

ciones en una ciencia cada vez más fragmentada, el problema de la toma de decisión, etc. No causó sorpresa el que se originara una notable discusión, la cual demostró que puede establecerse la identidad de los problemas, pero que éstos no son de fácil resolución. El último trabajo está muy relacionado con el debate provocado por el de Munn. Fue preparado por el Dr. R. M. White, administrador del NOAA y presentado y ampliado por el Dr. Richard E. Hallgren, administrador adjunto del NOAA para Predicción y control ambiental. El tema tratado fue *Organización para combatir el desafío*, subtítulo del autor por el de *Vientos de transformación*. Se examinaron la misión de un servicio meteorológico y la necesidad de hacerse cargo de los problemas ambientales con los que nos enfrentamos, así como de las formas en que los EE. UU. y otros gobiernos están organizándose para luchar contra el reto lanzado por dichos problemas. La cuestión de cómo organizar y desplegar a los científicos para realizar esta tarea, fue un tema que incitó a la discusión y, lógicamente, puso digno remate a los problemas estudiados en el simposio.

En resumen, la observación del Dr. Mason de que el simposio era uno de los mejores, si no el mejor de su clase, a los que él nunca había asistido, podría atribuirse no totalmente al entusiasmo del momento.

Las *Actas* del simposio se publicarán en forma de libro de gran calidad, encuadernado en tapas duras (su precio se calcula en unos 10,—\$ canadienses); durante algún tiempo será, probablemente, un libro de consulta de gran valor y utilidad en bibliotecas particulares y de instituciones. Las peticiones de las *Actas* deben dirigirse a: «Assistant Deputy Minister, Atmospheric Environment Service, 4905 Dufferin Street, Downsview, Ontario, Canadá (Attention: Administration Division)».

PREDICCIÓN DE RENDIMIENTOS DE TRIGO EN IRÁN A PARTIR DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS

Por J. LOMAS *

Introducción

El trigo es el más importante cultivo del Irán. De un total de 7,1 millones de hectáreas cultivadas en 1968, 4 millones lo fueron de trigo (de las cuales, 1,4 millones fueron en regadío y 2,6 millones de hectáreas en secano). En 1965 la cosecha de trigo fue de 3,6 millones de toneladas, pero en 1967, debido a las oportunas lluvias, se logró una cosecha de 4,5 millones de toneladas.

Actualmente el consumo de trigo en Irán es de 4 millones de toneladas. Cuando la cosecha es inferior a esta cifra, hay que importar trigo. A causa de la falta de lluvias durante el período 1970-1971 se calculó que el país tendría que importar, aproximadamente, un millón de toneladas de trigo. La fluctuación anual del suministro de trigo (que es, junto con el arroz,

(*) El Sr. Lomas realizó este estudio informativo de aviso previo de déficit de cosecha como aportación parcial de la OMM al programa agrometeorológico de ayuda a la producción de alimentos.

la dieta principal de la población), causa serios problemas a las autoridades agrícolas y comerciales del país. Una predicción oportuna de la cosecha de trigo esperada permitiría, a las autoridades gubernamentales encargadas de la planificación, decidir una política racional de exportación/importación, así como la distribución interior de la cosecha. También parece que podría obtenerse considerable ventaja económica ordenando las importaciones de trigo con relativa prontitud.

El presente artículo estudia la posibilidad de elaborar una predicción avanzada, para Irán, de la cosecha de trigo.

Necesidades climáticas del cultivo de trigo

El trigo se cultiva, generalmente con éxito, en zonas de clima templado. No se cultiva intensivamente en regiones en las que el período de crecimiento es inferior a 90-100 días, ni en aquellas cuya pluviometría es inferior a 225 mm, a menos que se cultive en regadío; por otra parte, muchas de las regiones trigueras importantes del mundo tienen una precipitación media de menos de 750 mm.

