

ISSN 0104-1347

Criterios basados en la probabilidad de la precipitación para evaluar el riesgo agroclimático del cultivo de trigo de secano en la provincia de Córdoba, Argentina.

Approaches based on the probability of precipitation to evaluate the agroclimatic risk of rainfed wheat crop in Córdoba province, Argentina.

Antonio de la Casa¹, Gustavo Ovando² y Angel Rodríguez³.

Resumen - El cultivo de trigo en la provincia de Córdoba presenta condiciones de marginalidad agroclimática en gran parte de su territorio. Es por ello que un análisis de la probabilidad de lluvias durante el transcurso de su ciclo es efectuado para evaluar la condición de riesgo de la producción de secano. Con este propósito se aplican dos criterios de evaluación a registros pluviométricos de 5 localidades de la provincia. Mientras el primer criterio pone énfasis en la cantidad total de lluvia durante el ciclo, el segundo valora su distribución y contribución parcial en períodos de menor extensión. Los resultados permiten reconocer distintas condiciones de riesgo en la región. El sector de Marcos Juárez presenta el nivel de riesgo más bajo, donde la reserva de agua inicial es menos decisiva para alcanzar el consumo mínimo requerido que produce rendimiento. En el sector de mayor riesgo, en cambio, se debe considerar de manera prioritaria el nivel de reserva inicial de agua a los efectos de tener alguna expectativa de rendimiento favorable, porque la contribución de las lluvias durante el ciclo, en términos de la cantidad total o de su distribución, no es suficiente.

Palabras claves: trigo, sustentabilidad, precipitaciones, probabilidades.

Abstract - Wheat crop in Córdoba province presents a situation of productive marginality. For that reason, an analysis of rain probabilities provides valuable information for assessing natural restrictions of the water contribution on crop productivity. In this sense two criteria to evaluate wheat productive marginality are presented, using precipitation records of 5 locations in Córdoba. The first criterion puts emphasis on total rain during the cycle, and the second, taking into account the discontinuity of the phenomenon, values rain distribution and its partial contribution in shorter extension spells. The results in either case, being considered as complementary criteria and not opposed, permit to identify different risk conditions in the region. Marcos Juárez region, where the initial water storage is less decisive to reach the required minimum that produces yield, presents smaller risk for rainfed wheat. In the greater risk region it must be considered of high-priority way the water initial reservation level to have some favorable yield expectation because the contribution of rains during the crop cycle, in terms of total quantity or its distribution, is sufficient.

Key words: wheat, sustainability, precipitation, probability.

Introducción

El cultivo de trigo de secano en buena parte de la provincia de Córdoba presenta una condición agroclimática marginal, caracterizada por bajos rendimientos medios y poca seguridad de cosecha (PASCALE & DAMARIO, 1961). Si bien durante la

estación invernal la demanda atmosférica es reducida, el balance hidrológico resulta deficitario como consecuencia del escaso aporte de las lluvias. Esta característica hidrológica se va acentuando gradualmente en la región desde un agroclima más favorable al Este de la provincia, con un promedio anual de lluvias de 900 mm, hasta alcanzar la condición más

¹Ing. Agr. M.Sc. Profesor Adjunto. <mailto:delacasa@agro.uncor.edu>

²Ing. Agr. Jefe de Trabajos Prácticos.

³Ing. Agr. Profesor Titular. Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Iniversidade Nacional de Córdoba.

comprometida en el centro de la llanura provincial y que, de Norte a Sur, se extiende hasta el faldeo oriental de las Sierras de Córdoba. La isoyeta de 800 mm expresa la disponibilidad anual de las lluvias en este sector marginal (OVANDO *et al.*, 2000). El semestre frío aporta sólo alrededor de 20 % del total anual, lo que resulta insuficiente para cubrir los requerimientos de agua del trigo y compromete de esta forma la capacidad productiva potencial de la región.

