

ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA HELIOFANIA RELATIVA EN LA REGION PAMPEANA

Hugo Grossi Gallegos^{***} y Gustavo Atienza[#]

[#] Instituto de Clima y Agua, CIRN-INTA
Las Cabañas y Los Reseros s/n, Villa Udaondo
(1712) Castelar, Buenos Aires, ARGENTINA

⁺ División Física, Dpto. de Ciencias Básicas
Universidad Nacional de Luján, Rutas 5 y 7
(6700) Luján, Buenos Aires, ARGENTINA

INTRODUCCION

La medición de las horas de insolación (también conocida como heliofania) está universalmente muy difundida dada la sencillez y autonomía del instrumental involucrado. Su valor ha sido tradicionalmente utilizado en Agrometeorología, dada la escasez de medidas de radiación, para el cómputo de la evapotranspiración potencial (ETP) y de la evaporación de una superficie de agua libre [1], ingresando en las expresiones correspondientes como estimador de la radiación solar global a partir de relaciones lineales del tipo de la deducida por Angstrom [2].

Los coeficientes *a* y *b* usados en las mencionadas fórmulas de ajuste lineal han sido sujetos a discusión a menudo, tanto en el exterior como en Argentina [3,4,5], poniendo énfasis en la necesidad del estudio de la variabilidad espacio-temporal de los mismos.

Basados en diferentes motivaciones, tanto organismos nacionales como internacionales se han mostrado interesados en conocer de antemano las posibilidades de obtención anual de alimentos en una dada región agrícola, utilizando para ello modelos fisiológicos de rendimiento de diferentes especies vegetales para obtener pronósticos de cosecha, modelos que utilizan como información de entrada datos agrometeorológicos [6].

En 1990 se implementó en Argentina un proyecto, entre el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la ex-Junta Nacional de Granos (JNG), para establecer el volumen de producción de trigo, maíz, soja, sorgo y girasol en la región pampeana; para la estimación de los rendimientos se utilizó un conjunto de modelos matemáticos originados en el International Benchmark Sites Network Agrotechnology Transfer (IBSNAT). Al respecto, uno de los últimos trabajos desarrollados en el mencionado proyecto fue la calibración y validación del modelo CERES-Wheat [7] para nuevas variedades de trigo en diferentes ambientes de la

* Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET

región pampeana, hallándose un grado de ajuste satisfactorio [8].

La necesidad de contar con datos solares a nivel de mesoescala para alimentar estos modelos obliga a la extrapolación o interpolación de los valores de radiación global o de heliofanía relativa a partir de mediciones efectuadas en localidades más o menos cercanas (dada la insuficiente cobertura de las redes de medición de estos parámetros), lo cual introduce un error que se debe adicionar al de medición en sí y que se propaga a los resultados hallados para los rindes.

INFLUENCIA DE LOS VALORES DE RADIACION SOLAR EN LOS MODELOS DE PRONOSTICO DE RENDIMIENTO

El rendimiento del trigo está determinado por el número de granos cosechados por unidad de área y por el peso medio de los mismos. Fisher [9] resumió evidencias que sugieren que el número de granos de trigo que se puede producir por unidad de superficie queda determinado en el período de floración; que, sin limitaciones hídricas o nutricionales y con la aplicación de técnicas culturales apropiadas, las condiciones de temperatura y radiación durante este período pueden afectarlo y que, además, existe una buena relación entre dicho número y el denominado cociente fototérmico para el período que precede a la floración (el cociente fototérmico es el valor medio del cociente de la radiación global diaria y de la diferencia entre la temperatura media diaria y el valor 4.5 C). En varios estudios realizados en el mundo se encontró que el número de granos es el principal responsable de las variaciones en el rendimiento entre cosechas y entre lugares, años y estaciones [10,11].

Utilizando el Programa DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) se compararon los rendimientos calculados para trigo cuando se lo alimenta con una serie de datos meteorológicos supuestos correctos y los obtenidos cuando se modifica la radiación en -20%, 0%, +20% y +40%.

En la figura 1 se muestra la salida del programa correspondiente a la estación Pergamino, con valores medios de 3.9, 4.1, 4.0 y 3.7 toneladas por hectárea, respectivamente, hallándose diferencias relativas de -5%, -2,5% y -10%).

