

FUNCIONES AGUA PRODUCCION Y EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA DE GENOTIPOS DE SOYA

Támara Diez R.¹ - Hernán Rojas P.² -
Orlando Agudelo D.³

COMPENDIO

Cuatro variedades y tres líneas de crecimiento indeterminado (Soyica P33, Soyica P34, Cesar M11 y Obando 1; L-180, L-183 y L185) y una variedad y dos líneas de crecimiento determinado (Obando2, L-181 y L-184) se sometieron a diferentes tratamientos de agua bajo el sistema de riego en gradiente. La mayor producción se presentó en el tratamiento que recibió mayor cantidad de agua (aplicación del riego con un nivel de agotamiento del 50%). Todos los genotipos presentaron reducción gradual en el rendimiento al recibir menor cantidad de agua. En los tratamientos de mayor estrés hídrico, el rendimiento fue superior para la variedad Soyica P34. Una relación lineal se obtuvo entre el rendimiento y la evapotranspiración. Se encontraron funciones polinómicas de segundo grado de forma cóncava y convexa al relacionar el rendimiento y el agua total. Las variedades comerciales presentaron mayor eficiencia del uso del agua que las líneas promisorias. Soyica P34 superó a los demás genotipos en eficiencia del uso del agua, seguida por Soyica P33 y Obando 2.

Palabras claves: Riego, Evapotranspiración, Soya

ABSTRACT

WATER PRODUCTION FUNCTION AND WATER USE EFFICIENCY IN SOYBEAN GENOTYPES

Different treatments of water were used in genotypes of soybean of undetermined (varieties Soyica P33, Soyica P34, Cesar M11 and Obando 1; promissory lines L180, L183 and L185) and determined grow (variety Obando 2 and lines L181 y L184). The biggest production in all the genotypes was obtained in the treatment of more application of irrigation water with a level of depletion of 50%. All the genotypes presented a gradual reduction in the yield when receiving smaller quantity of water. The biggest reduction was for Soyica P34 in the treatments of more water stress. A lineal relationship was obtained between the yield and the evapotranspiration. Polynomial functions of second degree in a concave and convex way between the yield and the total water were found. Soyica P34 overcomes the other genotypes in the efficiency of the use of the water and it showed smaller reduction in yield for unit of deficit of water.

Keywords: Irrigation, Evapotranspiration, Soybean

INTRODUCCION

La cantidad de agua influye sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas alterando su desempeño fisiológico y productivo. Para la optimización del agua de riego, el rendimiento se puede relacionar con alguna medida del agua utilizada por el cultivo como la cantidad evapotranspirada o el agua total recibida. Cuando el suministro de agua satisface plenamente las necesidades del cultivo, junto con otras condiciones biofísicas (disponibilidad de nutrientes, climatología, calidad de agua, características físicas y biológicas del suelo y prácticas agronómicas adecuadas), bajo criterios de sostenibilidad, se puede esperar

producciones máximas; en esta forma el suministro necesario dependerá del cultivo y de su periodo vegetativo. Cuando el suministro de agua es limitado y teniendo en cuenta las anteriores condiciones enunciadas, el rendimiento estará determinado por la medida en que puedan suministrarse las necesidades hídricas totales durante todo el ciclo del cultivo. La manera en que el déficit de agua afecta al crecimiento y el rendimiento del cultivo, varía con la especie y con el periodo vegetativo del mismo (Doorenbos y Kassam, 1988).

Las variedades Soyica P33 y Soyica P34 presentan cierta tolerancia a la sequía basados en mecanismos

¹ Estudiante de Pregrado, Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira; ² Profesor. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, A.A 237; ³ Convenio Corpoica-Coagro. AA. 233 Palmira

morfofisiológicos como tamaño de raíz, color de follaje, forma de hoja, tamaño de semilla y periodo vegetativo (Agudelo, 1994). El período de crecimiento más sensible al déficit de agua está comprendido desde floración hasta el llenado de vainas, (Jensen, 1980).

Los genotipos determinados adaptados al norte de Estados Unidos son más afectados que los indeterminados por el estrés de humedad temprano (Cooper, 1981; Stuekerjuerguen, 1982).

