

## Aptitud agroclimática de la provincia del Chaco para el cultivo de trigo

A. J. PASCALE Y E. A. DAMARIO <sup>1</sup>

(Recibido : 5 de setiembre de 1969)

### RESUMEN

Utilizando el método de correlación simple, parcial y múltiple entre los rendimientos del trigo en la provincia del Chaco y los factores agroclimáticos que pueden modificarlos, se determinó la aptitud agroclimática triguera regional. Los factores agroclimáticos que influyen significativamente son la temperatura invernal y el balance de agua en el período de espigazón, que al integrarlos en una función de regresión posibilitaron la estimación de una serie histórica de rendimientos. Los resultados obtenidos señalan un rendimiento medio de 1138,5 kg por hectárea cosechada con un coeficiente de variabilidad de 36,7 % valores ligeramente más favorables en comparación con las áreas septentrionales de la región triguera tradicional argentina. Se efectúan indicaciones para aumentar la seguridad y cantidad de cosecha sobre la base de las relaciones bioclimáticas y agroclimáticas deducidas.

### SUMMARY

Using simple, partial and multiple correlation method between the wheat yields in the Chaco province and the agroclimatic important factors which can modify them, the regional agroclimatic aptitude was determined. The statistical significant agroclimatic factors were the winter temperature and the water balance during the earing subperiod, which when integrated a regression function, they let to build up a yield historical series. The results obtained point out an average yield of 1138.5 kilogram per harvested hectare with a coefficient of variability of 36.7 %. These values are slightly more favorable than those of the septentrional areas of the Argentine traditional wheat region. Indications to increase the security and the quantity of yields are given on the basis of the deduced bioclimatic and agroclimatic relationships.

### INTRODUCCION

La provincia del Chaco ha experimentado en los últimos años una acentuada transformación agrícola basada principalmente en la necesidad de

reemplazar y diversificar su tradicional monocultivo algodonero. Como surge de las cifras del cuadro 1, sorgo granífero, girasol y trigo han incrementado notablemente su área cultural. Llama especialmente la atención que una especie invernal como el trigo haya despertado tanto interés entre los agricultores de una región que no dispone de condiciones bioclimáticas adecuadas para su cultivo (PAPADAKIS, 1951).

<sup>1</sup> Profesor titular y Profesor Asociado de la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas del Departamento de Biología y Ecología de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, respectivamente.

CUADRO 1. — Disminución del área sembrada con algodón en el Chaco y aumento de algunos cultivos en su reemplazo (ZENI, 1968)

Cultivo	Hectáreas sembradas		Diferencias en + o en -
	1960-61	1967-68	
Algodón	460.000	194.000	-266.500
Girasol	6.400	102.000	+ 95.600
Sorgo granífero	17.200	126.000	+109.400
Trigo	—	59.700	+ 59.700

La expansión del área triguera se funda probablemente en que siendo un cultivo de ciclo complementario al algodónero, permitiría utilizar totalmente el suelo, produciendo una entrada extra a la economía del productor. La difusión también se habrá visto favorecida por los rendimientos elevados de algunos de los últimos años. De cualquier forma, las cifras del cuadro 2 muestran que de una superficie cultivada de sólo alrededor de 2.000 ha en 1961, se pasa en forma acelerada hasta las 59.700 de la campaña 1967/68 con la distribución geográfica indicada en la fig. 1.

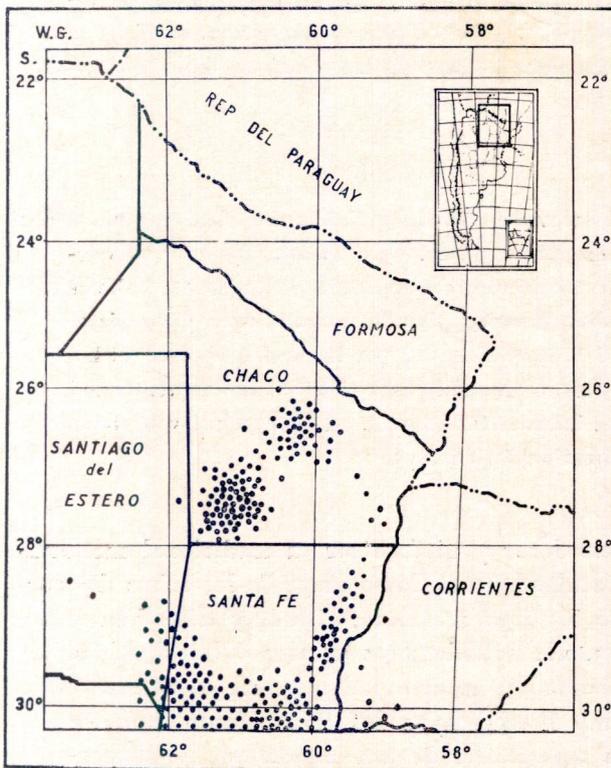


Fig. 1. — Distribución del cultivo en el área septentrional triguera en la campaña agrícola 1967/68 (1 punto = 500 ha)

Esta prolongación del área triguera tradicional argentina, exige un análisis para determinar la verdadera aptitud agroclimática de esta zona chaqueña, orientar sobre las variedades más convenientes desde el punto de vista bioclimático y estimar los posibles rendimientos medios en consideración con la variabilidad climática regional. Tal es el motivo del presente trabajo.

#### MATERIALES Y METODO

##### A) Datos

##### a) Estadística de cultivo.

Se utilizó la información anual de la Dirección Nacional de Economía y Sociología Rural de la Secretaría de Agricultura y Ganadería referente a superficies sembrada, cultivada y rendimientos del Chaco a partir de la campaña 1941/42 (Cuadro 2).

CUADRO 2. — Estadística del cultivo de trigo en la provincia del Chaco durante los últimos años

Período	Superficie			Rendim. por ha kg	Producción toneladas
	Cultivada	Perdida	Cosechada		
1960/61	—	—	—	—	—
1961/62	2.000	700	1.300	900	1.170
1962/63	1.500	—	1.500	1.067	1.600
1963/64	4.210	760	3.450	942	3.251
1964/65	5.491	171	5.320	1.828	9.723
1965/66	11.870	5.860	6.010	782	4.698
1966/67	15.200	4.260	10.940	1.508	16.500
1967/68	59.700	1.700	58.000	1.259	73.000

Dentro de esta serie fueron seleccionados los años con superficie cultivada mayor de 400 hectáreas; este criterio permitió reunir diez años útiles para el análisis, agregando a los indicados en el cuadro, los correspondientes a las campañas 1941/42, 1942/43 y 1948/49.