Por otro lado, para Gral. Pico, con diferentes condiciones ambientales (fundamentalmente hidrológicas), las subestimaciones halladas fueron algo mayores (de -4 a -20%). Cabe tener en cuenta que, si se permite disponer libremente de agua a los cultivos (condición de riego que no es habitual en la región), la evapotranspiración y la tensión asociada en la planta disminuyen y los resultados son otros: sin riego, un incremento de los valores de radiación en un 40% provoca una disminución del orden del 20% en la estimación del rinde, mientras que con riego ilimitado se

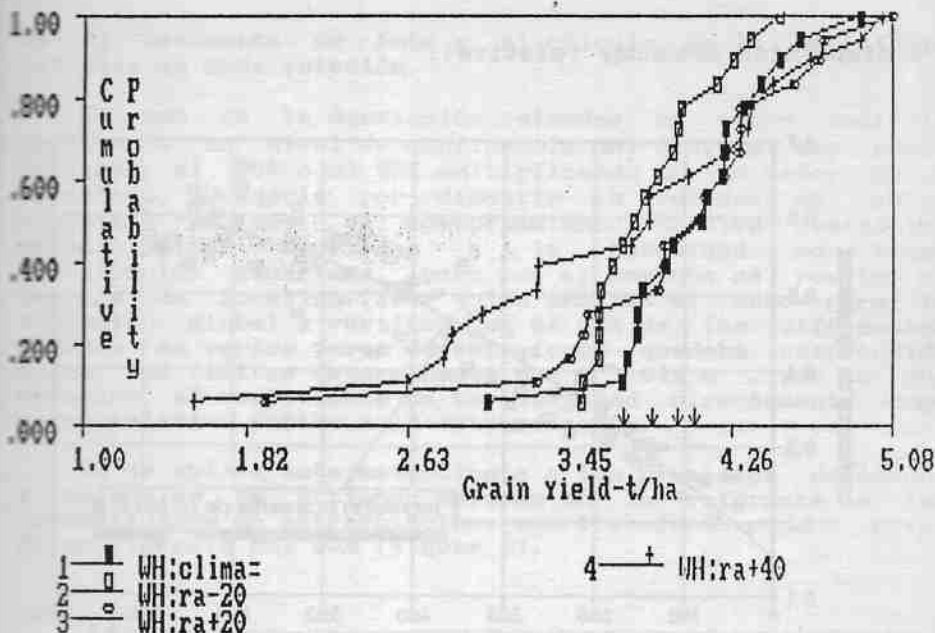


Figura 1. Variación del rendimiento medio del trigo en Pergamino en función de variaciones en los valores de entrada de la radiación solar.

produce un aumento del 10% comparado con la misma situación hídrica pero con los datos correctos de radiación.

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LOS VALORES DE HORAS DE INSOLACION

Las mediciones de horas de insolación se llevan a cabo con heliógrafos de Campbell-Stokes por cuenta del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del INTA. En este trabajo se consideraron los datos diarios provenientes de 13 estaciones distribuidas en la región pampeana, procesándose la información existente en las tres décadas que van de 1958 a 1988 (el dato procesado fue la heliofania relativa, es decir, el cociente entre las horas de insolación registradas n y las posibles astronómicamente N).

En primer lugar se analizó el comportamiento de la desviación estandar de las diferencias diarias (que es la raíz cuadrada de la denominada función estructura) de la heliofania relativa registrada en pares de estaciones de la región en función de la distancia entre ellas, sin distinción entre los diferentes meses o estaciones del año: en la figura 2 se representa algo similar pero obtenido dividiendo cada valor por el promedio del parámetro en todo el período para el par de estaciones considerado (suele definírselo como coeficiente de variabilidad

o dispersión estandar relativa).