La optimización del agua para riego requiere el conocimiento de las funciones agua-producción, las cuales relacionan el rendimiento (Y) con el uso del agua (W). La función puede ser diferente para la misma variedad, en clima, periodo y condiciones diferentes como sistema de labranza, tipo de suelo, etc. Las funciones agua-producción deben obtenerse en condiciones no limitantes de ambiente, agua, nutrientes y libre de plagas y enfermedades. La relación entre el rendimiento del cultivo y el suministro de agua puede determinarse cuando se puedan cuantificar las necesidades y los déficits de agua del cultivo y el rendimiento máximo y real del cultivo. El déficit de agua del cultivo tiene efecto sobre la evapotranspiración del cultivo y el rendimiento final.

El riego es la principal práctica de manejo que es utilizada para aumentar la producción de cultivos o en algunos casos para aún permitir producción en cultivos en climas áridos y semiáridos, y estabilizar la producción cuando la precipitación es desuniforme en climas húmedos y subhúmedos. La tasa de suministro de agua y volumen disponible son factores críticos para el manejo del riego. Se cree que la producción en el punto (Y_{max} , ET_{max}), puede ser afectada por el exceso de agua causando la no linealidad en la relación producción versus riego. Cuando no hay uniformidad en los riegos y/o salinidad en el agua de riego, el nivel de producción económico (cuando los retornos marginales equivalen al costo marginal), puede indicar cantidades de riego más grandes que el suministro de agua total al campo (Howell y otros, 1976).

El término eficiencia del uso del agua por la planta (EUA), puede estar referido a la evapotranspiración (ET), por lo que podría hablarse de la eficiencia de ET, o a la transpiración (T) y denominarse eficiencia de la T por las relaciones tan estrechas que existen entre la transpiración y la fotosíntesis. Por otra parte, estas dos eficiencias pueden estar relacionadas con la materia seca total producida por unidad de superficie o con el rendimiento mercadeable (Hanks y otros, 1969; citados por Martín de Santa O y De Juan Valero, 1993).

En cultivos anuales existe una relación lineal entre la materia seca total producida y el consumo estacional de agua en términos de evapotranspiración o transpiración (ET o T) o en términos de la transpiración relativa (T/T_m), y evapotranspiración relativa (ET/ET_m). Donde (T/T_m), define la relación entre la transpiración real y transpiración máxima y (ET/ET_m) la relación entre la evapotranspiración real y la máxima (Hanks y otros, 1969; Puech y Bouniols, 1986; citados por Martín de Santa O y De Juan Valero, 1993).

La linealidad de las funciones rendimiento mercadeable (Y) versus evapotranspiración (ET) o (Y) versus la evapotranspiración relativa (ET/ET_m) depende de la naturaleza de los cambios en la relación entre Y y la materia seca total (G) cuando aumentan los déficits de evapotranspiración, (Stewart y Hagan, 1973).

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se planeó este experimento para profundizar sobre algunos aspectos como las relaciones entre producción de genotipos de soya y agua, y eficiencia de uso de esta. Relaciones que se obtienen sometiendo el cultivo a diferentes tratamientos de agua y tener la opción de escoger el genotipo que mejor se adapte a las condiciones hídricas para su producción.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Durante el segundo semestre de 1996, en el centro experimental «Palmira» de La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), las variedades Soyica P33, Soyica P34, César M11 y Obando 1 de crecimiento indeterminado, la variedad Obando 2 de crecimiento determinado; las líneas promisorias L-180, L-183 y L-185 de crecimiento indeterminado, L-181 y L-184 de crecimiento determinado, se sometieron a diferentes tratamientos de agua mediante la utilización del riego por gradiente. Se empleó un diseño de bloques completamente al azar con un factor no aleatorio (nivel de riego) con cuatro repeticiones, en donde los genotipos constituyeron la parcela principal y las subparcelas fueron los tratamientos de riego. Las características climáticas totales durante el experimento fueron: precipitación de 378 mm y evaporación de 580 mm.

La siembra se realizó en forma manual y continua, a una distancia entre surcos de 50 cm. Quince días después de la emergencia, se realizó un raleo a una distancia entre plantas de 5 cm. Se sembraron cinco surcos por genotipo de una longitud de 18.0 m. El riego por gradiente se inició a finales del periodo vegetativo. La cosecha se realizó en forma manual y se trilló mecánicamente.