Los ambientes marginales constituyen, desde una perspectiva de sustentabilidad, un particular desafío a la ingeniería de sistemas, en el sentido de exigir una adecuada administración del recurso hídrico a fin de reducir el riesgo de producción en seco. STEWART & ROBINSON (1997) y FARAHANI *et al.* (1998) presentan una extensa evaluación comparativa sobre el uso del recurso agua de distintos sistemas de producción de trigo, sólo o acompañado en secuencia con otros cultivos, y destacan la importancia del barbecho para completar la oferta de agua normalmente escasa durante el ciclo.

La aptitud de la provincia de Córdoba para el trigo de secano encuentra casos similares en otras áreas de producción marginal del mundo. La consigna en estas regiones es minimizar la oportunidad de estrés hídrico recurriendo a prácticas culturales que incrementen el almacenaje de agua del suelo a la siembra (MUSICK *et al.*, 1994). El análisis de la ocurrencia de lluvia provee información imprescindible a fin de evaluar las restricciones naturales sobre la productividad del cultivo, como así también en la búsqueda de estrategias de manejo que minimicen el riesgo climático (HUDA, 1994).

Los valores medios de precipitación en ambientes semiáridos suelen conducir a interpretaciones incorrectas dada la marcada variabilidad del fenómeno y, por consiguiente, es imperativo poner énfasis en su análisis probabilístico (STEWART & ROBINSON, 1997). RAVELO & SEILER (1978/79) determinaron las expectativas de lluvia en la provincia de Córdoba y encontraron que la función gama incompleta resulta un modelo adecuado para estimar probabilidades de lluvia. Por su parte, NEILD *et al.* (1987) destacaron la importancia del almacenamiento previo sobre el rendimiento final del cultivo de maíz y analizaron las probabilidades de lluvia durante la etapa anterior al cultivo a fin de apoyar a la decisión de siembra.

La cantidad y distribución de las lluvias antes y durante el ciclo son dos aspectos esenciales para evaluar la aptitud de una región de producción de

secano con relación a la demanda de agua del cultivo. En este sentido se presentan dos criterios de evaluación. El primero considera la cantidad total de lluvia durante el ciclo y a un valor mínimo de consumo de agua por debajo del cual el cultivo no produce rendimiento. Según MUSICK *et al.* (1994) la disponibilidad mínima absoluta de agua durante el ciclo del trigo corresponde a un consumo de 200 mm. Si la reserva de agua a la siembra es nula, el consumo del cultivo corresponde sólo a la lluvia y, suponiendo que ella es aprovechada por completo, se puede formular un modelo estocástico de aptitud considerando la probabilidad que el total de lluvia durante el ciclo exceda 200 mm para los casos favorables, en tanto la probabilidad complementaria indica los desfavorables. De esta forma se establece una evaluación global de la aptitud a partir de la condición más desfavorable de almacenaje previo.

Un segundo criterio resulta al considerar la distribución de las lluvias durante el ciclo, estableciendo la contribución particular de períodos de menor extensión (subperíodo mensual o bimestral) respecto al ciclo completo y, de esta forma, detectar situaciones eventuales de estrés hídrico más breves COUGHLAN (1987). Esto supone el cálculo combinatorio de la probabilidad de excedencia (casos favorables) de la contribución proporcional de cada subperíodo individual con respecto al mínimo indispensable de 200 mm. Así, la probabilidad de cada subperíodo y su combinación con la del resto, da lugar a una diversidad de situaciones intermedias respecto a los casos extremos (siempre excedencia o lo inverso).

El objetivo del estudio consiste en aplicar los criterios antes mencionados a fin de evaluar la condición de marginalidad del cultivo de trigo de secano en distintas localidades de la provincia de Córdoba. Asimismo, los resultados son sometidos a su verificación a partir de información complementaria de la condición de aridez de la región según la UNESCO (DE PAUW *et al.*, 2000).

Material y métodos

Fueron empleados datos diarios de lluvia, temperatura máxima (T_{max}) y temperatura mínima (T_{min}) registrados por el SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL (SMN) entre 1968 y 1991. Las estaciones de superficie que se utilizaron

para el estudio, su posición geográfica y altura sobre el nivel del mar se mencionan en la Tabla 1.