La distribución estacional de la precipitación es tan importante como la cantidad total anual. También es importante la intensidad de la lluvia, que determina su absorción por el suelo. La frecuencia de sequías es un aspecto de la distribución de la precipitación de gran importancia económica en la producción de trigo. Las condiciones más favorables se encuentran cuando un período de crecimiento frío y moderadamente húmedo, durante el cual se desarrollan bien las hojas básicas y el laboreo se hace con facilidad, desemboca gradualmente en un período de recolección cálido, con predominio de cielo despejado y, preferiblemente, seco. Tales condiciones climáticas se encuentran en las zonas interiores de los continentes y en las costeras que tienen un tipo climático mediterráneo.

Un reciente análisis (Lomas, 1971a)* de los elementos meteorológicos que favorecen y limitan la producción de trigo, parece demostrar evidentemente, que es posible la existencia de modelos clima/rendimiento de trigo, bajo determinadas condiciones. Así, en las mesetas meridionales de Tejas la lluvia influía en el 55 a 66 por 100 de la variación en las cosechas de trigo (Army, 1959), mientras que Cole (1938) explicaba con éxito una influencia entre el 36 y el 80 por 100 de la variación anual de la cosecha de trigo de primavera en las grandes llanuras semiáridas de los EE. UU. Staple y Lehane (1954) realizaron investigaciones análogas en Saskatchewan, en las praderas de Canadá, demostrando que la variación de la cosecha dependía en un 36 a 62 por 100 de las técnicas empleadas. Williams (1969) ha demostrado recientemente que las cosechas de trigo pueden predecirse, utilizando las regresiones múltiples, para toda la zona de la pradera canadiense, con una desviación media de sólo un 13 por 100. Gangopadhyaya y Sarker (1965) y Lomas y Shashoua (1970), informaron que la lluvia influía en un 75 por 100 de la variación de las cosechas de trigo en la India y del 61 al 79 por 100 en Israel, respectivamente. En las regiones áridas se obtienen buenas correlaciones entre la lluvia total anual y las cosechas de trigo con el empleo de las regresiones simples; otros métodos más complicados no dan siempre correlaciones significativamente altas (Lomas 1971b).

(*) Véase la bibliografía al final del artículo.

Al revisar los procedimientos agroclimáticos simplificados para determinar el efecto de la disponibilidad de agua, afirma Stanhill (1970) que en las zonas áridas en las que la demanda excede al suministro de agua y constituye el factor determinante de la cosecha, se ha comprobado que son satisfactorios los más sencillos modelos de índices de suministro de agua y rendimientos. Así, parece que, en tales circunstancias, una variación anual de hasta un 80 por 100 en el rendimiento de los cultivos de trigo puede ser explicada por regresiones lineales sencillas sobre la lluvia total estacional.

Cultivo de trigo en Irán

Geoclimáticamente Irán puede dividirse, en general, en las siguientes zonas:

La gran Meseta Central — que limita al norte con los montes Elburz (con el pico más alto, de 5.700 m), al oeste y al sur con la cadena montañosa de Zagros (de hasta 4.500 m de altitud) y al este con Faquistán y Afganistán. La altitud media de la meseta es de 1.000 m. La temperatura es muy alta en verano y moderada en invierno. La precipitación, que cae sólo durante el invierno, varía desde menos de 100 mm en el desierto y llanuras hasta 200-300 mm hacia las zonas montañosas. La producción de trigo está limitada a pequeñas áreas dispersas, situadas, generalmente, allí donde puede disponerse de agua de riego.

La planicie costera del Caspio — una faja estrecha de terreno fértil, situada entre el mar Caspio y los montes Elburz, con una precipitación anual que oscila entre 600 y 2.000 mm. El clima es algo tropical, con veranos cálidos e inviernos suaves. El trigo se cultiva en las laderas en las que la lluvia puede desaguar libremente.

Las zonas montañosas situadas a lo largo de la cordillera Zagros — que se extiende desde Azerbaiján, en el noroeste, hasta Beluchistán, en el sureste. Aquí se encuentran las mayores diferencias climáticas en pequeñas zonas, debidas a las diferentes altitudes, exposiciones y dirección del viento. Los veranos pueden variar desde muy cálidos hasta muy frescos y los inviernos desde fríos hasta muy fríos. La precipitación anual oscila, de acuerdo con la altitud del lugar, desde 200 hasta 1.800 mm. Los cereales se cultivan hasta una altura de 3.000 m. En los valles altos y en las llanuras se cultiva generalmente en regadío, mientras que en las laderas de las colinas, abastecidas por las lluvias, el cultivo es el corriente.

