9	11,4	11,9	11,9	12,5	12,5	13	14,5
3	2,8	3,33	3,6	3,8	4,2	4,3	4,3	4,5	4,5	4,9	5,9
4	1,04	1,19	1,31	1,4	1,6	1,6	1,6	1,85	1,85	2,0	2,5
5	0,33	0,45	0,5	0,55	0,7	0,7	0,7	0,76	0,76	0,8	1,14

DESVIO STANDARD DE LAS RACHAS EN UN PERIODO DE 100 AÑOS.

r \ γ	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	20
2	2,6	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1
3	1,6	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1
4	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5
5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	1,0

FRECUENCIA ESPERADA EN CEN EN LOS PAIS

MODAS CONVENCIONALES SEGUN LA EDUCACION DE MODOS

NIVEL MODA

TABLA VIII

r \ y	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	5.837	1.895	.571	.152	.265	.622	.687	.632	.631
5	5.315	1.894	.673	.241	.266	.631	.611	.664	.631
6	5.363	2.093	.787	.236	.111	.642	.616	.666	.632
8	5.775	2.289	.986	.335	.142	.656	.622	.633	.633
1	5.961	2.479	1.831	.428	.178	.674	.631	.613	.635
15	6.196	2.668	1.136	.535	.228	.656	.642	.616	.636
20	6.214	2.836	1.289	.387	.267	.122	.653	.625	.611

T A B L A IX

NUMERO DE RACHAS CONVENCIONALES ESPERADAS EN 100 AÑOS (NIVEL MODA) CALCULADAS EN BASE AL METODO
DESCRITO EN 3.2. PARA SUCESOS DEPENDIENTES,

Est. r	Ea.El Maitén (47 años)	Ea,La Argentina (38 años)	Dos Pozos (24 años)	KM, 163 (30 años)	Telsen (18 años)	Paso de Indios (15 años)	Sa,Cuadrada (17 años)
2	5	6	7	5	7	5	6
3	1	1	1	2	3	1	1
4	1	0	1	1	0	0	1
5	0	0	0	1	1	0	0
6	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0

