

Utilización de un modelo agrofísico para evaluar la productividad del trigo (*Triticum aestivum* L.) con y sin riego¹

Eduardo Salgado V.², Jorge García-Huidobro P. de A.³ y Aldo Norero Sc.⁴

INTRODUCCION

A medida que aumenta el conocimiento de los diversos fenómenos involucrados en el proceso de producción agrícola, aumenta el grado de complejidad que se requiere para interpretar adecuadamente sus resultados.

Bajo condiciones específicas dicha interpretación se facilita con el uso de relaciones cuantitativas, que permitan asignar ponderaciones objetivas a las diversas variables que intervienen, estructurando de esta forma un modelo, que según Loomis, Williams y Hall (1971), es el resumen de un cuerpo coherente de datos experimentales en un orden funcional, de naturaleza causal o asociativa y cuyo valor es esencialmente el mismo del uso del método científico.

Un modelo de crecimiento del vegetal permite, entonces, interpretar la influencia de los diversos factores que lo determinan, extrapolar datos a diferentes condiciones, establecer prioridades y analizar comparativamente los resultados.

Por otra parte Norero (1977)⁵ indica que a través de un modelo es posible predecir ta-

les normas de manejo para los cultivos que maximicen sus producciones determinando una mayor eficiencia de uso de los recursos del medio ambiente. Así, propone un modelo agrofísico para estimar la productividad primaria de los cultivos, en que cuantifica los procesos de fotosíntesis, respiración y transpiración, como parámetros básicos del crecimiento vegetal.

La porción de suelo y atmósfera que ocupan las plantas, que Norero (1978) llama fitósfera, determina según sus características morfoestructurales, modificaciones del clima—cuyo resultado denomina fitoclima— lo que a su vez define la magnitud de los procesos de crecimiento señalados, cuando existe un adecuado suministro de nutrientes y no se presentan agentes patógenos que signifiquen pérdidas de material acumulado o alteraciones fisiológicas del tejido vegetal.

Mediante el modelo, es posible calcular la tasa de crecimiento del cultivo y su producción total durante su ciclo reproductivo, como una respuesta de la fitósfera a las condiciones de clima y suelo en que se desarrolla.

Considerando que la descripción cuantitativa de las interrelaciones involucradas en el crecimiento vegetal constituyen una adecuada interpretación de la influencia de los diversos factores que lo determinan, se planteó el presente trabajo, para estudiar el comportamiento del modelo propuesto por Norero (1977)⁵ y cuyo objetivo es comparar la productividad de un cultivo de trigo bajo dos regímenes hídricos, con la estimada mediante el modelo agrofísico.

¹Recepción originales: 13 de septiembre de 1978.

²Ing. Agr. M.S., Profesor de las Cátedras de Relación Suelo-Planta-Agua y Métodos de Riego, Departamento de Horticultura, Escuela de Agronomía, Universidad Católica de Valparaíso, Casilla 4, Quillota-Chile.

³Ing. Agr. M. Phil., Líder nacional de los Programas de Riego y Ecología de la Producción Agropecuaria, Estación Experimental La Platina, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, (INIA), Casilla 5427, Santiago, Chile.

⁴Ing. Agr., Ph. D., Profesor de la Cátedra de Agrofísica. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT), Apartado Postal 219, Mérida, Venezuela.

⁵Comunicación Personal.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se llevó a cabo durante la temporada 1976, en la Estación Experimental La Platina del Instituto de Investigaciones Agropecuarias ubicada en la comuna La Granja, Santiago, Chile.

El clima, mediterráneo-marítimo (Papadakis, 1966), presenta una temperatura mínima media entre $-2,5$ y 7°C ; una temperatura máxima del mes más frío, entre 10 y 21°C y una relación de precipitación a evapotranspiración de $0,44$.

El suelo, Xerorten típico (Narbona, 1975), correspondió a la serie Santiago con textura franco arcillo-arenosa y profundidad media de 60 cm.

Previo a la siembra se aplicaron al suelo 80 kg/ha de nitrógeno como urea y 70 kg/ha de fósforo (P_2O_5) en forma de superfosfato triple, para proporcionar un adecuado suministro de nutrientes al cultivo. Se sembró trigo cv. Mexifén, el 12 de junio de 1976, en una dosis de 160 kg/ha de semilla.

Los riegos se efectuaron por el método de bordes con láminas de agua necesarias para reponer el contenido de humedad del suelo, correspondiente a capacidad de campo.

Cuando las plantas presentaron estado de macolla, se aplicó 2,4-D amina para controlar malezas.

El ensayo consistió en dos tratamientos con dos repeticiones, realizado en parcelas de 10×20 m.