La zona del Golfo — que incluye la vasta llanura de Khusistán y las planicies costeras que se extienden a lo largo del golfo Pérsico; en ella los veranos son extremadamente cálidos y los inviernos muy suaves; la precipitación anual oscila entre 100 y 300 mm. El trigo necesita que se le riegue.

Teniendo en cuenta las grandes variaciones del clima, la época de la sementera varía, para el trigo de invierno, desde finales de agosto en las zonas frías hasta diciembre en las regiones cálidas.

La época de recolección depende también del clima. Así, en las llanuras del golfo Pérsico los cereales son recolectados como fecha más temprana en marzo-abril, en la meseta en junio-julio y en las zonas montañosas en julio-agosto, e incluso, en septiembre. La cantidad de semilla empleada varía de 50 a 150 kg ha⁻¹ en las zonas lluviosas. La siembra se hace generalmente a voleo.

Las características de la lluvia en Irán están determinadas fundamentalmente por la latitud y por la circulación general de la atmósfera, modificadas por la topografía y la acción mutua entre la tierra y el mar.

Perrin de Brichambaut y Wallén (1963) estudiaron detalladamente la agroclimatología de Irán.

Recolección de datos y análisis

Dos fueron las principales fuentes que suministraron los datos utilizados en el presente estudio: el Ministerio de Agricultura y el Servicio Meteorológico. La relación entre cosecha de trigo y lluvia fue analizada separadamente para los datos obtenidos de forma visual y para los experimentales. Se utilizaron estos cuatro modelos estadísticos distintos:

$$\log Yc = \alpha + \beta \log x + c (\log x)^2 \quad [1]$$

$$Yc = \alpha + \beta x + cx^2 \quad [2]$$

$$Yc = \alpha + \beta x + c \log x \quad [3]$$

$$Yc = a + bx \quad [4]$$

en los que Yc = rendimiento calculado de trigo (kg ha^{-1}), y
 x = lluvia total anual en el período septiembre-junio (mm).

Tanto los datos pluviométricos como los de rendimiento de trigo fueron pasados a tarjetas perforadas y tratados por una calculadora electrónica.

El trigo se cultiva en Irán en zonas con una pluviometría tan escasa como de 150 mm, hasta en zonas que se aproximan a los 1.400 mm. En consecuencia, los rendimientos por hectárea varían notablemente. En la siguiente tabla se muestra un resumen de los datos de rendimiento y pluviométricos recogidos para la realización de este estudio.

Valores medios, desviación tipo (D. T.) y coeficientes de variación (C. V.) de rendimientos de trigo y de lluvia anual

Tipo de datos	Rendimiento (kg ha^{-1})			Lluvia (mm)		
	Media	D. T.	C. V.	Media	D. T.	C. V.
Muestreo visual	693	389	56	473	327	69
Datos experimentales	1.117	591	53	594	378	64

Demuestra esta tabla la notable variación existente entre los rendimientos de trigo (del orden de más del 50 por 100 del rendimiento medio) y de la lluvia (cerca del 70 por 100 de las cantidades medias anuales de lluvia) de la muestra estudiada. En regiones semiáridas cabía esperar tales fluctuaciones, tanto en los rendimientos del trigo como en la lluvia.