Se usó el sistema de la línea de aspersión simple (Hanks y otros, 1976), que permite una aplicación de agua uniforme en dirección paralela a la línea de aspersión y en gradiente en dirección perpendicular a la línea de aspersión. La aplicación de agua en gradiente se dividió en seis niveles de riego (siendo el nivel uno el más cerca a la línea de aspersión y el seis el más alejado). Los tratamientos se aplicaron cuando el agua aprovechable del suelo se agotó aproximadamente el 50% en el nivel uno.

Se hicieron determinaciones de la humedad del suelo (dispersor de neutrones), riego, longitud de raíces en el nivel uno antes de aplicar el riego y rendimiento (dos surcos centrales/parcela). La cantidad de riego aplicado se determinó ubicando dos pluviómetros por nivel.

Por el procesamiento de los datos se determinó la evapotranspiración real, las funciones agua-producción (relación entre el rendimiento y la evapotranspiración y el rendimiento y el agua total), la eficiencia del uso del agua, y el coeficiente bioclimático del cultivo. La evapotranspiración del cultivo (ET), fue determinada por el método del balance hídrico.

Se relacionó el rendimiento en semilla y la evapotranspiración, el rendimiento y el agua total suministrada al cultivo (riego + precipitación) con base a regresiones polinomiales para cada genotipo, buscando el modelo de mejor ajuste a los datos obtenidos. La eficiencia del uso del agua se cuantificó mediante el factor del efecto del agua sobre el rendimiento del cultivo (Ky); el cual relaciona la reducción en el rendimiento relativo ($1 - Y/Y_m$) con el déficit de evapotranspiración relativa ($1 - ET/ET_m$), donde Y es el rendimiento obtenido en cada parcela; Y_m es la producción máxima obtenida; ET es la evapotranspiración estacional y ET_m es la máxima evapotranspiración. El coeficiente bioclimático se determinó mediante la relación entre la evapotranspiración real y

la evaporación del tanque de clase «A» multiplicado por el K del tanque. Los datos generados se sometieron a análisis de varianza y correlación; para la comparación de promedios se utilizó la prueba de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSION

Rendimiento

El rendimiento de los genotipos, varió a través de los tratamientos de riego (*Cuadro 1*). La mayor producción se presentó en el nivel uno, en general para todos los materiales, siendo superior para la línea L-181 y las variedades César M11 y Soyica P33. Todos los genotipos disminuyeron el rendimiento en cuanto el estrés hídrico fue mayor, siendo menor esta reducción en la variedad Soyica P34. Los valores más bajos en rendimiento se alcanzaron en el nivel más seco, siendo más drástico para la variedad Obando 1. El efecto del estrés hídrico sobre la producción fue menor en la variedad Soyica P34, indicando que es una de las más tolerantes a sequía. El rendimiento decrece a medida que el nivel de riego es menor, los rendimientos más altos se alcanzaron en los niveles 1 y 2 y los más bajos en el nivel 6, lo cual coincide con lo reportado por Jurado, (1994).

CUADRO 1. Rendimiento de genotipos de soya (kg ha^{-1}) bajo un gradiente de riego C.I Palmira. 1996

GENOTIPO	NIVELES DE RIEGO						
	1	2	3	4	5	6	PROM
OBANDO 1	3809	3450	3369	2893	2067	1511	2850
OBANDO 2	3533	2932	2556	2383	2160	1973	2589
SOYICA P33	4029	3399	3202	2816	2167	2117	2955
SOYICA P34	3465	2753	2866	2897	2238	2198	2736
CESAR M11	4108	3193	2771	2651	2154	2178	2842
L-181	4348	3086	2997	2476	2033	1870	2801
L-183	3236	3036	2528	2240	1823	1673	2423
L-184	3534	3102	2962	2693	1889	1667	2641
L-185	3682	3137	2957	2409	2087	1757	2671
PROM	3699	3063	2827	2570	2064	1875	2683
C.V. (%)	17.3	15	12.6	13.4	14.7	18.1	
SIGNIF	n.s.	n.s	*	*	n.s	n.s	
RIEGO(mm)	193.0	173.8	132.7	89.5	61.5	46.5	116.12
PREC (mm)	376.6	341.4	356.8	342.8	342.8	340.4	355.11
AGUA TOTAL	569.6	545.2	489.5	432.3	404.3	386.9	471.3

En la variable rendimiento se encontraron diferencias significativas entre niveles. En los niveles de riego 1, 2

y 5,6 no se presentaron diferencias significativas entre genotipos, indicando que, en los niveles extremos no hay evidencia experimental para explicar estadísticamente sus diferencias en rendimiento.