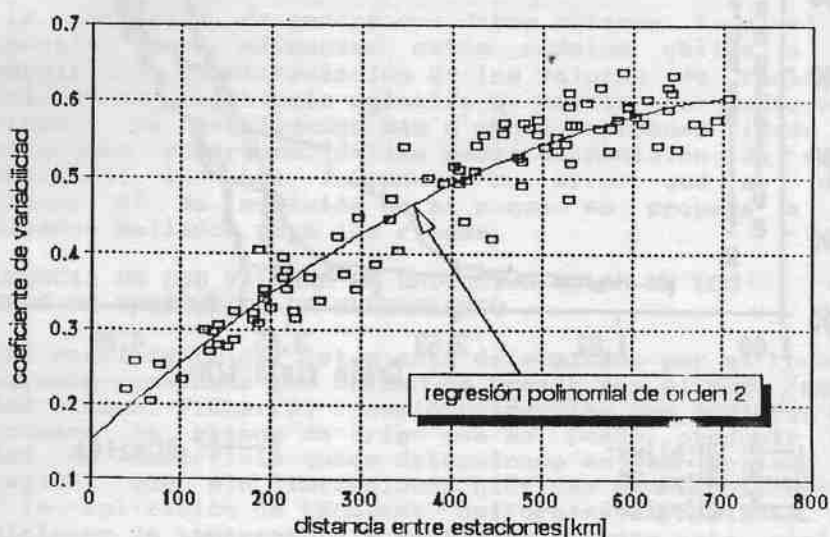


Figura 2. Variación del coeficiente de variabilidad de la heliofanía relativa diaria en función de la distancia entre estaciones.

Para ambos casos se ensayó su ajuste con un aproximación polinomial de orden 1 a 4, quedándose finalmente con la de segundo orden pues da una expresión relativamente sencilla, con un razonable valor de R^2 . Para el caso de la desviación estandar (D.S.) la expresión obtenida fue:

$$D.S. [\%] = -4.11 \times 10^{-5} d^2 + 6.68 \times 10^{-2} d + 8.68 \quad (R^2 = 0.93)$$

mientras que para el coeficiente de variabilidad la expresión hallada fue:

$$C.V. = -6.88 \times 10^{-2} d^2 + 1.13 \times 10^{-3} d + 1.49 \times 10^{-1} \quad (R^2 = 0.92)$$

ambas válidas para $40 \leq d \leq 700$ km.

Teniendo en cuenta que la extrapolación de la desviación estandar de las diferencias diarias para distancia nula entre estaciones es un estimador del error estandar de observación σ (ya que $D.S.(d=0) = \sqrt{2} \sigma$ [12]) se infiere un error de medición del 10%, valor al que se puede considerar como razonable teniendo en cuenta la técnica de medición sobre la faja quemada, la falta de uniformidad

de la respuesta de ésta y el cálculo de la heliofanía relativa en cada estación.

El uso de la desviación estandar en estos análisis implicaría un nivel de confianza del 67%, lo que puede llevarse al 90% o al 95% multiplicando por un valor de Z apropiado. Quedaría por discutir la validez de estas hipótesis ya que el comportamiento de las variables meteorológicas asociadas a la nubosidad no tiene distribución gaussiana, pero por el momento se remite al trabajo de Suckling [13] quien analizó el caso para la radiación global y verificó que el 90% de las diferencias diarias en varios pares de estaciones quedaba comprendida entre los límites determinados por $\pm 1.644 \sigma$, por lo que denominó al coeficiente de variabilidad directamente como error relativo debido a la extrapolación.

Si se aplica esta metodología a los promedios decádicos y mensuales se obtienen mejoras en lo referente a las posibilidades de extrapolación, aún trabajando con un nivel de confianza del 90% (figura 3).

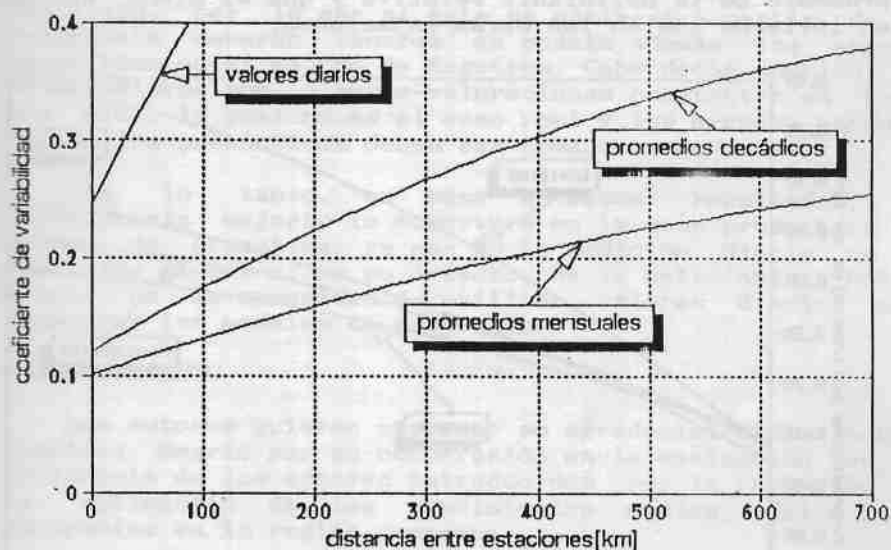


Figura 3. Aproximación polinomial para el coeficiente de variabilidad de la heliofanía relativa en función de la distancia (nivel de confianza del 90%).

