

ESTUDIO DE LA DENSIDAD OPTIMA DE LA RED PLUVIOMETRICA EN LA PRINCIPAL ZONA TRIGUERA DEL URUGUAY MEDIANTE EL METODO DE LA ENTROPIA MÁXIMA

Ruben M. Caffera
Mario Bidegain Dorelo

Dirección Nacional del Meteorología
Montevideo - Uruguay

1 INTRODUCCION

Durante cierto tiempo se ha tratado de evaluar el régimen hídrico de la zona triguera para diversos fines, entre otros la clasificación del potencial productivo. Como en la mayoría de los países, los puntos de muestreo de la precipitación se han instalado donde ya existían asentamientos de Entes y Oficinas del Estado, lo que no refleja una homogeneidad espacial. Para muchas aplicaciones en meteorología agrícola, es común utilizar una escala temporal del orden de los diez días para la acumulación de la precipitación, por lo cual la misma fue adoptada en este trabajo.

Fueron utilizados sólo los datos de pluviómetros que estaban dispuestos en soporte magnético, los que no constituyen la totalidad de los puntos de muestreo existentes en la zona. Se tomó como hipótesis de trabajo que los datos generados y consistidos en decenios pretéritos eran confiables. El objetivo perseguido fue lograr una primera aproximación rápida al problema del establecimiento de una red pluviométrica racional, a fin de asesorar en la toma de decisiones.

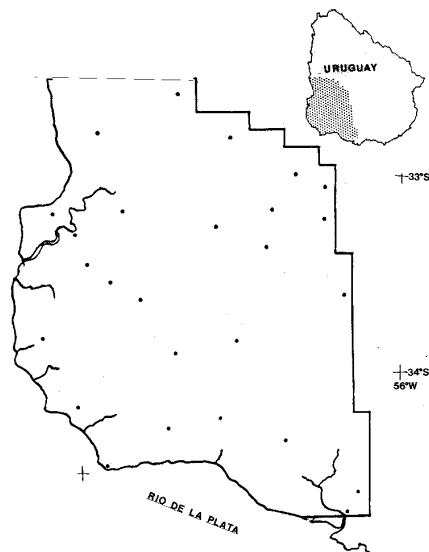


Fig.1 Region estudiada

2 METODOLOGIA

Se ha seleccionado una zona de aproximadamente 40.000 km² en el SW del Uruguay (ver Figura 1) que representa un 23% del área territorial total. Allí se encuentra ubicada el 77% del área sembrada de trigo en el país (D.I.E.A., 1983). La región presenta suaves ondulaciones, por lo que no es de esperar lluvias debidas a efectos orográficos locales.

La precipitación sobre la región esta dada por el pasaje de sistemas frontales y la ocurrencia de oclusiones, principalmente en la entrada del otoño y de la primavera, en tanto que sistemas convectivos de escala menor (células de tormenta aisladas y líneas de inestabilidad) ocurren más frecuentemente durante el verano.

Para el cálculo de la entropía, se sigue la metodología propuesta por Czelnai (1964):

- 1) Definimos un sistema de eventos llamando $f(r)$ al valor de la variable aleatoria en el punto r , y en un punto a una distancia l de r , la variable toma el valor $f(r+l)$
- 2) Se define la variable aleatoria $f' = f(r) - f(r+l)$.
- 3) Se utiliza un histograma de los valores de f' (para cada distancia) para determinar los valores de las probabilidades empíricas. Las clases de los histogramas son iguales para todas las distancias.
- 4) En nuestro caso los histogramas son calculados para diferencias de precipitación acumulada cada diez días.
- 5) Se calcula la entropía estadística H de la variable f' de acuerdo con la siguiente expresión:

$$H(z) = - \sum_{i=1}^n \text{Prob}(A_i) \cdot \log_2(\text{Prob}(A_i))$$

Mide el desorden o entropía de los acontecimientos A_i y z representa el conjunto finito de acontecimientos disjuntos.

6) Se eligen diferentes pares de estaciones a distancias cada vez mayores.

7) Se crea una tabla con los valores de entropía para cada década y para cada par de estaciones.

3. DATOS Y PROCESAMIENTO

A pesar de que las series temporales de medida de precipitación son en general largas (unos 80 años), se ha tomado un periodo común de 44 años (1935 – 1978) a fin de disponer de series de igual longitud.