Los estudios agroclimáticos basados en estadísticas de cultivo, pueden conducir a apreciaciones erróneas o dudosas, tal como lo señalan BALTADORI (1961) y BOURKE (1962). Algunas de tales imprecisiones se derivan de la misma calidad y representatividad de las estadísticas, o de la información

que sirvió para prepararla. Otras deficiencias resultan de factores varios, como pérdidas por causa de enfermedades y plagas, falta oportuna de maquinaria, transporte, etc., difíciles o imposibles de cuantificar aunque siempre presentes para enmascarar la influencia de los factores biometeorológicos que hacen fundamentalmente al desarrollo del cultivo. En el caso que analizamos, debe agregarse el hecho de constituir el trigo un cultivo nuevo en la región, con las ventajas y desventajas que esto supone. Todas estas consideraciones deben ser tenidas en cuenta al cotejar los valores registrados en el Chaco con los de otras zonas trigueras tradicionales.

Por último, la urgencia en producir este análisis antes de que el cultivo alcance mayores proporciones obligó a trabajar con una serie de solamente diez años, de por sí exigua para conclusiones estadísticas definitivas. Por ello, los resultados que se deducen en el trabajo son comparados con los obtenidos de series más extensas en otras regiones.

#### b) Información meteorológica.

Atendiendo a la difusión del trigo en el Chaco, se convino utilizar la información provista por las estaciones meteorológicas de Villa Angela ( $27^{\circ} 34'S$ ;  $60^{\circ} 44' WG$ ; 74 m s.n.m.) y Pcia. Roque Sáenz Peña ( $27^{\circ} 49'S$ ;  $60^{\circ} 27' W$ ; 92 m s.n.m.).

La primera es más representativa de las condiciones ambientales bajo las que se desarrollaron los trigales chaqueños, pero en el último bienio el cultivo tendió a expandirse hacia el centro de la provincia.

Por tal motivo, hasta la campaña 1964/65 se usaron para el análisis solamente los valores meteorológicos de Villa Angela, y para los años posteriores, el promedio de los de ambas estaciones meteorológicas, ponderado en función de la superficie cultivada en los departamentos centrados alrededor de cada una de ellas. Todos los datos fueron suministrados por el Departamento de Climatología del Servicio Meteorológico Nacional. Los referentes a balance hidrológico, fueron computados siguiendo el método propuesto por THORNTHWAITE y MATHER (1957) considerando una capacidad edáfica de retención de 300 mm de agua hasta el metro de profundidad.

#### c) Información fenológica.

Para estudiar la reacción bioclimática local de los diversos cultivares de trigo actualmente utilizados, es menester disponer de observaciones fenológicas provenientes de ensayos en diferentes épocas de siembra.

Por tratarse de un cultivo nuevo, la información fenológica triguera del Chaco es escasa. Las estaciones experimentales agropecuarias recién comienzan a encarar ensayos de este cereal, por lo que sólo pudieron disponerse para este estudio de los datos fenológicos de pruebas comparativas de rendimiento realizadas en las estaciones experimentales agropecuarias de Las Breñas (1964/65 y 1967/68) y de Pcia. Roque S. Peña (1967/68), para la Red de Ensayos erritoriales<sup>1</sup>.

#### B) Método de trabajo

Previa comparación de la significación estadística entre los rendimientos del Chaco para los diez años seleccionados y los simultáneos correspondientes a algunos Departamentos de la provincia de Santa Fe (Las Colonias, Castellanos y San Cristóbal) y Córdoba (San Justo), sobre el límite septentrional de la zona triguera tradicional argentina, se trató de relacionar los mismos con los elementos biometeorológicos de mayor acción sobre el trigo. Para ello se utilizó el método de la correlación simple y parcial, que permitió seleccionar los de mayor significación, que se integraron posteriormente en una correlación múltiple.

La ecuación de regresión derivada permitió estimar retrospectivamente una serie de 27 años de rendimientos en el Chaco, con la cual se pudieron hacer comparaciones e inferir sobre la aptitud triguera. Todo el tratamiento estadístico se efectuó siguiendo la metodología indicada por PEARSON y BENNETT (1942).

#### RESULTADOS Y DISCUSION

El rendimiento medio del Chaco calculado sobre superficie cosechada, según se indicó, para los

<sup>1</sup> Estos datos fueron proporcionados gentilmente por el Ing. Agr. Rómulo A. De Barbieri de la División Red oficial de Ensayos Territoriales de La Dirección Producción de Granos y Forrajes de la Secretaría de Agricultura y Ganadería a quien se agradece la colaboración.

CUADRO 3. — Comparación estadística del rendimiento de trigo en el Chaco y cuatro partidos septentrionales de la región cerealera. Valores en kg por hectárea cosechada aproximados a 10 kg

	Las Colonias	Castellanos	San Cristóbal	San Justo	Chaco
1941/42	860	960	750	930	800
1942/43	1600	1570	1260	1500	1400
1948/49	750	470	500	600	890
1961/62	950	960	700	970	900
1962/63	900	1660	930	1410	1070
1963/64	850	810	750	900	940
1964/65	1510	1900	1250	1700	1830
1965/66	500	500	480	650	780
1966/67	1000	950	870	910	1510
1967/68	900	1300	900	850	1260
Promedio	976,0	1108,0	839,0	1042,0	1138,0
$\pm$	335,3	473,5	266,3	368,1	350,4
CV %	34,4	42,7	31,7	35,3	30,8

	Correlación « r »	Diferencia media « t »	Significancia
Rendimientos del Chaco versus	Las Colonias	+ 0,81 × ×	r... { P/0,05=0,63 P/0,01=0,76
	Castellanos	+ 0,69 ×	
	San Cristóbal	+ 0,69 ×	t... { P/0,05=1,83 P/0,01=2,83
	San Justo	+ 0,70 ×	

diez años seleccionados, resultó superior al de los cuatro departamentos de comparación como surge de las cifras del Cuadro 3. La diferencia a favor del Chaco, de un 9 % en promedio, se muestra muy significativa frente a San Cristóbal y significativa frente a Las Colonias. Además, la serie chaqueña acusa una menor variabilidad para estos diez años analizados. Para los departamentos de comparación, con excepción de San Justo, se comprobó la inexistencia de significación estadística entre el rendimiento medio de la serie de diez años seleccionados y el obtenido a partir de los veintisiete años del período 1941/67, lo que permite asignar a la primera suficiente representatividad.