Los mejores resultados* del presente estudio se obtuvieron utilizando el segundo modelo ($R = 0,66$) sobre una muestra relativamente grande ($n = 67$), que resultó altamente significativa (1 por 100). El coeficiente de

(*) R = Coeficiente de correlación (o regresión); n = número de muestras.

correlación no es muy alto, resultando de sólo el 43 por 100 de la variación en el rendimiento. Sin embargo, hay que recordar que los rendimientos efectivos de trigo sólo han sido estimados a ojo (realizados por varios agentes de extensión agraria por todo el país) bajo diferentes condiciones físicas de desarrollo, de suelo, altitud y clima. Además, no se pudo disponer siempre de los datos pluviométricos que se necesitaban de algunas localidades determinadas. Durante el análisis de los datos pudo observarse que la relación lluvia/rendimiento de trigo era, para la región del Mar Caspio, muy diferente de la que se obtenía para el resto del país. Mientras que en todo el Irán la demanda de agua excede al suministro y es el factor determinante del rendimiento, en la región del Mar Caspio el suministro de agua excede a la demanda y ya no es factor limitativo de la cosecha. Las enfermedades tales como la roya, las malas hierbas o las prácticas agrícolas tienen en esta región una significativa incidencia sobre los rendimientos de trigo y se necesitará un modelo mucho más complicado para calcular los rendimientos.

La regresión lineal simple, excluyendo los datos de la región del Mar Caspio donde la lluvia media anual oscila entre 600 y 2.000 mm, dio también resultados significativos a pesar de que el coeficiente de correlación

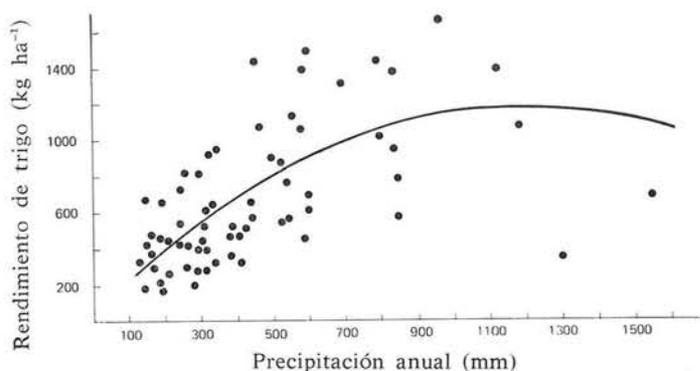


Figura 1.—Relación entre la lluvia anual y la cosecha de trigo en Irán (muestras obtenidas visualmente).

fue inferior ($R = 0,54$), pero la muestra fue bastante amplia ($n = 57$) y altamente significativa (1 por ciento). La figura 1 muestra la relación existente en Irán entre la lluvia total anual y los rendimientos de trigo, calculada basándose en el método de muestreo visual.

En una larga serie de experimentos se obtuvieron datos mucho más exactos. Los datos de rendimiento de trigo se basan generalmente en un promedio de 6 a 9 repeticiones experimentales, cuidadosamente recolectadas y pesadas. Se obtuvo una buena correlación entre la lluvia total y el rendimiento de trigo. Los mejores resultados de los datos experimentales fueron obtenidos utilizando el primer modelo ($R = 0,72$) sobre una muestra ordinaria ($n = 32$) que fue altamente significativa (1 por ciento). El coeficiente de correlación podría haber sido más elevado si los datos pluviométricos

tricos hubieran podido obtenerse siempre de las parcelas experimentales. Sin embargo, esto ocurrió raras veces. El coeficiente de correlación representa el 51 por ciento de la variación del rendimiento.

La figura 2, muestra la relación existente entre la pluviometría total anual y el rendimiento de trigo, obtenida a partir de datos experimentales de este último. Se probó a aplicar la regresión lineal simple a los datos experimentales excluyendo los correspondientes a los rendimientos de trigo encontrados en la región del Mar Caspio. Los resultados fueron significativos, con un coeficiente de correlación inferior ($R = 0,52$) sobre una muestra ordinaria ($n = 20$) y significativa al 5 por ciento. Se obtuvieron rendimientos de trigo más elevados en condiciones experimentales que en las comerciales. Esto es debido, indudablemente, a las mejores prácticas agrotécnicas empleadas y a las diferencias en el tamaño de la parcela cultivada.