Evapotranspiración

Al relacionar la evapotranspiración y el tiempo en los tratamientos de humedad, se encontraron funciones cúbicas de la forma $Y=aX^3+bx^2+cX$, con coeficientes de determinación mayores a 0.999 con ($p \leq 0.0001$), (Figura 1). La forma de la curva de evapotranspiración, indica que existe aumento constante de evapotranspiración a través del tiempo hasta llegar a un punto donde la tasa de aumento comienza a disminuir. A partir del período de inicio de floración comienzan a apreciarse diferencias en la evapotranspiración por efecto de la aplicación del riego en gradiente.

Funciones Agua - Producción

Teniendo en cuenta que las funciones agua-producción son de importancia económica para establecer niveles óptimos de riego que permiten obtener los máximos beneficios o en casos donde el agua es escasa o de alto valor, como el agua subterránea, suprimir algunas unidades de riego para obtener la máxima utilidad (Rojas, 1985), a continuación se presentan los resultados y la discusión de las relaciones entre el rendimiento y evapotranspiración y entre rendimiento y agua total.

Rendimiento versus evapotranspiración

La relación entre el rendimiento y la evapotranspiración determinó una función lineal de la forma $Y=aX+b$ donde Y es el rendimiento (kg/ha) y X la evapotranspiración (mm) con ($p \leq 0.0001$), (Cuadro 3). La producción se incrementó en forma lineal con la