La información se procesó primero a nivel mensual y luego bimestral, a los efectos de presentar la información climática en concordancia a la modalidad del cultivo de trigo en la región.

El ciclo del trigo, de acuerdo a la modalidad del cultivo más común en la región, se extiende entre mayo y diciembre. En lugar de seguir un esquema fenológico detallado y específico, dado el carácter exploratorio del estudio, se estableció un ciclo que se extiende entre mayo y octubre, teniendo en cuenta que en la etapa posterior de maduración del grano el aporte de agua es menos necesario. Este período fue dividido en tres subperíodos bimestrales: mayo-junio (etapas de establecimiento y desarrollo vegetativo), julio-agosto (etapa de prefloración) y setiembre-octubre (etapas de floración y llenado del grano).

La ETMax del trigo se determinó aplicando la expresión de BLANEY & CRIDDLE (1950) siguiendo el método de cálculo con los coeficientes de brillo solar y K_c de cultivo propuestos por FAO (DOOREMBOS & PRUITT, 1977). La temperatura media mensual se obtuvo del promedio de los valores de Tmax y Tmin.

La probabilidad de lluvia del ciclo completo (mayo-octubre) y la de cada uno de los bimestres se determinó siguiendo la metodología presentada por RAVELO & SEILER (1978/79), que requiere el cálculo de los tres parámetros característicos de la función gama incompleta dicotómica: parámetros de forma (alfa), de escala (beta) y probabilidad de lluvia (q). La expresión combinatoria para evaluar las probabilidades bimestrales de contribuir a la cantidad mínima de 200 mm durante el ciclo se presenta en la Tabla 2 (COUGHLAN, 1987).

Resultados y discusión

El análisis del criterio de marginalidad a partir de la precipitación total durante el ciclo produce la

información en términos de probabilidad que presenta la Tabla 3.

Como cabe esperar de acuerdo a su posición dentro de la región triguera argentina (PASCALE & DAMARIO, 1961), Marcos Juárez presenta la condición de menor riesgo, con sólo 17% de probabilidad que la lluvia del ciclo no alcance el consumo mínimo de 200 mm. La situación de mayor riesgo ocurre en Pilar y Villa de María de Río Seco, al centro y norte de la provincia, respectivamente, con alrededor de 80% de probabilidad que la lluvia del ciclo sea inferior a 200 mm. Al resto de las localidades le corresponde algún nivel de riesgo intermedio. De esta forma se pone de manifiesto la necesidad creciente que experimentan los sectores más marginales de comenzar el cultivo de trigo con una reserva de agua suficiente para superar esta contingencia normal de lluvias escasas durante el ciclo.

Un cuadro más amplio y complejo de la condición de marginalidad se puede rescatar de la información de la Tabla 4. El criterio de marginalidad productiva basado simultáneamente en la cantidad y distribución de las lluvias durante el ciclo, pone de manifiesto una situación más restrictiva aun que en el caso anterior. Así, por ejemplo, el parámetro q en Pilar, Río Cuarto y Villa de María de RS indica que el bimestre julio-agosto, es decir 60 días consecutivos, se presenta con una frecuencia entre 5 y 9% sin la ocurrencia de lluvia. De esta forma se pone de manifiesto que las lluvias durante el ciclo del trigo no sólo son de poca magnitud, sino que además ocurren de manera esporádica.

Marcos Juárez presenta la mayor probabilidad combinada que la contribución de la precipitación de cada bimestre supere el mínimo de 200 mm durante el ciclo. Se podría interpretar en este caso que un año de cada cinco el cultivo de trigo produciría algún rendimiento en esta localidad sin la necesidad de contar con una reserva de agua previa.

Tabla 1. Ubicación de las localidades empleadas para establecer la condición de marginalidad de la producción de trigo en Córdoba.