La disponibilidad de datos en soporte magnético, en cuanto al número de pluviómetros en las región considerados en la región (26) fue la base de la elección de pares de estaciones a distancias cada vez mayores, sorteándose al azar, dos pares por cada intervalo de 10 km., resultando 18 pares desde 14.5 km. hasta. 114.4 km., aunque por razones prácticas se tomó el valor 100 km. como máximo en el momento de reducir a valores relativos.

4. RESULTADOS

Al apreciar, la distribución de la entropía durante el año se comprueba que los mayores valores se dan en el verano (ver Fig. 2), debido a las características del proceso de precipitación en esa estación. En la Figura se ilustra la relación entropía-distancia para la década 36.

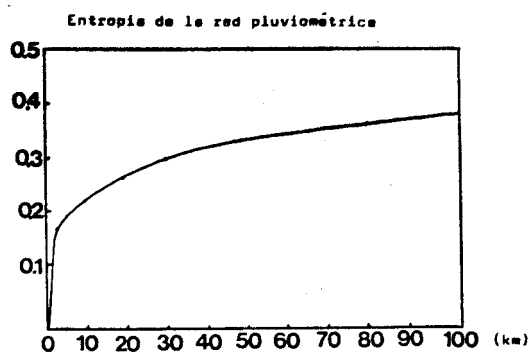


Fig 2 Decada 36 (Entropía máxima)

Los valores mínimos de entropía se ubican hacia fines del mes de junio y comienzos de julio, cuando son más frecuentes las precipitaciones debidas a sistemas de gran extensión horizontal.

Para solucionar el inconveniente de que los valores obtenidos de entropía estadística están en valores absolutos, se utilizó el concepto de “**porcentaje de entropía**” (Czelnai, (1964) y Rocha Farias (1973). Se determina definiendo una distancia máxima entre pluviómetros en la zona estudiada. En este estudio $l_{max} = 100$ km., al entender que no sería deseable inferir la precipitación en un cultivo mediante valores pluviométricos obtenidos a cerca

de 60 km. o más, teniendo en cuenta las dimensiones del país y su complejo mosaico de suelos.

Se toman para cada década los valores máximos empíricos de la entropía:

$$H(l_{max})$$

Se define la relación entropía - distancia por la expresión:

$$H(l) = 100 H(l) / H(l_{max})$$

Para cada valor de l, la ecuación anterior da información sobre el “porcentaje de entropía” de la distancia l con relación a la distancia l_{max} .

Para la década 36, de máxima entropía, tenemos valores que se ajustan a la curva de la Fig.3.

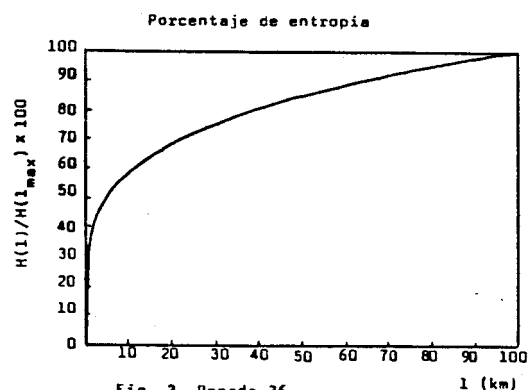
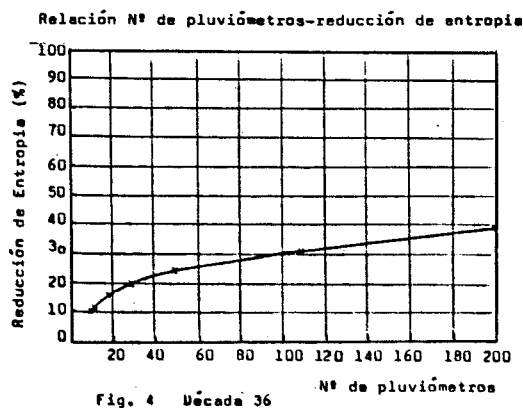


Fig. 3 Decada 36

Si suponemos que queremos cubrir la zona con pluviómetros dispuestos según una malla de triángulos equiláteros de lado l, el número necesario de pluviómetros será, aproximadamente, para diferentes valores de l:

L (Km)	Nº de Pluviómetros	Reducción de Entropía (%)
15	205	37.0
20	115	31.3
30	51	24.0
40	29	20.0
50	18	14.5
60	13	11
70	9	10
80	7	5
90	6	3

Utilizando la Figura 3 se determina la reducción de la entropía para cada valor de y así se establece la relación entre el número de estaciones y la reducción de la entropía (Fig 4).