Cabe analizar entonces, cuáles razones determinan mayores rendimientos en una región que, aparentemente, carece de características climáticas favorables para una especie invernal como el trigo. Primariamente, no debe atribuirse el efecto a los cultivares sembrados, pues siendo en su totalidad

provenientes y originarios de la región pampeana, es de suponer que necesariamente debieron adaptarse al nuevo ambiente antes que mostrar mejor reacción que en sus lugares de origen. Clima y suelo deben explicar satisfactoriamente las diferencias señaladas; el primero, estableciendo posibilidades de acuerdo con el cumplimiento de las exigencias bioclimáticas de la especie y provocando las fluctuaciones anuales de cada lugar de cultivo; el segundo, contribuyendo a fijar la cantidad y calidad del producto, en función también de las variaciones meteorológicas.

Las disponibilidades climáticas de un determinado lugar para el cultivo de trigo, pueden analizarse a través del comportamiento fenológico *in situ* de los distintos cultivares de la especie. Bioclimáticamente, la especie trigo puede ser clasificada como paratermocíclica y parafotocíclica (BURGOS, 1952), esto es, exigiendo una variación térmica y fotoperiódica definida durante su ciclo.

Atendiendo a los requerimientos termo y fotope-

CUADRO 4. - Algunos valores agroclimáticos de la región chaqueña dedicada al cultivo del trigo (período 1941-1967)

		Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Temperatura media °C	V. Angela	17,1	14,4	14,3	16,3	18,5	21,2	23,9
	S. Peña	18,0	15,3	15,0	17,2	19,3	22,2	24,3
Temperatura máxima media °C	V. Angela	24,7	21,6	22,0	25,6	27,5	29,5	32,2
	S. Peña	25,6	22,4	22,2	25,0	27,1	29,3	31,7
Temperatura mínima media °C	V. Angela	12,3	9,2	8,0	9,4	12,0	14,7	16,9
	S. Peña	12,9	10,1	9,0	10,6	12,8	15,5	17,5
Fotoperíodo medio hs. y min.	27° latitud	11h35'	11h18'	11h27'	11h57'	12h42'	13h32'	14h16'
Evapotranspiración potencial media mm	V. Angela	47	31	31	44	58	102	121
	S. Peña	48	30	31	46	62	99	122
Precipitación media mm	V. Angela	50	26	23	17	55	97	107
	S. Peña	45	33	21	18	40	97	119
<i>Balance hidrológico :</i>								
Deficiencia de agua media mm	V. Angela	5	4	5	11	4	9	12
	S. Peña	4	4	6	11	8	17	12
Exceso de agua media mm	V. Angela	7	3	1	0	0	8	7
	S. Peña	0	3	0	2	0	6	6

riódicos para el desarrollo, los trigos argentinos fueron divididos en cuatro grupos (PASCALE y DAMARIO, 1954 y 1961) :

- I: Cultivares de mínima exigencia en frío para desarrollar y marcada indiferencia al fotoperíodo para espigar.
- II: Cultivares casi sin exigencia en baja temperaturas pero con elevado umbral fotoperiódico para espigar.
- III: Iguales características de exigencia fotoperiódica para espigar que el grupo II pero con algo de exigencia en frío.
- IV: Trigos exigentes en bajas temperaturas que requieren fotoperíodos relativamente cortos para espigar.

Con este criterio, los valores fenológicos obtenidos en las estaciones experimentales agrícolas de Las Breñas y Pcia. Roque Sáenz Peña, se promediaron por grupos para las distintas épocas de siembra, obteniéndose los valores indicados en la figura 2. Las razones del comportamiento fenológico de los cuatro grupos pueden encontrarse al cotejar sus exigencias particulares con las disponibilidades agroclimáticas regionales, alguno de cuyos elementos más importantes se consignan en el cuadro 4.

Así los cultivares del grupo I indiferentes a la duración del día y casi sin exigencia en vernalización, favorecidos por las condiciones de temperaturas diarias elevadas, espigaron con anticipación. Sembrados a mediados o fines de mayo, alcanzaron a satisfacer el poco frío que necesitan y espigaron desde fines de agosto a septiembre, en coincidencia con el período casi sin deficiencias de

agua. Los cultivares del grupo IV, también normalmente precoces cuando pueden satisfacer la vernalización que exigen, atrasaron su espigazón en el Chaco como consecuencia del invierno insuficientemente frío, aunque espigaron con cierta anticipación a los de los grupos II y III, los cuales tienen como modalidad bioclimática común la exigencia en fotoperíodo más largos para expresar su espigazón. Estos atrasos del desarrollo en los trigos de los grupos II, III y IV los expone a sufrir las deficiencias crecientes de agua en octubre y especialmente el efecto de las temperaturas demasiado elevadas para el normal proceso de maduración.

Ciertas circunstancias pueden alterar estos comportamientos. Por ejemplo, los trigos de menor exigencia fotoperiódica dentro de los integrantes de los grupos II y III (por ej.: Buck Manantial y El Gaucho F. A., PASCALE, 1969) rindieron satisfactoriamente con siembras tempranas pues la espigazón coincidió con el mes de septiembre, el más favorable para ese subperíodo del cultivo en el Chaco (deficiencias entre 4 y 8 mm). También la natural variación anual de los elementos climáticos puede modificar la fenología y, consecuentemente, los rendimientos respectivos; así un año con termofase negativa intensa, favorecerá altos rendimientos en siembras tempranas de cultivares del grupo IV.