Estación	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altura (m s/n/m)
Laboulaye	34° 08´	63° 22´	137
Marcos Juárez	32° 42´	62° 09´	114
Pilar	31° 40´	63° 53´	338
Río Cuarto	33° 07´	64° 14´	421
Villa María Río Seco	29° 54´	63° 41´	341

Tabla 2. Probabilidad bimestral y sus combinaciones de contribuir a la cantidad mínima de 200 mm durante el ciclo de trigo.

	Período			
	M-J	J-A	S-O	Ciclo
Condición	B _b	B _b	B _b	B _c
	B _b	B _b	M _b	R _c
	B _b	M _b	B _b	R _c
	B _b	M _b	M _b	M _c
	M _b	B _b	B _b	R _c
	M _b	B _b	M _b	M _c
	M _b	M _b	B _b	M _c

Referencias: Probabilidad de exceder (B_b) o no exceder (M_b) a la contribución proporcional del bimestre al consumo mínimo de 200 mm y probabilidad combinada durante el ciclo que la contribución de los tres bimestres alcance el consumo mínimo de 200 mm (B_c), que al menos en dos bimestres se alcance el consumo mínimo de 200 mm (R_c) o que no suceda ninguna de las alternativas anteriores (M_c).

En Pilar y Villa de María de RS, en cambio, se observa que en alrededor del 80 % de los años la lluvia de al menos dos bimestres se produce por debajo de la contribución media proporcional de 200 mm. Esto significa que durante dos terceras partes o en todo el ciclo, el cultivo recibe aportes de agua que lo exponen de manera prolongada a una condición de disponibilidad de agua muy limitada. Estos sitios indefectiblemente requieren disponer a la siembra de cierta cantidad de agua almacenada para alcanzar algún rendimiento.

A los efectos de verificar el empleo de la distribución gama para calcular las probabilidades combinadas de lluvia y de esta forma el alcance del modelo estocástico para evaluar la marginalidad de acuerdo a la cantidad y distribución de la lluvia, se realizó un análisis de correlación y regresión entre

los valores de probabilidad obtenidos a través del empleo de la distribución gama y los correspondientes registros empíricos de frecuencia. Los resultados de la Figura 1 muestran que el modelo teórico produce para el conjunto de localidades una adecuada representación de cuadro de frecuencias de condiciones buenas, regulares y malas, con respecto a la distribución de la precipitación durante el ciclo.

Con el propósito de evaluar la influencia del almacenamiento de agua previo, se incluye una prueba que considera el supuesto de iniciar el cultivo de trigo con diferentes contenidos de agua a la siembra (50, 100 y 150 mm). La Figura 2 muestra los resultados sólo en Marcos Juárez y Pilar, pero es interesante hacer notar la gran diversidad de situaciones que se presentan en todo el conjunto de localidades y también, de contenidos de agua previos, lo que sólo por este hecho hace probable una diversidad igual de resultados productivos a la cosecha. En este caso la importancia del almacenamiento de agua a la siembra se refleja en un aumento de la probabilidad que las contribuciones bimestrales de agua satisfagan el requerimiento mínimo de 200 mm.

Con la finalidad de verificar el alcance de estos criterios de evaluación y poner los resultados en una base comparable al de otras regiones agrícolas de secano, la información de lluvia se tradujo a los términos que expresa el criterio de aridez de la UNESCO (DE PAUW *et al.*, 2000). A tal efecto y para hacer específica la expresión al trigo, la evapotranspiración potencial del denominador en el índice de aridez fue reemplazada por la evapotranspiración máxima del cultivo. La Tabla 5 muestra para cada localidad los valores promedios del índice a nivel bimestral y del ciclo completo. Mientras que en Marcos Juárez el índice de aridez del ciclo refleja la característica de una zona semi-húmeda, el resto de localidades analizadas se identifican como semiáridas. Más aún, en Pilar, Río Cuarto y Villa de María de RS el

Tabla 3. Promedio de la lluvia caída entre mayo y octubre, parámetros de la distribución gama incompleta y probabilidad de recibir un monto de lluvia superior (B_c) o inferior (M_c) a 200 mm durante el ciclo de trigo en localidades de Córdoba.