5. DISCUSION

La función estructural usada generalmente para este tipo de problema, requiere de variables isotrópicas y homogéneas (Gandin (1970) y Czelnai (1971)) lo que no es el caso. Alternativamente se eligió este método de máxima entropía que además de no requerir tales hipótesis, los cálculos a efectuar son más sencillos.

Es de destacar también que posibles errores, sistemáticos de las mediciones llevarían a un aumento de la entropía y por lo tanto a una ligera sobrestimación de la densidad requerida.

Los valores decádicos se ajustaron a curvas potenciales, aunque en algunos casos el mejor ajuste estadístico lo dio la regresión lineal, posiblemente por no haber utilizado distancias menores (Roche Farías (1973)).

A modo ilustrativo, en el período con mayor entropía (década 36) los parámetros de la curva de ajuste $Y = a x^b$ Fueron $a = 0,137$ y $b = 0,223$, con un coeficiente de regresión de 0,65.

En varias décadas el ajuste presentó coeficientes de regresión aún más bajos, lo que evidencia fallas sistemáticas de observación y/o procesamiento. Por lo tanto nuestra hipótesis de confiabilidad, utilizada en función de los objetivos perseguidos, debería aceptarse a la luz de un análisis previo de consistencia para objetivos más ambiciosos.

6. CONCLUSIONES

La distancia mínima entre puntos, recomendada por Gandin (1970), para observaciones tales como la lluvia es de 30 km. Esta recomendación fue hecha propia por la OMM en la Guía de Prácticas Hidrometeorológicas (OMM (1970)). No obstante un aumento indiscriminado en el número de pluviómetros, en la zona estudiada, no trae consigo una disminución substancial de la entropía. Por

ejemplo, un aumento del 400% en el número de pluviómetros (130 en el área), distanciados 19 km., reduciría en un 15% la entropía en relación a los 26 de referencia, si éstos estuvieran dispuestos isotrópicamente, y un 32% respecto a la distancia máxima. El tomar en cuenta la recomendación internacional (30 km.) implica un aumento en el número de pluviómetros en el área considerada del 100%, o sea pasar de 26 a 52, isotrópicamente distribuidos. Si bien sólo representaría un aumento de la información del 7% respecto a la actualmente obtenida bajo la hipótesis de equidistribución, y relativa a una distancia máxima de 100 km., desde el punto de vista agrometeorológico se evaluaría el agua disponible por lluvia mediante las medidas pluviométricas de un punto ubicado a lo sumo a una distancia de 15 km. del cultivo, dentro del área considerada.

Desde el punto de vista de la toma de decisiones, habría que comparar la reducción de la entropía en función del número de pluviómetros (Figura 4) con los costos de instalación, mantenimiento y proceso requeridos.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores están especialmente agradecidos a la Srta. Claudia Deshayes, del Centro de computación, por su invaluable aporte en la creación del archivo de trabajo en soporte magnético. También queremos mencionar nuestro reconocimiento a la Sta. Pilar Barreiro por la labor de mecanografiado de este trabajo.

8. REFERENCIAS

- Almeida, M.J.R., 1973.** Análise de series cronológicas — Método da entropía máxima, Revista do Inst. Nal. de Meteorología e Geofísica. Portugal.
- Czelnai, R., 1964** On determining the rational density of precipitation measuring networks, IDOJARAS, Vol, 66, N 2. Hungary.
- Czelnai, R., 1971.** Minimum - Error Interpolation by Structure functions. IDOJARAS. Vol. 75, N°5 - 6. Hungary.
- D.I.E.A., 1983.** Censo general agropecuario del aflo 1980. Dir. de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, Montevideo, Uruguay.
- O.M.M., 1970.** Guía de Prácticas Hidrometeorológicas, WMO, N 168, TP. 82, Suiza.
- Gandin, L. 5., 1970.** The planning of Meteorological Station Networks, WMO Technical Note N 111, IP. 149, Suiza.
- Roche Faría, 1973.** Utilizacao do conceito de entropía no planeamento da densidad. de una rede de udometros — Aplicacao a S. Miguel (Acores) Revista do Inst. Nal. de Meteorología e Geofísica. Portugal.