Los tratamientos de régimen hídrico fueron: sin riego y con riegos sucesivos, para mantener la tensión de humedad en el suelo inferior a $0,8$ bares.

La cosecha se realizó el 16 de diciembre para el tratamiento sin riego y el 28 del mismo mes para el tratamiento regado.

En cada parcela experimental se determinó la materia seca acumulada en nueve períodos durante el ciclo vegetativo, en muestras de 50 cm lineales de plantas cortadas a nivel del suelo.

Las curvas de crecimiento del cultivo para cada tratamiento se construyeron con el promedio de las repeticiones.

El contenido de humedad del suelo, se determinó gravimétricamente en muestras obtenidas entre $0-30$ y $30-60$ cm de profundidad, en las mismas oportunidades del muestreo de plantas.

El cálculo del crecimiento a través del modelo propuesto se realizó para los 9 períodos

correspondientes a la determinación experimental.

La utilización del modelo requirió determinar en el cultivo los siguientes parámetros, cuya metodología ha sido descrita por Salgado (1978): índice de área foliar (F); ancho máximo de hojas (l); altura del cultivo (H); profundidad de raíces (D); relación de pesos secos de masa no foliar respecto a masa foliar; relación de nitrógeno.

Se emplearon, además, los siguientes parámetros climáticos: velocidad del viento (U_z); radiación global (Rg); temperatura media diurna del aire (T_a); temperatura media nocturna del aire (T_n); horas de insolación diaria (i); humedad relativa (HR); nubosidad (n); coeficientes de transmisibilidad de las nubes (k); largo teórico del día (Nd).

En el suelo se determinó la curva característica de retención de humedad, la densidad aparente y el contenido de humedad correspondiente a saturación. En las mismas oportunidades del muestreo de plantas, se determinó el contenido de humedad del suelo. Los datos se presentaron como potencial mátrico (P) promedio del perfil.

Se estimaron los siguientes parámetros de la fitósfera, de entre los recopilados por Norero (1976): Coeficiente de extinción del viento (γ); coeficiente de extinción de luz ($0,52$); coeficiente de forma de hojas ($0,65$); albedo de las plantas (al); albedo del suelo ($0,10$); potencial umbral de cierre de estomas (-10 b); potencial de marchitamiento permanente (-15 b).

Las características estomáticas se obtuvieron de Meidner y Mansfield (1968).

Los valores considerados para todos los parámetros incluidos en el modelo, se presentan en los cuadros 1 y 2.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la figura 1 se presentan los resultados obtenidos para la materia seca acumulada por el cultivo y la calculada por el modelo, para los dos tratamientos del estudio. Estos valores están expresados relativos al máximo medido experimentalmente.

Se observa en la figura que el tratamiento sin riego presenta un menor grado de ajuste entre ambas curvas que el tratamiento con riego, disminuyendo en este último la precisión a partir de aproximadamente el 80% del ciclo vegetativo, lo que indica que en esta última fase del cultivo, la tasa de creci-

Cuadro 1 — Valores utilizados en el modelo. Índice de área foliar (F), altura del cultivo en cm (H), ancho de la hoja en cm (l), potencial mátrico en bar (P) y albedo de las plantas (al).

Trata- miento	Pará- me- tros	Días después de siembra								
		46	58	68	82	102	121	138	153	167
Sin Riego	F	0,30	0,69	0,90	1,88	1,99	1,65	0,84	0,21	0,01
	H	7,65	10,29	13,45	19,25	31,10	54,07	74,20	80,71	81,24
	l	0,30	0,45	0,60	0,80	1,20	1,20	0,90	0,90	0,90
	P	-0,335	-0,335	-0,374	-0,374	-0,611	-0,645	-1,342	-15	-15
	al	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,22	0,41	0,55	0,60
Con Riego	F	0,30	0,69	0,90	2,37	3,29	2,85	2,48	1,74	0,39
	H	7,65	10,29	13,45	20,31	37,45	63,30	89,04	99,17	101,81
	l	0,30	0,45	0,60	0,80	1,30	1,30	0,94	0,94	0,90
	P	-0,335	-0,335	-0,300	-0,374	-0,446	-0,356	-0,614	-0,766	-0,832
	al	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,17	0,23	0,34	0,54

Cuadro 2 — Valores de los parámetros climáticos, utilizados para cada período de cálculo.