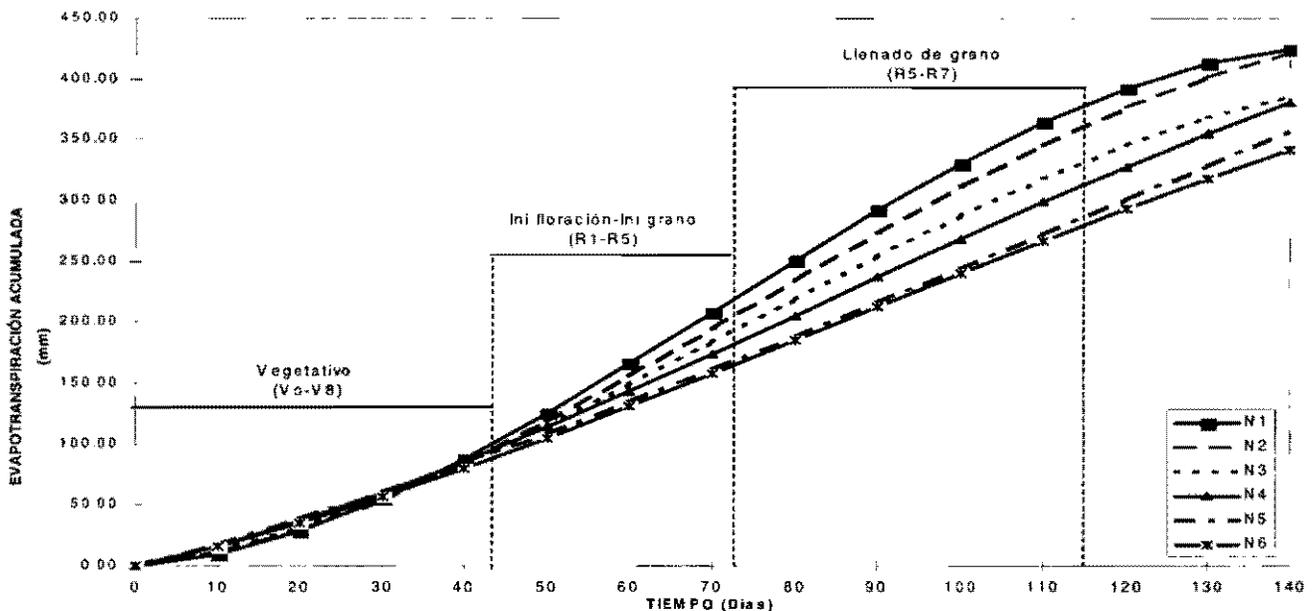


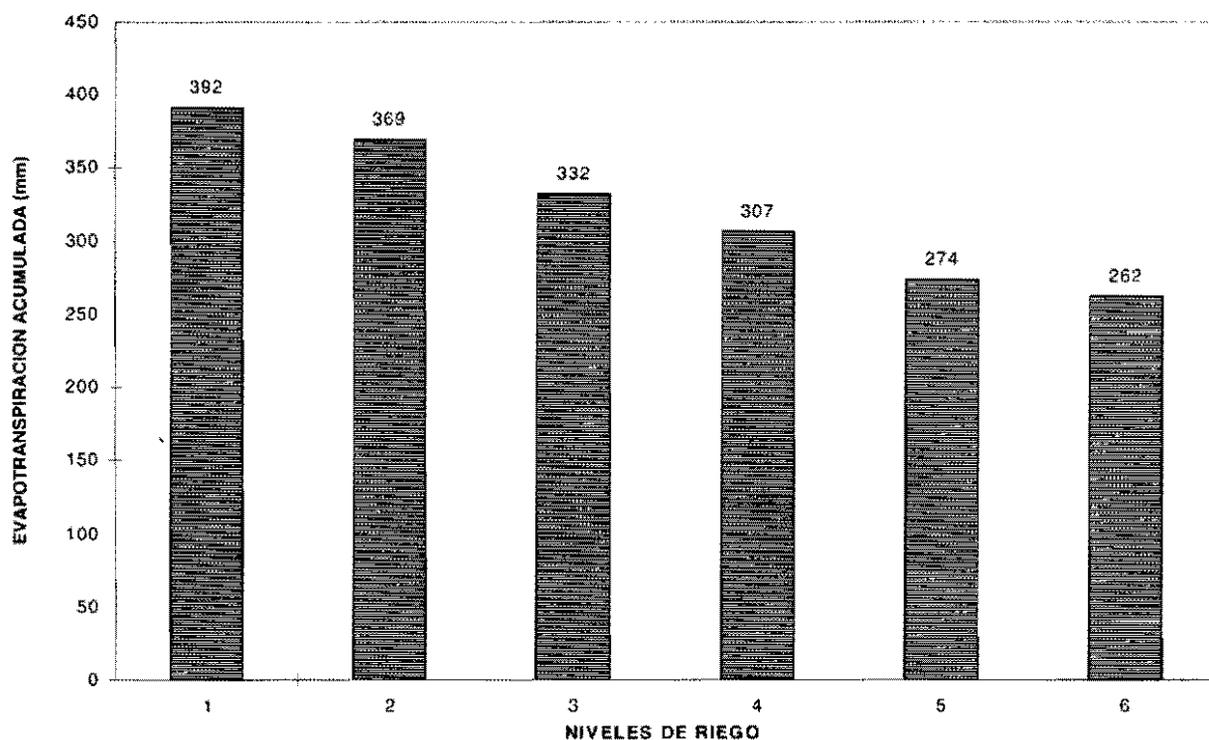
FIGURA 1. Evapotranspiración real (mm) de genotipos de soya. C.I. Palmira 1996

El comportamiento de la evapotranspiración fue paralelo al del rendimiento en todos los tratamientos de riego, es decir a mayor estrés de humedad menor evapotranspiración (Cuadro 2). La evapotranspiración aumentó con el riego hasta alcanzar el máximo en el nivel de riego 1 (mayor humedad) y decreció a partir de allí hasta el nivel 6 (Figura 2).

evapotranspiración. El intercepto y pendiente de las funciones varía entre genotipos. La relación entre la producción de materia seca y la evapotranspiración acumulada generalmente esta representada por una línea recta. Esta relación tiende a pasar a la derecha del origen para cultivos transitorios (Stewart Hagan, 1969; Hanks y otros, 1969; Neghassi et al. 1975; Hanks, 1983).

**CUADRO 2. Evapotranspiración real (mm) de genotipos de soya
C.I Palmira 1996**

GENOTIPO	NIVELES DE RIEGO						
	1	2	3	4	5	6	PROM
OBANDO 1	385	359	324	299	267	256	315
OBANDO 2	385	359	324	299	267	256	315
SOYICA P33	364	399	306	281	250	240	297
SOYICA P34	392	259	329	302	267	256	318
CESAR M11	392	385	329	302	267	257	322
L-181	403	379	337	308	270	256	326
L-183	422	411	372	353	318	301	363
L-184	385	359	324	299	299	256	315
L-185	403	385	348	325	295	286	340
L-180	385	359	329	302	267	256	316
PROM	392	369	332	307	267	262	323