Localidad	Lluvia (mm)	Alfa	Beta (mm)	q	B _c	M _c
Marcos Juárez	273,3	12,79	21,37	1	0,83	0,17
Laboulaye	217,2	7,58	28,67	1	0,54	0,46
Pilar	155,7	9,61	16,21	1	0,18	0,82
Río Cuarto	193,5	9,58	20,20	1	0,42	0,58
Villa de María RS	162,1	10,27	15,78	1	0,21	0,79

Tabla 4. Promedio de lluvia caída durante el bimestre, parámetros de la distribución gama incompleta y probabilidad combinada de recibir un monto de lluvia que por bimestre sea mayor o menor a la contribución media proporcional de 200 mm en localidades de Córdoba.

Localidad	Bimestre	Lluvia total (mm)	Alfa	Beta (mm)	Q	B _c	R _c	M _c
Marcos Juárez	m-j	73,5	1,99	36,94	1	0,22	0,44	0,33
	j-a	50,7	1,63	31,14	1			
	s-o	149,1	5,94	25,09	1			
Laboulaye	m-j	56,2	1,02	55,32	1	0,08	0,33	0,59
	j-a	37,9	0,89	42,65	1			
	s-o	123,1	6,49	18,96	1			
Pilar	m-j	33,0	1,39	23,85	1	0,02	0,16	0,83
	j-a	28,9	0,87	33,08	0,958			
	s-o	94,9	4,17	22,74	1			
Río Cuarto	m-j	43,7	1,93	22,61	1	0,06	0,28	0,66
	j-a	36,1	1,34	26,90	0,917			
	s-o	116,7	9,39	12,43	1			
Villa de María RS	m-j	44,6	1,26	35,31	1	0,02	0,16	0,82
	j-a	29,6	1,00	29,65	0,958			
	s-o	89,1	8,11	10,99	1			

promedio del índice en el bimestre julio-agosto es inferior al límite que separa la clase árida de la semiárida, lo que en términos generales se interpreta propio de un ambiente no apto para la agricultura de secano.

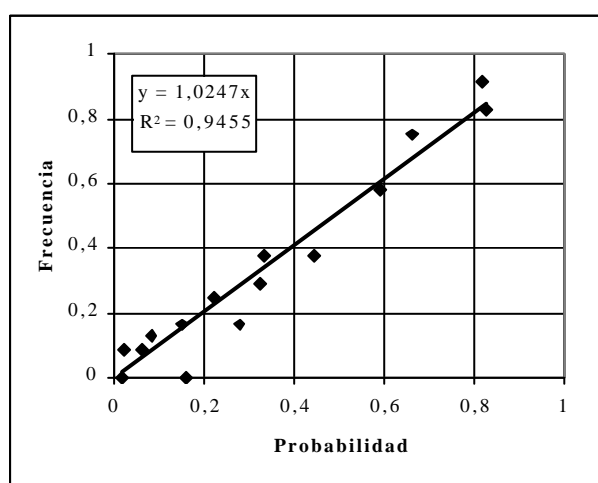


Figura 1. Relación entre la probabilidad combinada que la contribución de los tres bimestres alcance el consumo mínimo de 200 mm (B_c), que en al menos dos bimestres se alcance el consumo mínimo de 200 mm (R_c), que no suceda ninguna de las alternativas anteriores (M_c) y los correspondientes valores observados de frecuencia.

Asimismo, en la Figura 3 se muestra la relación entre el índice de aridez para el trigo y la probabilidad combinada que la contribución de los tres bimestres alcance el consumo mínimo de 200 mm. A medida que en la región se incrementa el índice de aridez (mayor humedad), también aumenta la probabilidad de ciclos que presentan la condición B_c y R_c, en tanto se reduce la probabilidad de M_c. Un polinomio en cada caso representa la continuidad geográfica de la relación.