parámetros	Días después de siembra								
	46	58	68	82	102	121	138	153	167
Uz (m seg ⁻¹)	1,26	1,16	1,30	1,73	1,49	1,26	1,92	2,24	2,07
Rg (cal cm ⁻² d ⁻¹)	166,15	289,55	263,35	342,74	352,48	371,65	524,41	581,92	715,25
Ta (°C)	10,32	9,06	9,79	10,00	13,93	14,64	16,33	19,37	22,64
Tn (°C)	7,04	4,47	6,17	5,09	8,41	9,40	10,64	12,61	14,13
i (horas)	2,26	6,65	5,26	6,22	5,67	5,00	8,74	9,63	13,93
HR (%)	76,79	75,88	79,74	71,82	71,44	72,10	66,25	66,03	44,75
n (décimos)	2,26	6,67	5,26	6,44	5,70	5,19	8,92	9,89	12,99
k (x10 ⁻¹)	1,06	0,84	0,96	0,89	0,86	1,30	0,89	0,67	0,40
ND (min)	621	639	658	660	714	736	780	801	840

Uz = velocidad del viento.
 Rg = radiación global.
 Ta = temperatura media diurna del aire.
 Tn = temperatura media nocturna del aire.
 i = horas de insolación diaria.
 HR = humedad relativa.
 n = nubosidad.
 k = coeficiente de transmisibilidad de las nubes.
 ND = largo día (min.).

miento calculada disminuyó con respecto a la determinada en forma experimental. Sin embargo, en el tratamiento sin riego se observa que en el período comprendido entre el 50 y 80% del ciclo, dicha tasa fue mayor que la experimental, invirtiéndose la relación a partir de ese momento.

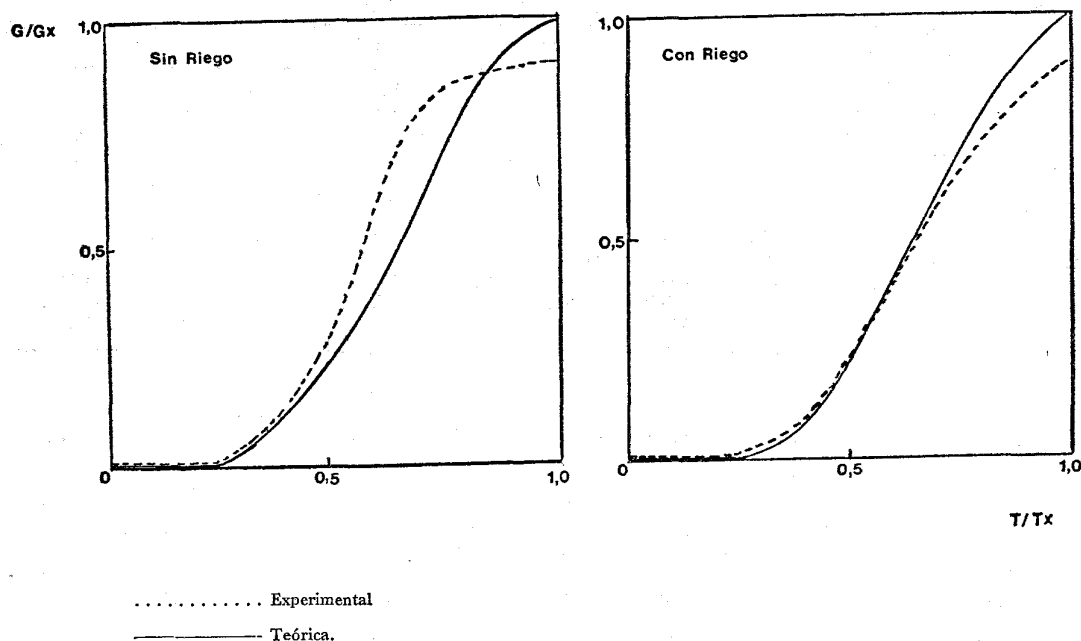
Lo anterior podría explicarse considerando que el modelo incluye como área fotosintéticamente activa sólo al tejido foliar y no cuantifica la posible contribución de los tejidos verdes no foliares, que según Puckridge (1971) pueden aportar entre un 39 y un 44% de la fotosíntesis total, durante la fase del llenado de granos en cereales, etapa en que

el área foliar ha disminuido marcadamente, especialmente en el tratamiento sin riego (Salgado, 1978).

Por otra parte, al comparar las tasas medias de crecimiento experimental y calculadas correspondientes al período de crecimiento activo (días 80 a 150) (Cuadro 3), se obtiene que el modelo predijo la tasa de crecimiento del cultivo con un error de $\pm 10\%$.

El menor ajuste que se observa a partir del día 150 después de siembra, podría explicarse considerando que la declinación del índice de área foliar, la menor flexibilidad de las plantas y los cambios de forma que pueden experimentar las hojas al aumentar

Figura 1 — Materia seca relativa, experimental y calculada, para los diversos regímenes hídricos.