**FIGURA 2. Evapotranspiración real promedio de genotipos de soya bajo
gradiente de humedad C.I. Palmira 1996**

CUADRO 3. Funciones Rendimiento - Evapotranspiración^{4/} en soya. C.I. Palmira. 1996

MATERIAL	b ^{1/}	a ^{2/}	R ² ^{3/}
P34	- 47.1	8.78	0.57
Obando 2	- 730.0	10.52	0.73
Obando 1	- 2060.5	15.67	0.76
César M11	- 865.3	11.62	0.68
P33	- 923.3	13.06	0.63
L-184	-1196.9	12.09	0.58
L-183	-1382.2	10.42	0.77
L-181	- 1436.0	12.89	0.75
L-185	- 2359.5	14.77	0.82
L-180	-850.3	10.66	0.58

1/ Coeficiente de regresión lineal

2/ Término independiente

3/ Coeficiente de determinación

4/ Rendimiento (kg/ha) y Evapotranspiración (mm)

El manejo del riego y las prácticas culturales en el periodo temprano también influyen en el intercepto con el eje de evapotranspiración (Jensen, 1980). Generalmente la relación entre la producción de grano o semilla y la evapotranspiración acumulada es lineal. Cuando ellas son curvilíneas, la no linealidad es más pronunciada cerca a los niveles más altos de ET donde se incrementan las pérdidas de drenaje como de evapotranspiración. En suelos húmedos que conducen a alta evapotranspiración, otros factores tales como deficiente aireación de la zona radical, volcamiento de la planta y un potencial alto para incidencia de enfermedades, pueden contribuir a la no linealidad entre la producción y la evapotranspiración (Jensen, 1980). La pendiente de la relación lineal varía con la especie, condiciones edafoclimáticas y frecuentemente con el estado fenológico (Stewart y Hagan, 1973; Doorenbos y Kassam, 1998). La variedad Soyica P34 reduce menos la producción por unidad de agua que no evapotranspire el cultivo (8.63kg/ha por mm de agua). La mayor reducción en el rendimiento se dio en la variedad Obando 1 (16.07 kg/ha por mm de agua no evapotranspirada) (Figura 3).