TABLA X

FRECUENCIA ESPERADA EN CIENTOS ANOS PARA RACHAS CONVENCIONALES SEGUN LA ECUACION DE MOOD

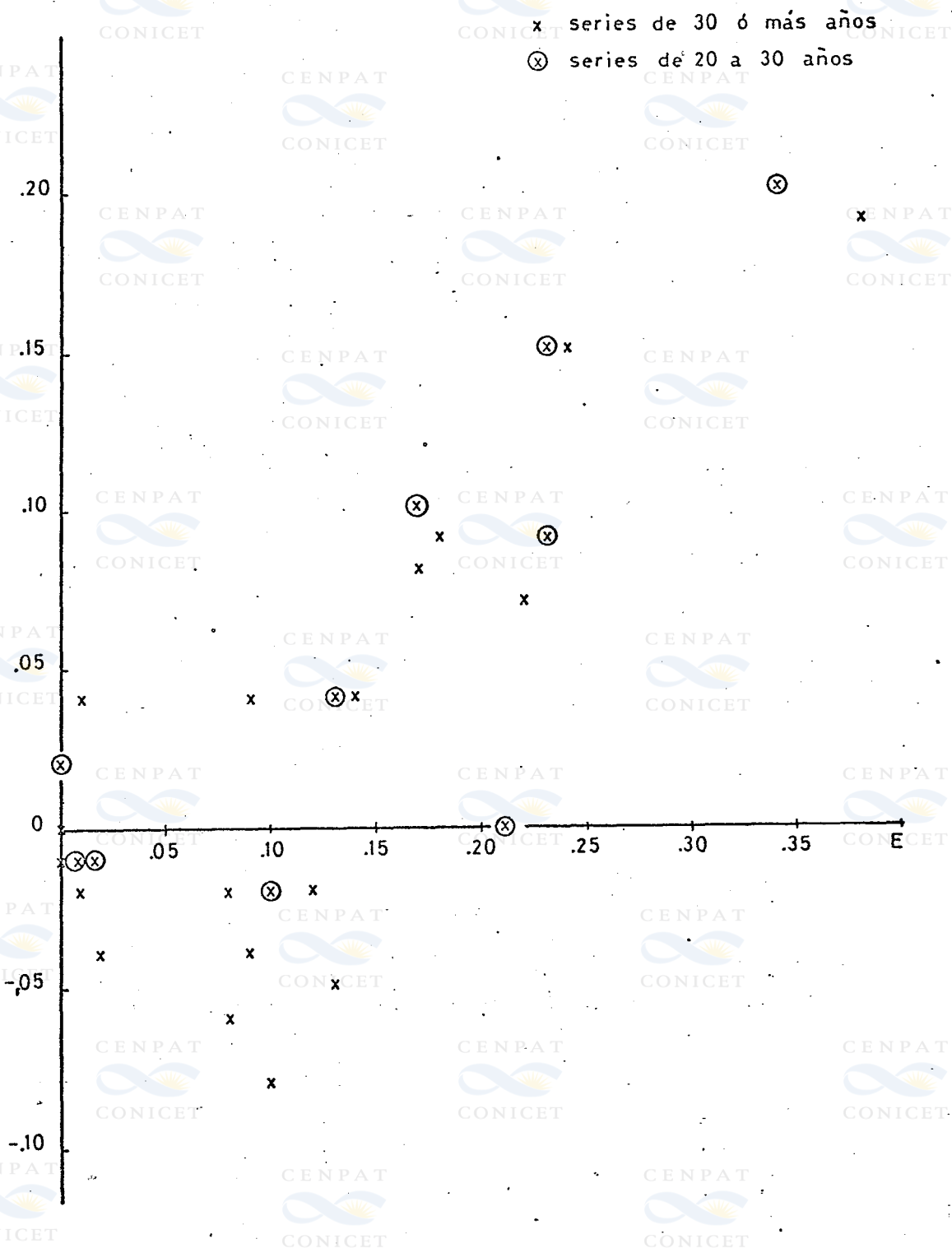
$\begin{matrix} r \\ p \end{matrix}$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
.10	.834	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
.20	2.547	.504	.100	.020	.004	.001	.000	.000	.000
.30	4.404	1.308	.308	.115	.034	.010	.003	.001	.000
.40	5.779	2.289	.906	.359	.142	.056	.022	.009	.003
.50	6.312	3.125	1.547	.766	.379	.187	.093	.046	.023
.60	5.875	3.491	2.074	1.232	.732	.434	.258	.153	.091
.70	4.572	3.169	2.197	1.523	1.055	.731	.507	.351	.243
.80	2.739	2.171	1.720	1.363	1.000	.856	.678	.537	.425
.90	.948	.846	.755	.673	.601	.536	.470	.426	.380

$\begin{matrix} r \\ p \end{matrix}$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
.10	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
.20	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
.30	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
.40	.001	.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
.50	.011	.006	.003	.001	.001	.000	.000	.000	.000	.000
.60	.054	.032	.019	.011	.007	.004	.002	.001	.001	.000
.70	.168	.117	.061	.056	.039	.027	.019	.012	.009	.006
.80	.337	.267	.211	.167	.132	.103	.083	.066	.052	.041
.90	.339	.302	.269	.240	.214	.191	.170	.152	.135	.120

T A B L A X I

FRECUENCIAS ESPERADAS EN 100 AÑOS DE RACHAS CONVENCIONALES (NIVEL 150mm) SUPONIENDO DEPENDENCIA INTERANUAL.