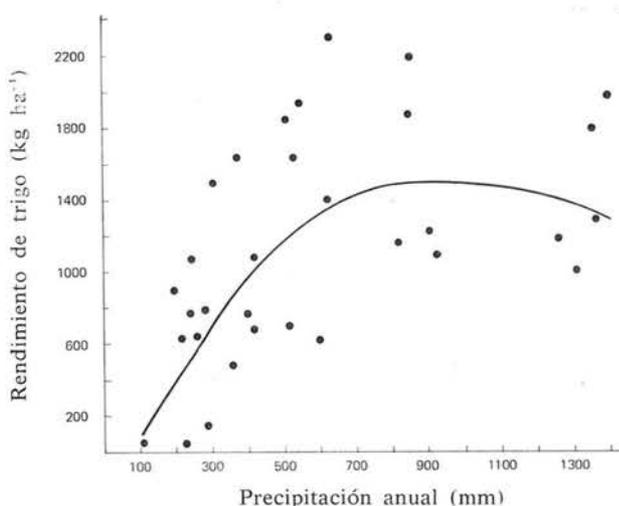


Figura 2.—Relación entre la lluvia anual y la cosecha de trigo en Irán (datos experimentales)

Estudio de los resultados

El trigo se siembra generalmente, antes de la estación lluviosa y se recolecta desde el principio hasta la mitad del verano, bastante después de acabar dicha estación. Por tanto, parece que en tales condiciones climáticas los rendimientos de trigo pueden ser previstos a partir de los datos pluviométricos. El hecho de que las prácticas agrotécnicas sean relativamente sencillas, de que no se empleen fertilizantes o se haga en poca cantidad en el cultivo de trigo en zonas de buena pluviometría y de que se empleen predominantemente variedades locales, parece simplificar teóricamente las técnicas de predicción.

También han sido utilizados en todos los análisis los datos pluviométricos procedentes de estaciones meteorológicas simples. Desde luego, es verosímil que se obtenga una mejor correlación utilizando datos pluviométricos zonales y rendimiento de trigo por regiones que empleando valores aislados de lluvia, obtenidos a partir de sencillas estaciones pluviométricas. Tales análisis están todavía por hacer.

Por último, debemos recordar que aunque la lluvia es ciertamente el más importante factor determinante del rendimiento de trigo en las zonas áridas y semiáridas de Irán, otros factores ambientales y agrotécnicos pueden contribuir a la determinación del rendimiento. Las heladas invernales afectan ciertamente a la planta de trigo y, aunque la cosecha final puede compensar algunas veces la pérdida de plantas con el aumento de producción de las supervivientes, esto no ocurre siempre. Otra condición ambiental que limita los rendimientos del trigo es las altas temperaturas durante la floración y el estado lechoso, especialmente si van acompañadas de bajas humedades relativas. En tales circunstancias los rendimientos pueden reducirse considerablemente, sobre todo cuando la humedad del suelo es crítica.

La respuesta del rendimiento del trigo a los factores ambientales depende también de las características varietales. En Irán, el trigo común (*Triticum aestivum*) es cultivado en todo el país y muestra gran variabilidad por lo que puede claramente suponerse que las variaciones en el rendimiento debidas a diferencias varietales deben ser del orden del 10-20 por ciento.

Sin embargo, a pesar de todo lo expuesto y hasta que se desarrollen modelos más complicados, parece ser que en las regiones árida y semiárida de Irán pueden hacerse predicciones de rendimiento de trigo a partir de datos pluviométricos anuales. Esto deberá confirmarse ante todo, experimentalmente, puesto que está en marcha un programa de comprobación.

Reconocimientos

Este estudio fue realizado en estrecha cooperación con el Servicio Meteorológico de Irán y el Ministerio de Agricultura. Se debe especial agradecimiento al Sr. A. P. Navai, director general del Servicio Meteorológico y a la Srta. G. Nemat, jefe de la división de investigación y política científica, por su interés personal y por las instalaciones ofrecidas. Los datos sobre rendimientos de trigo fueron amablemente facilitados por el Sr. C. H. Rejali, director de la División Económica y Estadística del Ministerio de Agricultura, y por el Sr. H. A. Rezvani, de la Estación de Investigación Agrícola de Karadj. Sus asesoramientos personales y sus ayuda fueron inapreciables.