Conclusiones

A partir de los criterios propuestos para evaluar la marginalidad del cultivo de trigo de secano y considerando que por lo general existe agua de reserva al momento de la siembra, se identificaron diferentes condiciones de aptitud en la provincia de Córdoba. A modo de condición testigo, el sector de menor riesgo lo presenta Marcos Juárez, donde la reserva inicial es menos decisiva para alcanzar el consumo mínimo de agua requerido que produce rendimiento. En el sector opuesto de mayor riesgo, tomando a Pilar de referencia, la contribución de las lluvias durante el ciclo, en términos de la cantidad total o de su distribución, por lo general es insuficiente y, en consecuencia, se debe considerar de manera prioritaria el nivel de reserva inicial de agua a los

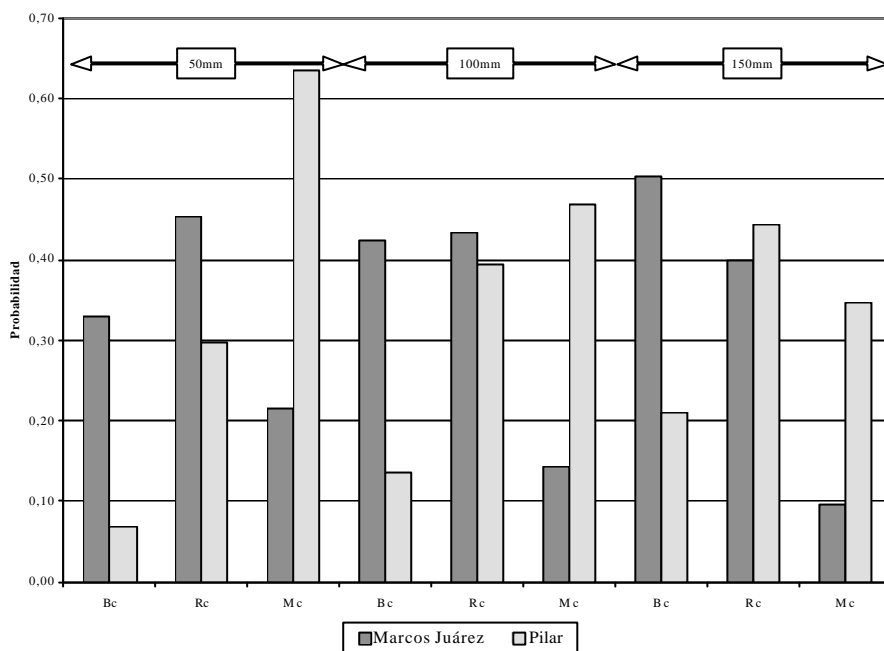


Figura 2. Probabilidad que la contribución bimestral de agua de los tres bimestres alcance el consumo mínimo de 200 mm (B_c), que en al menos dos bimestres se alcance el consumo mínimo de 200 mm (R_c), que no suceda ninguna de las dos cosas anteriores (M_c) en dos localidades de Córdoba y tres contenidos de agua del suelo a la siembra.

efectos de tener alguna expectativa de rendimiento favorable. Las verificaciones realizadas permitieron comprobar por una parte la precisión del modelo estocástico evaluado y por la otra la relación entre sus resultados y la condición de aridez de la región.

Bibliografía

BLANEY, H.F.; CRIDDLE, W.D. **Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data.** USDA(SCS), 1950. 48 p, (Tech. Paper n° 96)

COUGHLAN, M.J. **Planning for drought.** London: Wetview Press, 1987. Cap.10: Monitoring drought in Australia. p. 131-144.

Tabla 5. Índice de aridez en distintas localidades y etapas del ciclo de trigo.

Localidad	PP/ETMax			Ciclo
	m-j	j-a	s-o	
Marcos Juárez	1,16	0,28	0,60	0,56
Laboulaye	0,90	0,21	0,49	0,44
Pilar	0,51	0,15	0,38	0,31
Río Cuarto	0,71	0,19	0,48	0,40
Villa de María RS	0,36	0,12	0,39	0,28

DE PAUW, E.D.; GOBEL, W; ADAM, H.