Cuadro 3 — Tasas de acumulación de materia seca, durante el período de crecimiento activo de trigo bajo dos regímenes hídricos. ($\text{gr m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

Tratamiento	Calculada	Experimental	$\frac{\text{Calculada}}{\text{Experimental}}$
Sin riego	9,96	9,54	1,04
Con riego	17,02	18,85	0,90

la marchitez, modifican el régimen turbulento de la cubierta vegetal y con ello las resistencias difusivas al dióxido de carbono y vapor de agua, que regulan los intercambios con el medio atmosférico.

El desarrollo de la madurez determina, además, disminución del ángulo de inserción de las hojas, menor transmisibilidad de luz y progresiva clorosis, lo que disminuye la can-

tidad de luz disponible, especialmente en las hojas más bajas de la planta.

Estos hechos señalan que la estricta verificación del modelo requiere rigurosas mediciones experimentales de estos parámetros, lo que no fue parte de los objetivos de este estudio.

En el cuadro 4 se presentan los rendimientos medidos y calculados para cada tratamiento. Se observa que en ambas condiciones de abastecimiento hídrico, los rendimientos calculados son menores que los observados experimentalmente. La relación entre ambos valores representa un 10% de reducción de los valores teóricos respecto de los experimentales, lo que puede explicarse en base a la menor tasa de acumulación de materia seca calculada respecto de la medida observada en las últimas fases del ciclo del cultivo, de acuerdo a lo discutido anteriormente.

Del análisis comparativo de los resultados se puede concluir que el modelo propuesto por Norero simula adecuadamente el crecimiento del cultivo, lo que significa que es

Cuadro 4 — Rendimientos medidos y calculados en trigo, bajo dos regímenes hídricos.

Tratamiento	Rendimiento medido (qq/ha)	Rendimiento calculado (qq/ha)
Sin riego	30,27	27,13
Con riego	69,73	62,83

porible estimar la productividad máxima de una cubierta vegetal que se desarrolla bajo determinadas condiciones impuestas por el ambiente edáfico y climático, bajo un adecuado suministro de nutrientes y en ausencia de patógenos que ocasionen pérdidas o daño del tejido vegetal.

Este análisis permitiría independizar los estudios del crecimiento, de las condiciones ambientales que lo determinan, haciendo posible comparar resultados de diversas temporadas y zonas climáticas.

R E S U M E N

La productividad del trigo bajo dos regímenes de humedad, se evaluó utilizando el modelo agrofísico propuesto por Norero, que considera la interacción entre la cubierta vegetal y su medio ambiente.

Los regímenes de humedad usados fueron sin riego y con riego a 75 cb, medidos a 40 cm de profundidad.

Los resultados experimentales mostraron un buen ajuste en ambos tratamientos. El modelo predijo los rendimientos de materia seca y grano con un error inferior al 10%.

S U M M A R Y

USE OF AN AGROPHYSICAL MODEL TO ESTIMATE WHEAT PRODUCTIVITY (*Triticum aestivum* L.) WITH AND WITHOUT IRRIGATION

Wheat productivity under two water regimes was evaluated using an agrophysical model proposed by Norero. This model evaluates the interaction between the plant canopy and its environment.

The water regimes used were irrigation made at a tension of 75 cb measured 40 cm depth, and without irrigation.

The experimental results showed a good adjustment in both treatments. Field production was predicted with less than a 10% error. The same situation was found for the dry matter production along the growth period.

L I T E R A T U R A C I T A D A

- LOOMIS, R. S., WILLIAMS, W. A. HALL, A. E. 1971. Agricultural productivity. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 22: 431-468.
- MEIDNER, H and MANSFIELD, T. A. 1968. *Physiology of stomata*. MacGraw-Hill, New York.
- NARBONA L., J. 1975. Estudio genético de los suelos derivados de sedimentos del cono principal del Río Maipo, Universidad Católica de Chile. Santiago (Tesis Ing. Agr., mimeografiada).
- NORERO S., A. 1976. La evapotranspiración de los cultivos, aspectos agrofísicos. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Venezuela. 138 p.
- 1978. La fitósfera: El ambiente físico de las plantas. *Cienc. e Inv. Agr. Santiago, Chile, Univ. Católica.* 4: 263-272.
- PAPADAKIS, J. 1966. *Climates of the world and their agricultural potentialities* (ed. Autor). Bs. As. Argentina.
- PUCKRIDGE, D. W. 1971. Photosynthesis of wheat under field conditions III. Seasonal trends in carbon dioxide uptake of crop communities. *Aust. J. Agric. Res.* 22: 1-9.
- SALGADO V., E. 1978. Evaluación agrofísica y experimental de la productividad del trigo (*Triticum aestivum* L.) bajo diferentes regímenes hídricos. Depto. de Suelos, Universidad Católica de Chile, Santiago (Tesis Ing. Agr., M. S., mimeografiada).