Si bien el período fenológico estudiado es sólo de dos años, los valores de rendimientos medios para cada grupo y época de siembra, indicados también en la figura 2, confirman cuantitativamente

el comportamiento bioclimático señalado. Resulta evidente la mejor adecuación de los cultivares del grupo I y la disminución de rendimiento que produce, en todos los grupos, el atraso de las siembras.

Para explicar las fluctuaciones anuales de los rendimientos trigueros en el Chaco, es necesario correlacionarlos con las de aquellos elementos meteorológicos de mayor influencia sobre el crecimiento y desarrollo vegetal: temperatura y disponibilidad de agua.

Por ser paratermocíclico, el trigo presenta exigencias en ambas termofases anuales: en la negativa su dosis de vernalización, en la positiva los niveles térmicos suficientemente elevados para llevar las espigas hasta la maduración de los granos. A este respecto, el Chaco presenta la doble anomalía de su invierno poco frío y primavera con vientos secos y calurosos, condiciones adversas a las que DE FINA (1952), atribuye la inexistencia del cultivo en la provincia. La sequía atmosférica que produce la segunda de estas condiciones, resulta sobremanera perjudicial durante la maduración de los granos o cuando, ocurriendo durante las etapas de crecimiento y espigazón coincide con deficiencia de agua edáfica. Críticamente, la quincena previa a la espigazón ubica la etapa de máxima exigencia en agua para el trigo.

Para evidenciar la acción de estos factores meteorológicos principales, los rendimientos del Chaco en los diez años seleccionados fueron correlacionados con diversos valores térmicos e hidrológicos del período de cultivo a saber:

#### Temperatura

- Media de junio, julio y agosto (a)
- Media de los dos meses más fríos entre mayo, junio, julio y agosto (b)
- Media del mes más frío entre junio, julio y agosto (d)
- Mínima media de junio, julio y agosto (e)
- Mínima media de los dos meses más fríos entre mayo, junio, julio y agosto (g)
- Mínima media de los meses junio y julio (h)
- Mínima media del mes más frío entre mayo, junio, julio y agosto (t)
- Media de setiembre (i)
- Media de octubre (j)
- Máxima media de setiembre (k)
- Máxima media de octubre (l)

#### Humedad

- Deficiencias en agua del mes de mayo (m)
- $\Sigma$  deficiencias en agua de los meses junio, julio y agosto (n)
- $\Sigma$  deficiencias en agua de los meses junio, julio, agosto y setiembre ( $\bar{n}$ )
- Deficiencia en agua del mes de agosto (p)
- $\Sigma$  deficiencias en agua de los meses de agosto y setiembre (q)
- Deficiencia en agua del mes de setiembre (z)
- Deficiencia en agua del mes de octubre (u)
- Precipitación del mes de octubre (w)
- $\Sigma$  evapotranspiración real de los meses de mayo, junio, julio, agosto y setiembre (v)

En el cuadro 5 se indican los coeficientes de correlación lineal simples. La importancia del enfriamiento para el desarrollo del trigo queda marcada por las correlaciones negativas significativas entre rendimiento calculado sobre superficie sembrada y temperaturas de los meses invernales. Las mismas correlaciones, pero considerando rendimiento sobre superficie cosechada, dieron coeficientes que, aunque elevados, no alcanzaron significación estadística. Esta diferencia se explica porque en años desfavorables, sólo se cosechan los mejores lotes y no se tiene en cuenta los rendimientos bajos o nulos de la superficie perdida.

En el aspecto hidrológico, los coeficientes de correlación simple señalaron que este factor no influye significativamente en los rendimientos; solamente la deficiencia del mes de siembra (mayo) y el exceso de lluvia en el mes de maduración

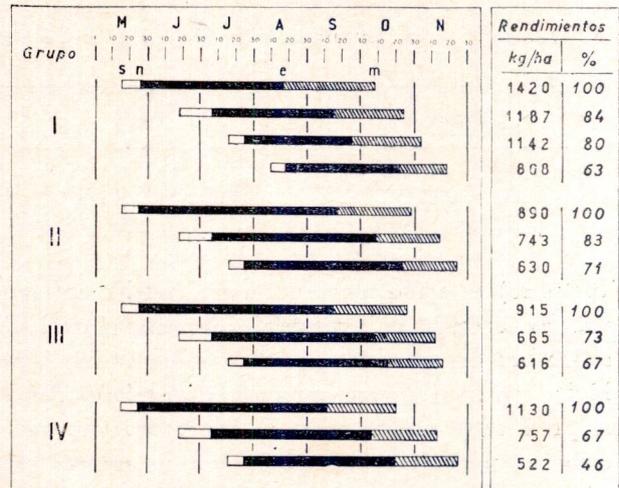


Fig. 2. — Promedios fenológicos y de rendimientos de trigos sembrados en diferentes épocas en las Estaciones Experimentales Agropecuarias de Las Breñas y Pcia. R. Sáenz Peña, agrupados de acuerdo con sus exigencias bioclimáticas (s = siembra; n = nacimiento; e = espigazón; m = maduración).

CUADRO 5. — Coeficientes de correlación simple, parcial de orden uno y múltiple, entre rendimiento de trigo en la provincia del Chaco y diferentes elementos de acción agroclimática. (Coeficientes sin corregir por términos de la serie)