Agrometeorological aspects of agriculture and forestry in the arid zones. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 103, n 1-2, p. 43-58, 2000.

DOOREMBOS, J.; PRUITT, W.O. **La necesidad de agua de los cultivos.** Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1986, 194 p. (FAO Riego y Drenaje, n. 24).

FARAHANI, H.J.; PETERSON, G.A.; WESTFALL, D.G. Dryland cropping intensification: A fundamental solution to efficient use of precipitation. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 64, p. 197-223, 1998.

HUDA, A.K.S. Management strategies to minimise climatic risk to wheat production in low rainfall areas of southern Australia. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 69, n° 1-2, p. 125-147, 1994.

MUSICK, J.T. et al. Water-yield relationships for irrigated and dryland wheat in the U.S. Southern Plains. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, n° 6, p. 980-986, 1994.

NEILD, R.E.; WILHITE, D.A.; HUBBARD, K.G. Preseason precipitation probabilities as an aid to corn planting decisions. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 41, n. 3-4, p. 259-266, 1987.

OVANDO, G.; DE LA CASA, A.; RODRÍGUEZ, A. Variabilidad temporal de la precipitación media anual en la provincia de Córdoba, Argentina, evaluada por medios geoestadísticos. *In*: REUNIÓN ARGENTINA DE AGROMETEOROLOGÍA, 8., 2000. Mendoza, AR, **Actas...**, Mendoza: Universidad Nacional de Cuyo, Argentina, 2000, p. 27.

PASCALE, A.J., DAMARIO, E.A., Agroclimatología del cultivo de trigo en la República Argentina. **Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria**, Buenos Aires, v. 15, n. 1, p. 3-119, 1961.

RAVELO A.; SEILER, R. Agroclima de la provincia de Córdoba. Expectativa de precipitación en el curso del

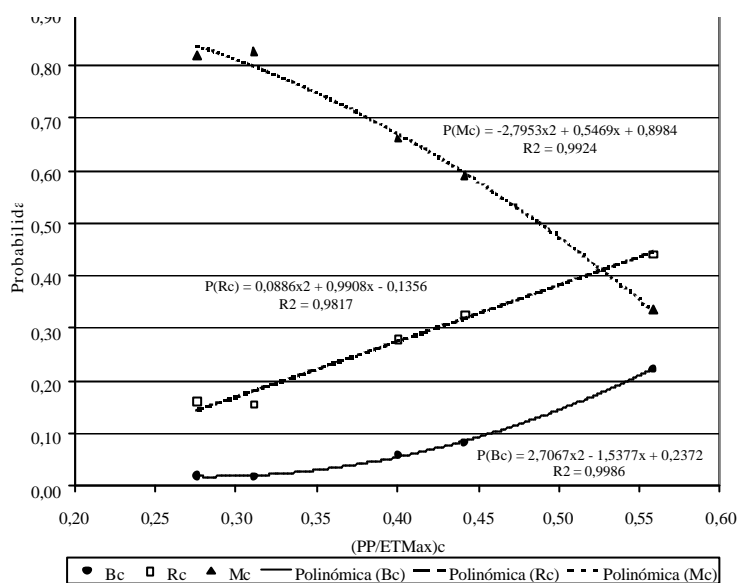


Figura 3. Relación entre el índice de aridez del trigo y la probabilidad que la contribución de la lluvia de tres bimestres alcance el consumo mínimo de 200 mm (B_c), que en al menos dos de los bimestres se alcance el consumo mínimo de 200 mm (R_c) o que no sucedan las alternativas anteriores (M_c).

año. **Revista de Investigaciones Agropecuarias**, Buenos Aires, v. 14, n. 3, p. 71-136. 1978/79.

STEWART, B.A.; ROBINSON, C.A. Are agroecosystems sustainable in semiarid regions. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 60, p. 191-228, 1997.