Esta investigación no se hubiera llevado a cabo sin la ayuda diaria de la Srta. F. Mirbabai que ayudó a la obtención de los datos biológicos y meteorológicos, y del Sr. S. Benjamini, que comprobó y ayudó a tabular los resultados.

BIBLIOGRAFIA

- ARMY, T. J. (1959): *Precipitation yield relationships in dryland wheat production on medium and fine-textured soils of the southern high plains*. Agron. J. 51, 12, 721-24.
- COLE, J. S. (1938): *Correlation between annual precipitation and the yield of spring wheat in the Great Plains*. Techn. Bull, U. S. Dept. Agric., pág. 40.
- GANGOPADHYAYA, M., y SARKER, R. P. (1965): *Influence of rainfall distribution on the yield of wheat crop*. Agric. Meteor. 2, 331-350.

- LOMAS, J., y SHASHOUA, Y. (1970): *The effect of rainfall on wheat yields in an arid region.* En las Actas del Simposio sobre respuesta de las plantas a los elementos climáticos (Uppsala, Suecia). Unesco. (En preparación.)
- LOMAS, J. (1971 a): *Meteorological factors favouring and limiting the economic production of wheat.* Quinta reunión de la Comisión de Meteorología Agrícola de la OMM, Ginebra. (Doc 15. Ap. B).
- LOMAS, J. (1971 b): *Economic significance of dryland farming in the arid northern Negev of Israel.* (Remitido para publicación.)
- PERRIN DE BRICHAMBAUT, G., y WALLÉN, C. C. (1963): *A study of agroclimatology in semi-arid zones of the Near East.* Nota técnica n.º 56 de la OMM, Ginebra.
- STAPLE, W. J., y LEHANE, J. J. (1954): *Wheat yield and use of moisture on seed stations in southern Saskatchewan.* Can. J. Agric. Sci., 34, 460-468.
- STANHILL, G. (1970): *Simplified agroclimatic procedures for assessing the effect of water supply.* En las actas del Simposio sobre respuesta de las plantas a los elementos climáticos (Uppsala, Suecia). Unesco. (En preparación.)
- WILLIAMS, G. D. V. (1969): *Weather and prairie wheat production.* Can. J. Agric. Econ. 17, 1, 99-109.

CLIMATOLOGIA FISICA Y DINAMICA

SIMPOSIO CELEBRADO EN LENINGRADO EN AGOSTO DE 1971

El simposio sobre Climatología física y dinámica, organizado conjuntamente por la OMM y la Asociación Internacional de Meteorología y Física Atmosférica, y celebrado en Leningrado, U. R. S. S., del 16 al 20 de agosto de 1971, constituyó un animado acontecimiento científico. En él participaron 144 científicos procedentes de 22 países. Les dio la bienvenida en la sesión inaugural el Dr. Yu. A. Izrael, director adjunto del Servicio Hidrometeorológico de la U. R. S. S. y representante del país anfitrión. El Dr. A. M. Obukhov habló en representación de la Academia de Ciencias de la U. R. S. S.; fue seguido del Sr. O. M. Ashford, representante del Secretario General de la OMM; del profesor H. Flohn, que había presidido el comité de planificación del simposio; del profesor H. E. Landsberg, presidente de la Comisión de aplicaciones especiales de la meteorología y de la climatología de la OMM, y del profesor M. I. Budyko, autor de la idea del simposio y que representaba al comité organizador local.

Había designados seis temas para las sesiones, enviados cada uno por uno o más de los invitados a hacerlo. El comité de planificación había aceptado otros 30 trabajos, la exposición de muchos de los cuales fue seguida de animadas discusiones. Resulta lógicamente imposible hacer justicia a todas las comunicaciones en una breve reseña, pero las impresiones del observador que suscribe pueden al menos dar una idea bastante clara de las mismas.

Trabajos solicitados y deliberaciones

En el trabajo preliminar a las sesiones, que versaba sobre *Balance de energía de la Tierra*, señaló el profesor Budyko que, por lo menos, sobre la tierra, armonizaban bien los valores calculados y los medidos del ba-