Sobre superficie cosechada (y)			Sobre superficie sembrada (y')		
Simple	Parcial	Múltiple	Simple	Parcial	Múltiple
$r_{ya} = -0,472$			$r_{y'a} = -0,599$		
$r_{yb} = -0,465$			$r_{y'b} = -0,729 \times$		
$r_{yd} = -0,372$			$r_{y'd} = -0,711 \times$		
$r_{ye} = -0,519$			$r_{y'e} = -0,682 \times$		
$r_{yg} = -0,528$			$r_{y'g} = -0,684 \times$		
$r_{yh} = -0,458$			$r_{y'h} = -0,650$		
$r_{yt} = -0,584$	$r_{yt.z} = -0,808 \times \times$	$R_{y.tz} = 0,818 \times$	$r_{y't} = -0,720 \times$	$r_{y't.z} = -0,829 \times \times$	$R_{y'.tz} = 0,829 \times$
$r_{yi} = +0,344$			$r_{y'i} = +0,508$		
$r_{yj} = -0,337$	$r_{y'j.t} = -0,070$	$R_{y.jt} = 0,587$	$r_{y'j} = -0,340$	$r_{y'j.t} = -0,026$	$R_{y'.tj} = 0,720$
$r_{yk} = +0,066$			$r_{y'k} = +0,226$		
$r_{yl} = -0,446$			$r_{y'l} = -0,350$		
$r_{ym} = +0,333$	$r_{y'm.t} = +0,081$	$R_{y.tm} = 0,588$	$r_{y'm} = +0,429$	$r_{y'm.t} = +0,310$	$R_{y'.tm} = 0,715$
$r_{yn} = -0,090$	$r_{y'n.t} = -0,224$	$R_{y.tn} = 0,612$	$r_{y'n} = -0,134$	$r_{y'n.t} = -0,026$	$R_{y'.tn} = 0,720$
$r_{yñ} = -0,168$			$r_{y'ñ} = -0,104$		
$r_{yp} = -0,046$	$r_{y'p.t} = -0,127$		$r_{y'p} = -0,105$	$r_{y'p.t} = -0,100$	
$r_{yq} = -0,148$	$r_{y'q.t} = -0,386$		$r_{y'q} = -0,050$	$r_{y'q.t} = -0,379$	
$r_{yz} = -0,209$	$r_{y'z.t} = -0,705 \times$		$r_{y'z} = -0,0015$	$r_{y'z.t} = -0,591$	
$r_{yu} = +0,267$	$r_{y'u.t} = +0,051$		$r_{y'u} = +0,243$	$r_{y'u.t} = +0,232$	
$r_{yw} = -0,237$	$r_{y'w.t} = -0,008$	$R_{y.tw} = 0,585$	$r_{y'w} = -0,479$	$r_{y'w.t} = -0,306$	$R_{y'.wt} = 0,750$
$r_{yv} = -0,118$	$r_{y'v.t} = -0,215$	$R_{y.tv} = 0,610$	$r_{y'v} = -0,229$	$r_{y'v.t} = -0,173$	$R_{y'.vt} = 0,730$

× Significativo al nivel de 0,05; × × Significativo al nivel de 0,01.

CUADRO 6. — Coeficientes de correlación corregidos por número de términos de la serie

Simple	Parcial	Múltiple	Múltiple conjunta
$r_{yt} = -0,509$	$r_{yt.z} = -0,726 \times$	$R_{y.tz} = 0,758 \times$	$\rho_{y.tz(tz)} = 0,939 \times \times$
$r_{yt} = -0,677 \times$	$r_{y't.z} = -0,750 \times$	$R_{y'.tz} = 0,773 \times$	$\rho_{y'.tz(tz)} = 0,955 \times \times$

(octubre) estarían marcando una posible influencia. En cambio la deficiencia durante el mes de setiembre ( $z$ ) que, de acuerdo con el análisis fenológico anterior, correspondería al período donde se produce la mayor parte de las espigazones marcando el período crítico para agua, no mostró ningún tipo de influencia sobre el rendimiento.

Esto último y el conocimiento de la dependencia existente entre los elementos meteorológicos analizados, llevaron a calcular las correlaciones parciales posibles, para tratar de independizar cada una de las relaciones halladas, de la probable influencia de los otros elementos considerados. Para ello, se eligió el elemento que señaló los coeficientes de correlación simple más elevados tanto sobre el área sembrada como sobre el área cosechada. Esta elección recayó en  $t$ , la temperatura mínima media más baja de cualquiera de los 4 meses de mayo, junio, julio y agosto.

Se calcularon entonces las correlaciones parciales de los otros elementos manteniendo constante

el efecto de  $t$ . Fue así como surgió nítida la acción negativa de la falta de agua en septiembre cuando se la independiza del efecto de la temperatura invernal, alcanzando entonces la significación ( $r_{yz.t} = -0,705$ ) para superficie cosechada, y casi significación ( $r_{y'z.t} = -0,591$ ) para superficie sembrada. Estos dos elementos produjeron, como es lógico, las correlaciones múltiples más elevadas, como queda indicado también en el cuadro.

Para reducir la extensión del análisis se decidió continuar el estudio considerando solamente las relaciones entre  $t$  y  $z$  y los rendimientos. Previamente, los coeficientes se recalcularon para corregirlos según la extensión de la serie, de acuerdo con el método propuesto por PEARSON and BENNETT (1942). Los resultados se indican en el cuadro 6.

Puede apreciarse cómo las correlaciones parciales y múltiples corregidas se mantienen por sobre el nivel de significación estadística.

CUADRO 7. — Ecuaciones de regresión lineal y errores típicos resultantes para la serie de 10 años de rendimientos seleccionados

	Rendimiento observado		$t$ °C	$z$ mm	Rendimiento calculado	
	kg/ha cosechada	kg/ha sembrada			kg/ha cosechada	kg/ha sembrada
1941/42	800	540	9,0	3	887	593
1942/43	1.400	1.400	5,6	3	1.628	1.550
1948/49	890	800	6,8	23	854	791
1961/62	900	580	9,5	0	829	474
1962/63	1.070	1.070	4,1	29	1.065	1.062
1963/64	970	640	9,2	0	897	563
1964/65	1.970	1.950	5,1	0	1.830	1.779
1965/66	780	400	9,4	0	852	503
1966/67	1.530	1.120	6,7	1	1.440	1.292
1967/68	1.290	1.260	6,9	4	1.319	1.163

$y = 2989,878 - 227,47 t - 47,23 z + 3,17 (tz)$	$S_y \pm = 102,9 \text{ kg}$
$y' = 3292,647 - 296,74 t - 56,09 z + 5,15 (tz)$	$S_{y'} \pm = 110,2 \text{ kg}$

CUADRO 8. — Estimación de una serie de rendimientos de trigo en la provincia del Chaco utilizando las fórmulas de regresión desarrolladas en este análisis agroclimático y comparación con las reales del área más septentrional de la región triguera argentina. (Periodo 1941/42 - 1967/68).