Con el fin de analizar la posible presencia de una dependencia estacional se repitió el cálculo de la desviación estandar y del coeficiente de variabilidad agrupando previamente los datos correspondientes al verano (noviembre,

diciembre, enero y febrero), al invierno (mayo, junio, julio y agosto) y a los equinoccios (marzo, abril, setiembre y octubre), tomando los promedios decádicos y mensuales. dejando de lado los valores diarios ya que en el caso anterior se pudo ver que, extrapolando a 50 km (con un nivel de confianza del 67%) se cometen errores del 20%, a 100 km del 25% y a 150 km del 30%, lo cual implica importantes niveles que limitan el uso de la extrapolación de los valores diarios en el modelado.

Se muestran en la figura 4 sólo los resultados hallados para el coeficiente de variabilidad (promedios decádicos) para un nivel de confianza del 90%, evidenciando una dependencia estacional tal como se observara ya en un trabajo previo sobre los datos de radiación global medidos por la Red Solarimétrica en la Pampa Húmeda [14], siendo más importantes en invierno los errores relativos cometidos en la extrapolación (se incluye para comparación en la figura la curva correspondiente a los valores anuales sin diferenciación estacional). Este comportamiento puede explicarse al tener presente que en el cálculo del coeficiente de variabilidad aparece en el denominador el promedio de la heliofanía relativa y que el mismo es menor en invierno que en las otras estaciones.

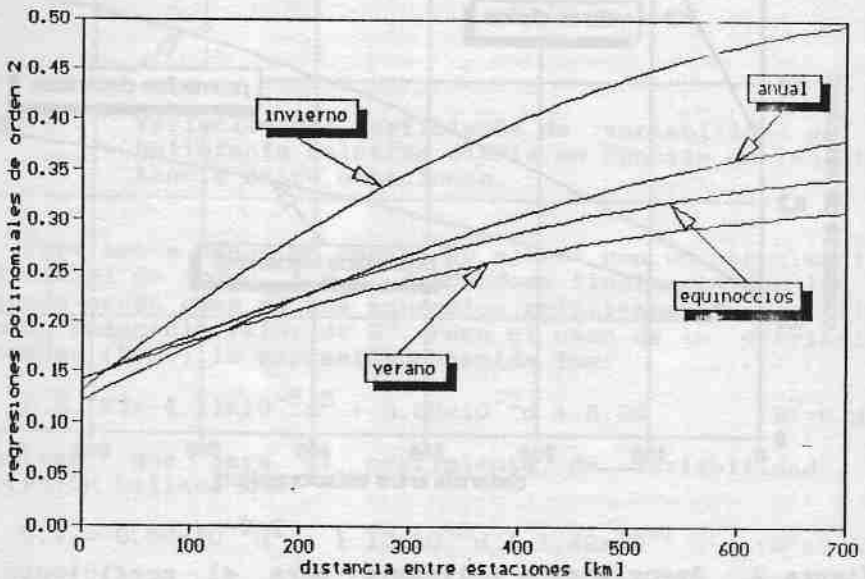


Figura 4. Dependencia estacional en la aproximación polinomial de la variación del coeficiente de variabilidad de los promedios decádicos de la heliofanía relativa en función de la distancia (nivel de confianza del 90%).

COMENTARIOS

Comparando el comportamiento espacial del coeficiente de variabilidad anual de los valores diarios (con un nivel de confianza del 90%) con los decádicos se puede observar que en éstos el valor del 20% sólo se supera a los 150 km, mientras que para los promedios mensuales esto ocurre a los 370 km. Algo similar se observa en las distribuciones estacionales.