[illegible]



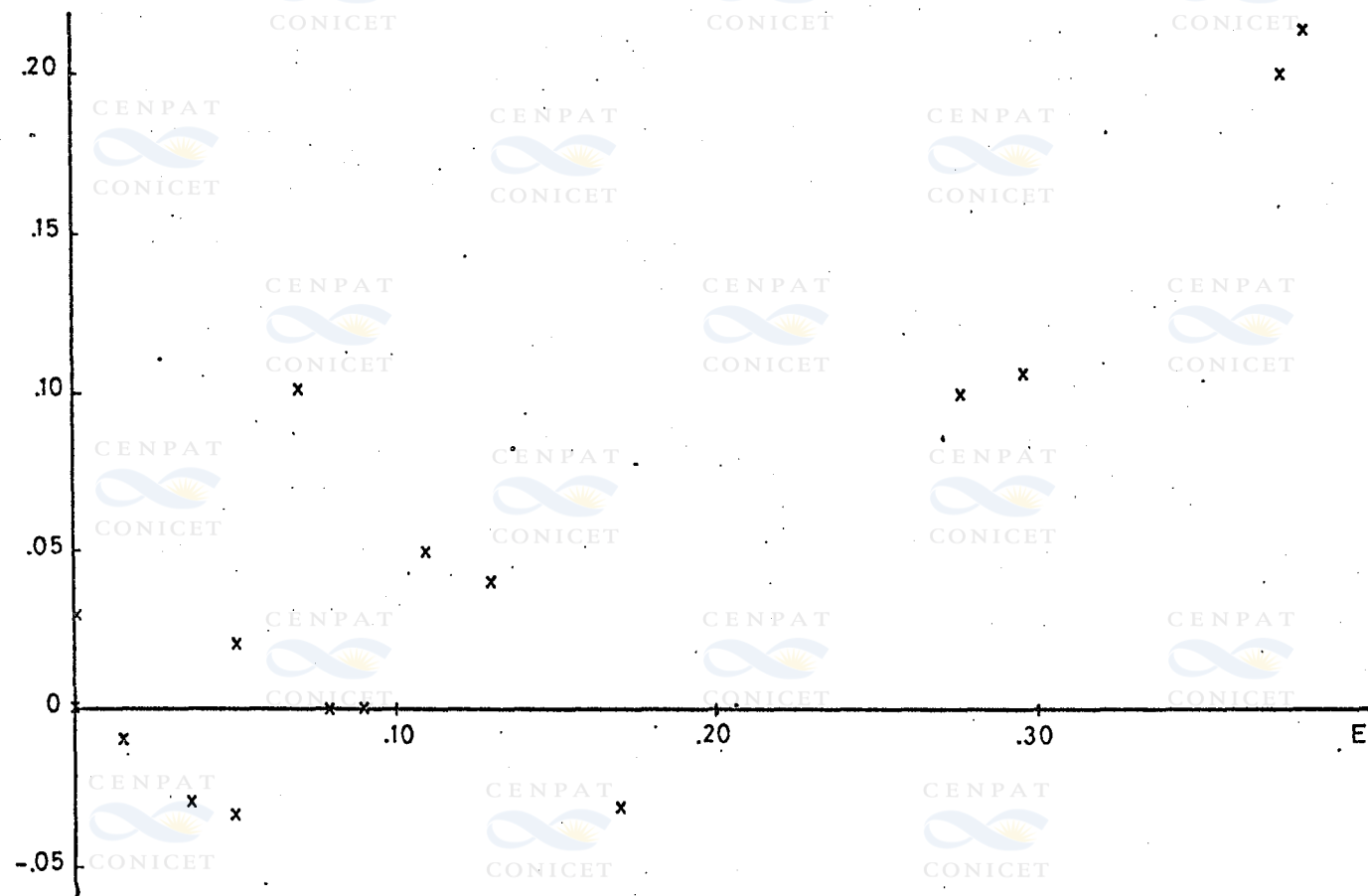
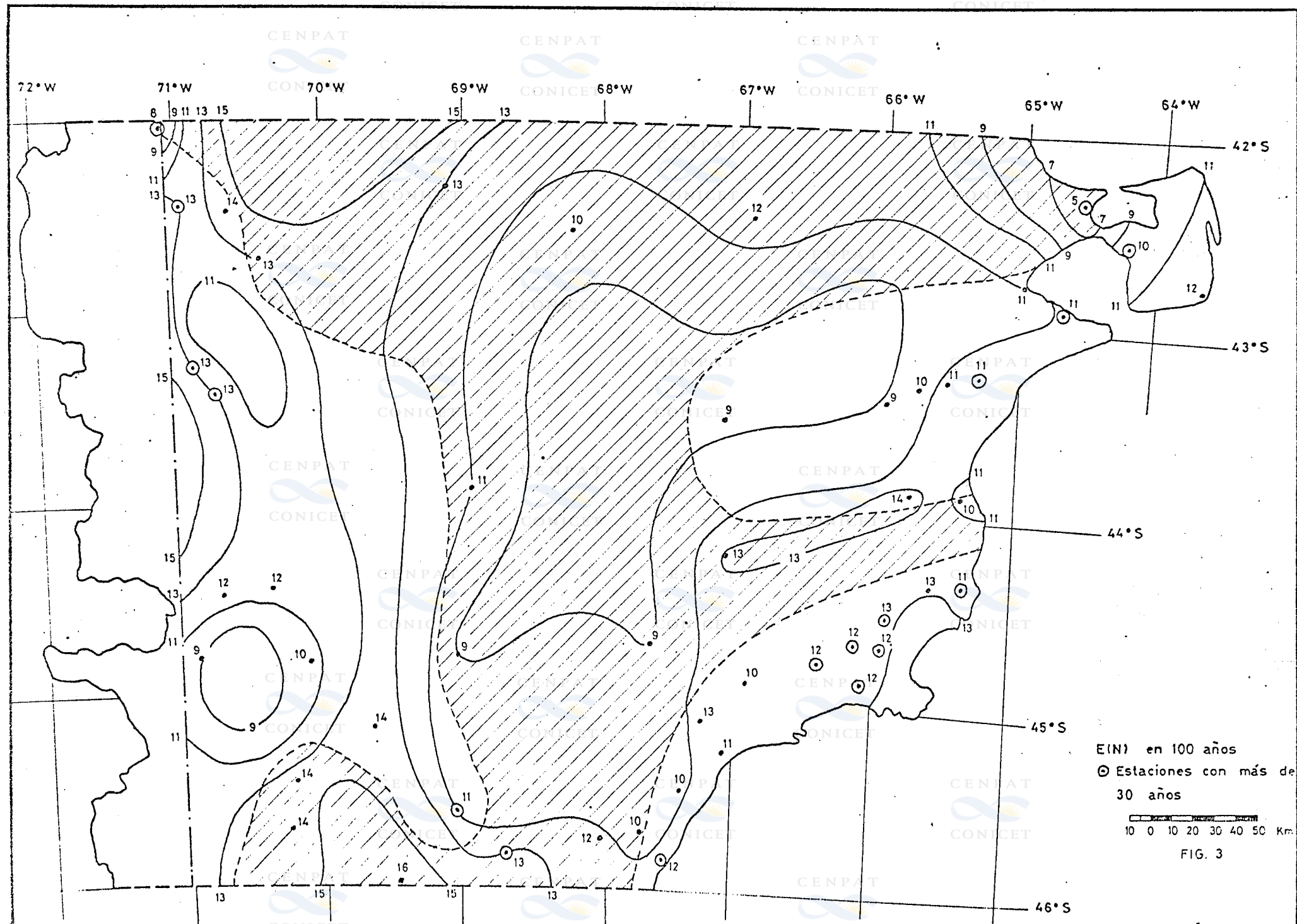
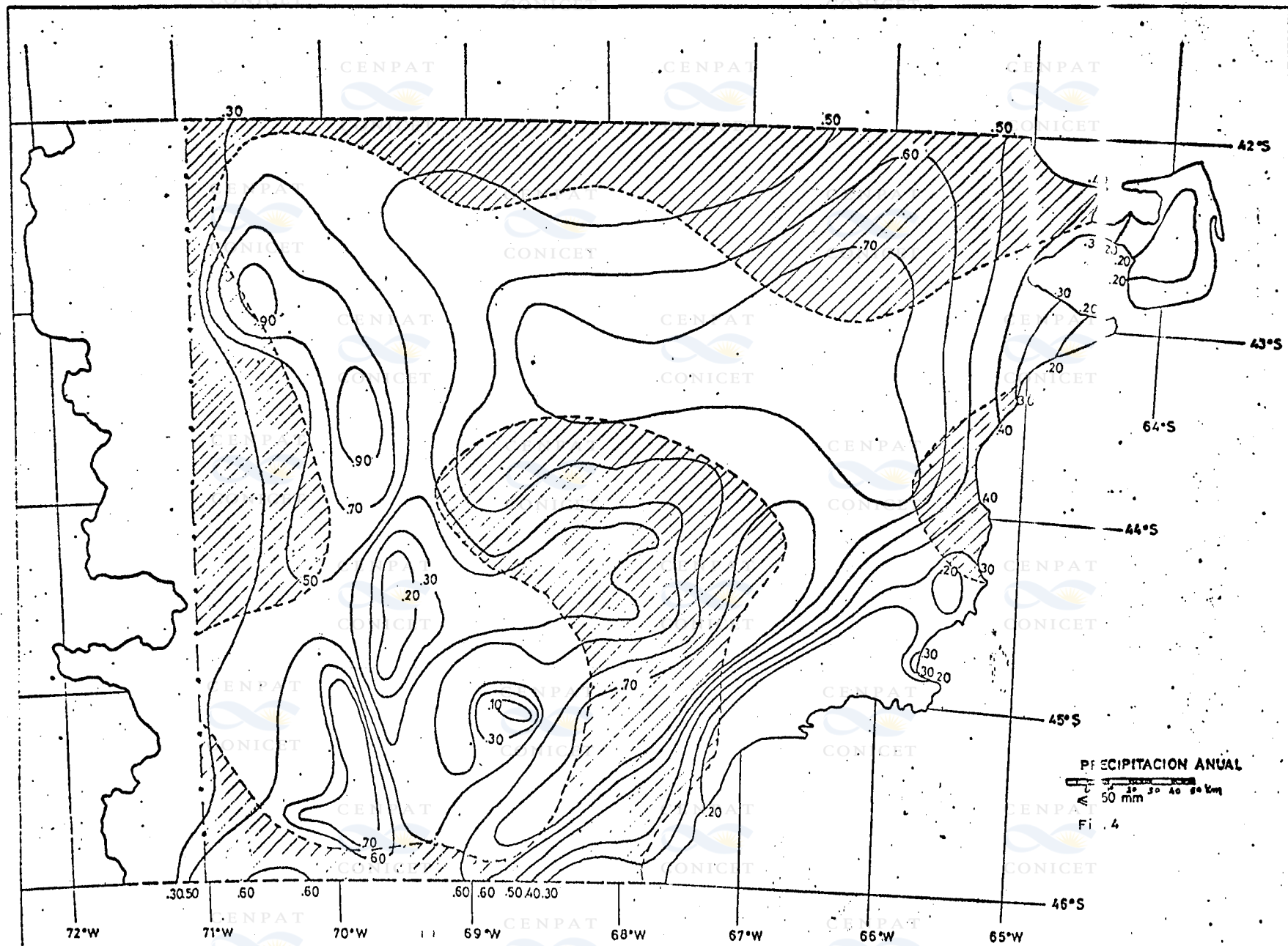


FIG. 2: Nivel 150 mm







COMITE DE REDACCION



DEL

PROGRAMA DE FISICA AMBIENTAL



Ing. Juan J. BURGOS

Dr. Juan HOFFMANN

Lic. Mauro VARGAS



76983(c) Centro Nacional Patagónico (CONICET)

Hecho el depósito que establece la Ley 11723.