Años	Provincia del Chaco				Departamentos de comparación			
	Zona de influencia de		Chaco total		Castellanos	Las Colonias	San Cristóbal	San Justo
	V. Angela	S. Peña	Sobre hectáreas					
	Sobre has cosechadas		Cosechadas	Sembradas	Sobre hectáreas cosechadas			
1941/42	890	720	820	490	962	800	748	930
1942/43	1.630	1.410	1.490	1.380	1.566	1.600	1.263	1.500
1943/44	1.750	1.650	1.690	1.600	856	810	350	773
1944/45	620	330	430	0	350	400	300	400
1945/46	1.280	1.150	1.220	980	500	462	958	400
1946/47	1.150	830	970	840	1.000	950	350	600
1947/48	1.580	1.400	1.490	1.330	1.643	1.567	1.000	1.543
1948/49	850	950	910	790	470	750	500	600
1949/50	1.120	640	870	620	1.520	1.350	1.020	950
1950/51	1.030	670	850	560	1.000	1.200	400	600
1951/52	690	190	440	270	350	350	250	300
1952/53	1.810	1.540	1.680	1.630	1.700	1.500	800	950
1953/54	1.820	1.230	1.530	1.500	900	1.100	820	300
1954/55	870	780	640	500	1.900	1.550	1.200	1.400
1955/56	1.460	1.260	1.360	1.320	1.350	1.550	1.100	700
1956/57	1.210	1.280	1.260	1.080	1.250	1.100	850	900
1957/58	2.150	1.970	2.060	2.080	800	1.100	950	900
1958/59	1.410	1.260	1.320	1.150	660	800	500	800
1959/60	1.030	830	940	620	1.550	1.400	1.000	1.600
1960/61	1.060	820	960	750	742	529	650	886
1961/62	830	340	560	280	959	951	700	966
1962/63	1.060	1.350	1.230	1.220	1.656	895	933	1.413
1963/64	900	530	720	320	810	850	750	900
1964/65	1.830	1.690	1.760	1.690	1.900	1.512	1.250	1.700
1965/66	990	690	830	470	500	500	480	650
1966/67	1.560	1.320	1.440	1.280	950	1.000	868	907
1967/68	1.440	1.100	1.270	1.120	1.300	900	900	850
Promedio	1.260,0	1.034,4	1.138,5	958,1	1.079,4	1.017,6	773,7	904,4
$\sigma$	408,7	441,6	417,5	510,9	475,3	388,0	297,2	395,6
C. V. %	32,4	42,7	36,7	53,3	44,0	38,1	36,1	43,7
Significación de la diferencia del rendimiento medio sobre superficie cosechada para Chaco total y los departamentos					no	no	muy signif.	significativo

Se continuó el análisis suponiendo que la influencia de la deficiencia en agua de septiembre debería tener distinto significado o peso según fuera el grado de vernalización alcanzado por el cultivo. Efectivamente, así sucedió, pues al efectuar el cálculo de la correlación múltiple conjunta que

tiene en cuenta esa circunstancia, los coeficientes de correlación se elevaron a  $\rho_{y \cdot tz} = 0,939$  y  $\rho_{y' \cdot tz} = 0,955$ , con significancia muy superior al 99 %.

Debe indicarse que el agregado de un tercer elemento a estas correlaciones no modificó sustan-

cialmente los coeficientes, resultando justificada la reducción del estudio a los dos elegidos.

Comprobada así la influencia de la temperatura invernal y la humedad de setiembre, se calcularon las ecuaciones de regresión lineal entre los rendimientos de los diez años y los términos de la correlación múltiple conjunta, cuyo resultado se indica en el cuadro 7.

Para hacer una estimación suficientemente aproximada del verdadero rendimiento medio regional a través de un cultivo prolongado, que integre las variaciones anuales de los elementos meteorológicos responsables y sus interacciones, con las fórmulas obtenidas se pudo reconstruir una serie completa a partir de la campaña 1941/42, suponiendo la utilización de variedades y prácticas similares a las actuales.

En el cuadro 8 se indican los resultados correspondientes al Chaco total, calculados con el promedio de los valores meteorológicos de V. Angela y Peia. R. S. Peña considerando una distribución uniforme del área sembrada. Por este motivo, aparecen algunas diferencias con los rendimientos del cuadro 7, calculados a partir de datos ponderados. La incidencia desfavorable de los inviernos más calientes de la zona central y norte de la provincia queda indicada por las diferencias de rendimiento obtenidos al aplicar por separado la fórmula a los datos de cada estación meteorológica.

A los rendimientos calculados para el Chaco no se los corrigió por tendencia debido al siguiente razonamiento. Según CAFFERA (1963) el incremento anual del rendimiento de trigo para todo el país en el período 1937/38-1957/58 es de 16,1 kg/ha, valor que hubiera sido mayor de haberse extendido la serie hasta las últimas campañas agrícolas. El cálculo de la tendencia para los departamentos de comparación del área septentrional triguera dio para las series 1941/42-1967/68, también indicadas en el cuadro 8, coeficientes de + 9,1; + 7,0; + 4,6 y - 1,0 kg/ha para Castellanos, San Cristóbal, San Justo y Las Colonias, respectivamente, con lo cual queda evidenciada una atenuación del beneficio fitogenético varietal en las zonas marginales del cultivo. Esto es comprensible si se piensa que la obtención de trigos mejorados se realiza con propósitos distintos a los de resistencia o acomodación a adversidades climáticas que son las que fundamentalmente hacen

variar los rendimientos en las áreas marginales. Por otra parte, la no corrección de la serie chaqueña (de rendimientos calculados) fue decidida al comprobarse la falta de significación estadística en las tendencias mencionadas. Asimismo, no mostraron tendencia los parámetros térmicos e hidrológicos que se usaron en la confección de las fórmulas de estimación de rendimientos en los 27 años analizados ( $b_t = + 0,018^\circ \text{C/año}$  y  $b_z = + 0,007 \text{ mm/año}$ ).