Las variaciones del 20% y 40% supuestas en los datos diarios de entrada al programa de estimación de rendimientos se producen para la extrapolación de mediciones a 50 y a 265 km, respectivamente, para un nivel de confianza del 67%. Pero si se pretendiera un nivel de confianza del 90% en los valores diarios, el 40% se alcanza a sólo 90 km de distancia, produciendo importantes errores en las estimaciones (errores que importan consecuencias económicas) y que dependen en su cuantía de las diferentes características dentro de la región triguera.

Debe destacarse que la incidencia en los modelos se ensayó con variaciones de -20 a +40% en los valores de radiación, por lo que si ésta se estimara a partir de la heliofanía deberán tenerse en cuenta además los errores implícitos en el método de Angstrom. Cabe decir también que su supusieron sub- o sobre-valoraciones constantes en todos los días, lo cual no es el caso real y los errores producidos en los pronósticos deben ser tomados como cotas.

Por lo tanto, en base a estos resultados, se justificaría mejorar la cobertura en la zona productora de granos de Argentina, ya sea en la medición diaria de la radiación global o, en su defecto, de la heliofanía, habida cuenta de la necesidad de utilizar valores diarios para alimentar los modelos de pronóstico.

AGRADECIMIENTO

Los autores quieren expresar su agradecimiento a la Dra. Graciela Magrín por su cooperación en la evaluación de la incidencia de los errores introducidos por la radiación en la estimación de los rendimientos medios del trigo esperables en la región pampeana.

REFERENCIAS

1. H. Penman, Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc.*, A.193, pp. 120-145 (1948).
2. A. Angstrom, Solar and Terrestrial Radiation. *J. Roy. Meteor. Soc.*, vol. 50, pp. 121-126 (1924).
3. J.P. Ouedraogo, J.B. Ouedraogo et Ch. Baldy, Premières données sur le rayonnement global et la durée d'insolation en Haute Volte. *La Meteorologie* VIe. série, No. 25, pp. 123-134 (1981).

4. H. Grossi Gallegos, G. Atienza, M. Peralta y M. García, Sobre la necesidad del estudio de la variación de los coeficientes de la ecuación de regresión de las horas de insolación y la radiación global. *Actas de la XIII Reunión de Trabajo de la ASADES*, tomo 1, pp. 107-112 (1988).
5. H. Grossi Gallegos y G. Atienza, Determinación de los coeficientes de ajuste de la ecuación de regresión entre las horas de insolación y la radiación global para diferentes zonas de Argentina y distintas épocas del año. *Actas de la 5ta. Reunión Argentina de Agrometeorología*, pp. 57-62 (1991).
6. M. Frere y G. Popov, Pronóstico de cosechas basado en datos agrometeorológicos. Estudio FAO: *Producción y protección vegetal* No.17, Roma, Italia, 99 pp (1980).
7. J. Ritchie and S. Otter, Description and performance of CERES-Wheat: a user oriented wheat yield model. USDA-ARS, ARS-38, pp. 159-175 (1985).
8. G. Magrín, R. Díaz, C. Rebella, C. del Santo y R. Rodríguez, Simulación del crecimiento y desarrollo de trigo en Argentina y la necesidad de información meteorológica de entrada. *Anales del CONGRESMET*, pp. 49-50 (1991).
9. R.A. Fisher, Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Agric. Science*, vol. 105, pp. 447-461 (1985).
10. G. Magrín, Facteurs de stress agissant sur le production du ble en Argentine. Evaluation de mecanismes d'adaptation a la secheresse. These Dr.-Ing., ENA-Montpellier, France, 80 pp. (1990).
11. G. Magrín, A. Hall and C. Baldy, Intersite, interannual and interseasonal variations in photothermal quotient: implications for the potential kernel number of wheat crops in Argentina. Enviado para su publicación en *Agric. For. Meteorol.*, 1992.
12. L. S. Gandin, The planning of meteorological station networks. *Tech. Note*. No.111, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, WMO-No.265 TP.149, 135 pp (1970).
13. P. Suckling, Extrapolation of solar radiation measurements. Mesoscale analysis from Arizona and Tennessee Valley Authority regions. *J. Clim. and Appl. Meteorol.*, vol. 22, pp. 484-494 (1983).
14. H. Grossi Gallegos and R. Lopardo, Spatial variability of the global solar radiation obtained by the Solarimetric Network in the Argentine Pampa Humeda. *Solar Energy*, vol. 40, No. 5, pp. 397-404 (1988).