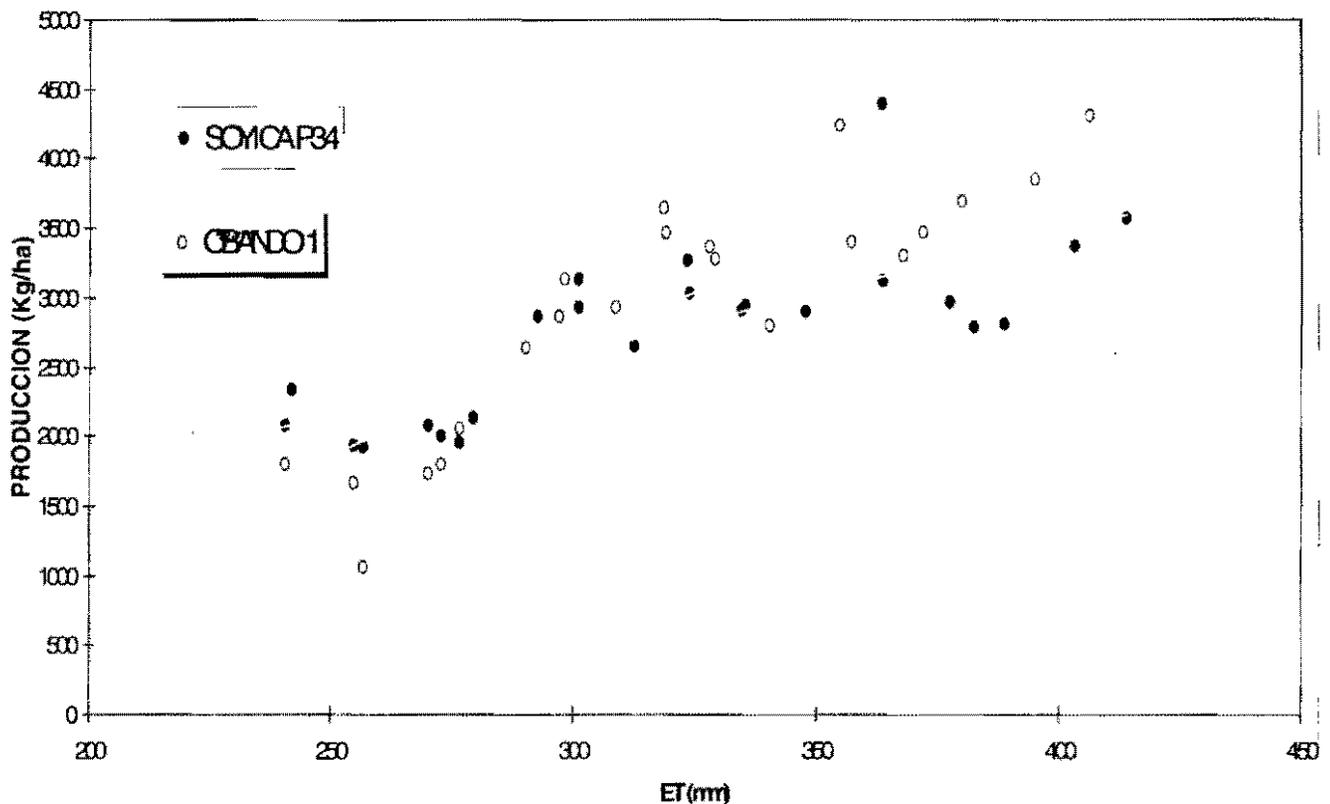


FIGURA 3. Relación entre el rendimiento y la evapotranspiración para dos genotipos de soya

Rendimiento versus Agua Total

El conocimiento de la naturaleza de la correlación entre la producción y el agua aplicada con el riego y de la expresión de dicha correlación sirve para establecer el

CUADRO 4. Funciones de Rendimiento – Agua total en soya. C.I. Palmira 1996

MATERIAL	a ^{1/}	b ^{2/}	C ^{3/}	R ² ^{4/}
L-181	0.024	-12.60	3274	0.77
Obando 1	-.058	66.60	-15296	0.81
L-183	-0.011	18.45	-3761	0.88
L-184	-0.054	61.27	-13795	0.67
L-185	-0.013	21.59	-4618	0.78
Obando 2	0.028	-19.62	5481	0.73
P33	-0.026	34.32	-7288	0.73
P34	-0.031	35.62	-7074	0.58
Cesar M11	0.034	-23.78	6339	0.72
L-180	-.013	20.02	-3944	0.64

1/ Coeficiente de regresión de grado 2

2/ Coeficiente de regresión lineal

3/ Termina independiente

4/ Coeficiente de determinación

consumo óptimo desde el punto de vista económico (Stewart y Hagan, 1973).

Al relacionar el rendimiento con el agua total suministrada a los genotipos (riego + precipitación), se encontraron funciones polinómicas de segundo orden de la forma $Y=aX^2+bX+c$ cóncavas y convexas con $p \leq 0.0001$ (Cuadro 4). La relación entre la producción y el agua puede responder a funciones lineales o curvilíneas (que pueden ser de forma cóncava y convexa) (Jensen, 1980). El tipo de relación encontrada para los genotipos Obando2, César M11 y L-181, manifiesta que el rendimiento se afecta en mayor grado en el rango de agua total cercano al óptimo, por lo que es recomendable mantener disponibilidad de humedad en el suelo que asegure una evapotranspiración alta y constante durante su periodo de desarrollo. El resto de los genotipos presentan una tasa de aumento de la producción hasta alcanzar la máxima, es decir el mayor incremento se obtiene con la primera unidad de agua, en las siguientes unidades el incremento en rendimiento disminuye hasta un punto en que una unidad adicional de agua no incrementa los rendimientos. En los genotipos que presentan una función cóncava la máxima producción se alcanza para un valor menor de agua que en los de función convexa (Figura 4).