Es conveniente aclarar que las series estimadas para el Chaco cuantifican solamente el efecto de temperatura y humedad, excluyendo otras causas que podrían haber contribuido a determinar los rendimientos reales en los departamentos de comparación. Sin embargo, los coeficientes de correlación entre rendimientos y la temperatura invernal o la deficiencia en agua durante la espigazón, calculados para el área septentrional triguera con los datos meteorológicos de Ceres, Rafaela y Esperanza resultaron significativos o muy significativos en todos los casos. De tal forma, puede deducirse que la variabilidad de los rendimientos de trigo es atribuible en su mayor parte a tales factores.

Finalizado el estudio se pudieron disponer las estadísticas correspondientes a la campaña triguera 1968/69, caracterizada por un invierno caliente y primavera seca. De acuerdo con la información oficial los rendimientos medios chaqueños (calculados en la forma antes indicada), fueron de 766 y 536 kilogramos por hectárea cosechada y sembrada, respectivamente. La aplicación de las fórmulas de regresión a los valores meteorológicos del mismo año, permitió obtener las aceptables estimaciones de 695 y 541 kilogramos por hectárea.

#### TIPOS AGROCLIMÁTICOS PARA EL CULTIVO DE TRIGO EN EL CHACO

La aplicación de la clasificación agroclimática para el cultivo de trigo propuesta por los autores (PASCALE y DAMARIO, 1961) determina para el Chaco el tipo de agroclima térmico "sin frío" (*D'*), con temperatura media del mes más frío superior a  $10^\circ \text{C}$ . Este tipo, inapto para trigos con exigencia en enfriamiento invernal, incluye todas las regiones trigueras mundiales que utilizan cultivos que no requieren vernalización para superar el período de desarrollo,

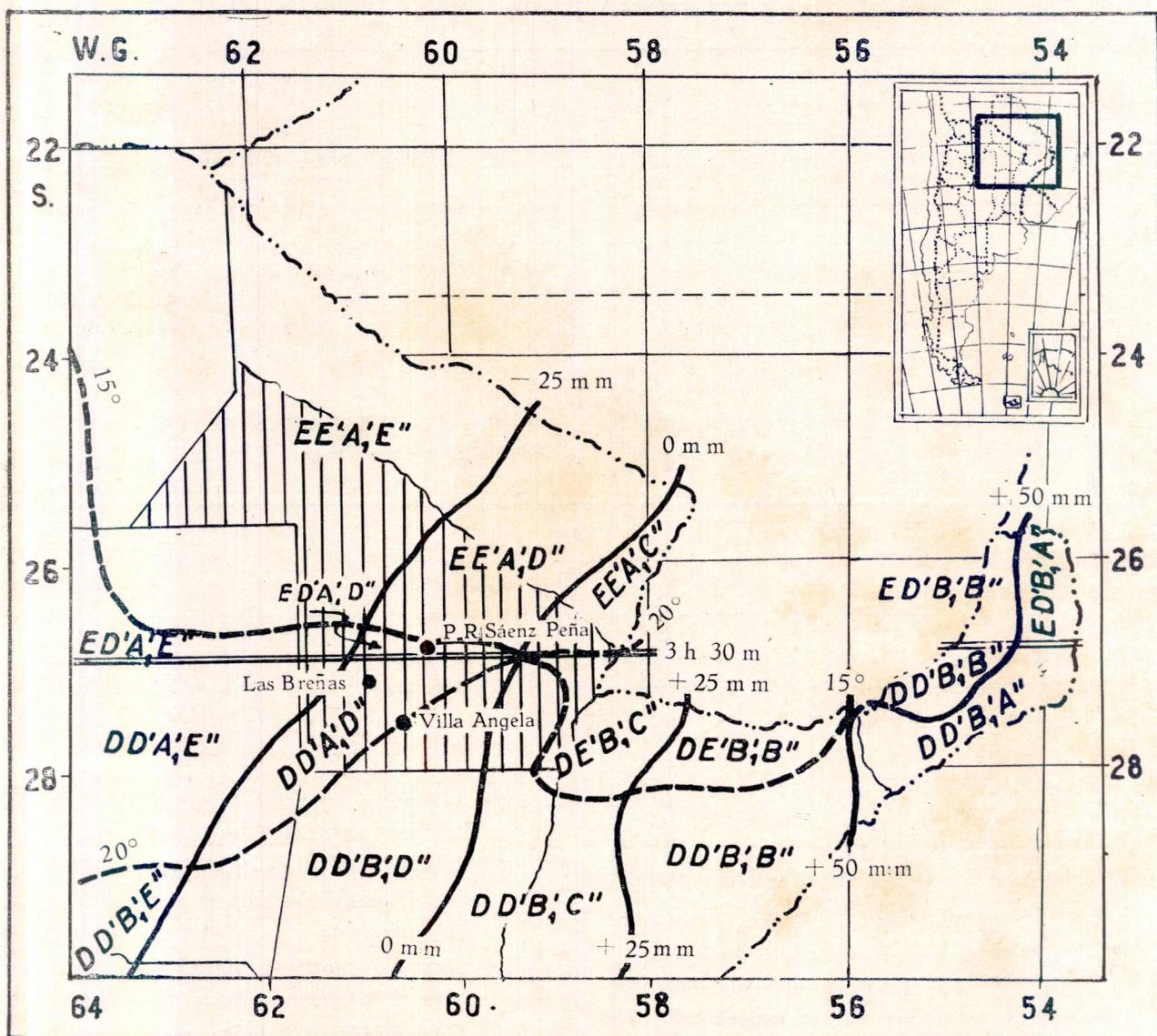


Fig. 3. — Tipos agroclimáticos trigueros del norte argentino

El creciente aumento del área triguera mundial a regiones intertropicales con la utilización de variedades bioclimáticamente adaptadas a esas condiciones, aconseja efectuar una subdivisión del tipo término *D'*, para tener en cuenta la diferente amplitud diaria de la temperatura que posibilita, en ciertos casos, el cumplimiento termofásico negativo de trigos poco exigentes.

El análisis desarrollado para el Chaco dio las bases para la modificación que se propone a continuación en el cuadro 9.

La subdivisión en zonas *D'* y *E'* se justifica por-

que una temperatura media del mes más frío inferior a 15° C, puede acompañarse con enfriamientos nocturnos suficientes para trigos con poco requerimiento en vernalización. En la región chaqueña argentina esa temperatura media mensual se corresponde con una mínima media de aproximadamente 9° C. En el tipo *E'*, con media mensual superior a 15° C, es muy poco probable que se registren mínimas medias tan bajas y, si así ocurriera, las máximas medias correspondientes tendrían un efecto devernalizante. Por tal motivo, este tipo de agroclima se designa "caliente",

CUADRO 9. — Regiones térmicas : a) Termofase negativa del período vegetativo

Clasificación de 1961			Modificación propuesta		
Zonas	Indice climático Temperatura media del mes más frío del año	Tipos de agroclima	Zonas	Indice climático Temperatura media del mes más frío del año	Tipos de agroclima
A'	Inferior a 0° C	Muy frío	A'	Inferior a 0° C	Muy frío
B'	entre 0° y 5° C	Frío	B'	entre 0° y 5° C	Frío
C'	entre 5° y 10° C	Templado	C'	entre 5° y 10° C	Moderadamente frío
D'	superior a 10° C	Sin frío	D'	entre 10° y 15° C	Poco frío
			E'	Superior a 15° C	Caliente

Con esta modificación se ha trazado la carta de tipos agroclimáticos triguero del norte argentino

(figura 3), correspondiéndole a la provincia del Chaco, los agroclimas:

Fotoperiódicos	Térmicos		Hidrológicos
	Termofase negativa	Termofase positiva	
D = fotoperíodo corto	D' = poco frío	A' <sub>1</sub> = caliente	C'' = subhúmedo-húmedo
E = fotoperíodo muy corto	E' = caliente	B' <sub>1</sub> = templado	D' = subhúmedo-seco
			E' = seco

#### CONCLUSIONES

El análisis de la aptitud triguera de la provincia del Chaco desde los puntos de vista bio y agroclimáticos, permitió concluir:

1. El principal factor adverso es el insuficiente frío invernal para satisfacer los requerimientos termofásicos negativos de la especie. En segundo término influye la humedad del suelo en el momento de la espigazón, factor que se puso de manifiesto al independizar la acción de la temperatura invernal.
2. El rendimiento medio de la provincia del Chaco, estimado por fórmulas de regresión que incluyen los dos factores agroclimáticos mencionados, resultó de 1,138,5 kilogramos por hectárea cosechada  $\pm$  417,5 con un C.V. = 36,7 %, ligeramente más favorable, tanto en cantidad como en variabilidad, que los rendimientos reales obtenidos sobre el límite septentrional del área de cultivo tradicional en el país.
3. Los tipos de agroclimas trigueros presentes en la provincia están caracterizados por:

- a) Termofase negativa "poco fría" a "caliente" para satisfacer la vernalización,
- b) Condiciones desde "sub húmeda-húmedas" hasta "secas" durante el período crítico de la espigazón,
- c) Termofase positiva "templada" a "caliente" para el subperíodo de la maduración, y
- d) Fotoperíodos "corto" y muy "corto" para desarrollar.

4. Para lograr la mejor adecuación del cultivo a estas disponibilidades agroclimáticas, es aconsejable:

- a) Concentrar las siembras en la parte meridional de la provincia, donde los trigos actuales pueden satisfacer mejor sus exigencias bioclimáticas.
- b) Efectuar siembras tempranas de principio a mediados de mayo con la finalidad de hacer coincidir el período juvenil con la ocurrencia de las temperaturas invernales más bajas.

- c) Utilizar cultivares que además de poca o nula exigencia en frío, espiguen en le mes de septiembre, que es el de menor deficiencia en agua edáfica. Los cultivares correspondientes al tipo bioclimático I y los más precoces del grupo II son los adecuados.
- d) Procurar, sea por introducción y/o fitogenéticamente, nuevos cultivares que, además de rendimiento, calidad y resistencia a enfermedades, incluyan fundamentalmente tolerancia o indiferencia a la falta de frío invernal y tengan ciclo vegetativo acorde con las disponibilidades agroclimáticas regionales.

## BIBLIOGRAFIA

- BALTADORI, A. *II problema della Climatología Agraria*. Atti del Convegno delle culture e degli allevamenti delle avversità climatiche. Torino 21-23 ottobre 1961. Extracto publicado por el Istituto di Ecologia Agraria, Perugia: 1-14, 1961.
- BOURKE, P. M. *Crop yield forecasting*. World Meteorological Organization. CAgM III/Doc. 12, Third Session, Toronto, 1962.
- BURGOS, J. J. *El termoperiodismo como factor bioclimático en el desarrollo de los vegetales*. Meteoros. Buenos Aires, 2 (3-4): 215-242, 1952.
- CAFFERA, R. *Incremento de los rendimientos de trigo en la República Argentina*. Dirección de Producción de Granos y Forrajes. Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería. Buenos Aires: 1-21, 1963.
- DE FINA, A. L. *Difusión geográfica de cultivos índices en el Chaco argentino y sus causas*. Instituto de Suelos y Agrotecnia. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Buenos Aires. Tirada Interna N° 22: 1-63, 1952.
- PEARSON, F. A. and BENNETT, K. R. *Statistical Methods*. John Wiley & Sons. New York, 443 p., 1942.
- PAPADAKIS, J. *Mapa ecológico de la República Argentina*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Buenos Aires, I: texto, 158 p. y II Atlas, 1961.
- PASCALE, A. J. *Requerimientos bioclimáticos de trigos Argentinos*. Rev. Fac. Agr. y Vet. de Buenos Aires. 17 (2): 7-17. 1969.
- PASCALE, A. J. y DAMARIO, E. A. *El Índice Heliotérmico aplicado a los trigos argentinos*. Meteoros. Buenos Aires, 4 (3): 129-157, 1954.
- PASCALE, A. J. y DAMARIO, E. A. *Agroclimatología del cultivo de trigo en la República Argentina*. Rev. Fac. Agr. y Vet. de Buenos Aires, 15 (1): 1-119. 1961.
- THORNTHWAITE, C. W. and MATHER, J. R. *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. Drexel Institute of Technology. Publications in Climatology, Centerton, New Jersey, 10 (3): 185-311, 1957.
- ZENI, E. R. *La expansión de nuevos cultivos en el Chaco*. Bolsa de Cereales. Buenos Aires, 46 (2803): 32-33, 1967.