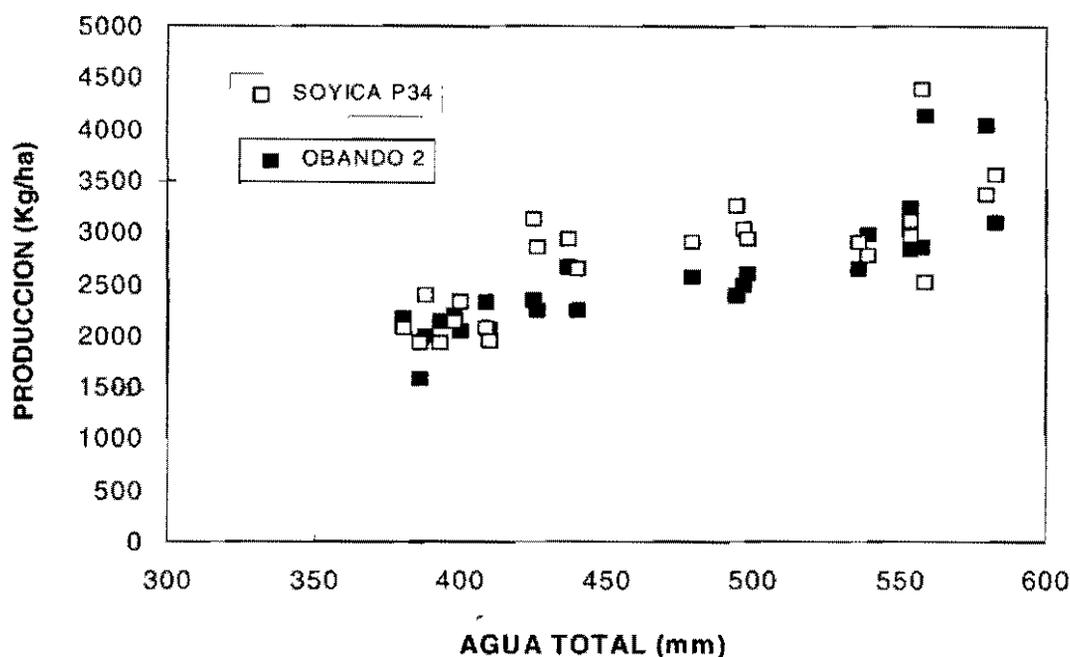


FIGURA 4. Funciones agua-producción para dos genotipos de soya. C.I. Palmira. 1996

Eficiencia en el uso del agua

Para alcanzar altos rendimientos con riego es necesario utilizar genotipos de gran producción y que manifiesten la mayor respuesta al agua, de modo que se obtenga una alta eficiencia de utilización del agua para la producción cosechada. El coeficiente de rendimiento corresponde a la pendiente de la curva ET versus rendimiento, expresada en términos de

piración relativa, se obtuvieron funciones lineales de la forma $Y=aX$, con $p \leq 0.0001$ (Cuadro 5).

La pendiente de dichas funciones determina la eficiencia del uso del agua o efecto del agua sobre el rendimiento del cultivo. La mayor eficiencia en el uso del agua la alcanzó la variedad Soyica P34 con una reducción en el rendimiento de 1.06 kg por milímetro de agua no evapotranspirada. Las variedades comerciales presentaron mayor eficiencia del uso del agua que las líneas promisorias. Al graficar la producción relativa de grano (Y/Y_{max}) como un relación lineal a (ET/ET_{max}) , el intercepto con este eje está sujeto a considerable variación, estando en el rango de 0.25 a 0.50. Los interceptos tienden al valor más bajo cuando los cultivos son tolerantes al estrés o cuando el estrés se distribuye entre los periodos de crecimiento vegetativo, reproductivo y llenado de grano. Los interceptos tienden al valor más alto cuando en los cultivos el estrés es extremo y se da en la mayor parte de periodos sensibles al estrés (Jensen, 1980). Para un déficit de evapotranspiración común, la variedad Soyica P34 redujo en menor grado el rendimiento que la línea L-180 (Fig. 5). Esto es de importancia para el agricultor, en la planificación de los genotipos a sembrar en sitios donde la disponibilidad de agua es escasa o su costo es muy alto y zonas donde las precipitaciones son bajas. En general se observa una relación directa para todos los genotipos donde a mayor déficit de evapotranspiración relativa, mayor reducción en el rendimiento, sin embargo, la que tuvo mayor capacidad para reducir esa relación fue la variedad Soyica P34.

CUADRO 5. Factor del efecto del agua sobre el rendimiento (Ky) en soya. C.I. Palmira. 1996

MATERIAL	Ky	R ²
P34	1.06	0.88
P33	1.38	0.91
Obando 2	1.38	0.94
Obando 1	1.44	0.90
Cesar M11	1.49	0.91
L-183	1.53	0.92
L-181	1.56	0.92
L-184	1.68	0.92
L-185	1.70	0.94
L-180	1.74	0.88

disminución relativa, de manera que adquiere un valor variable, aumentando en la medida que disminuye el déficit de evapotranspiración. Al relacionar la reducción en el rendimiento relativo con el déficit de evapotrans-

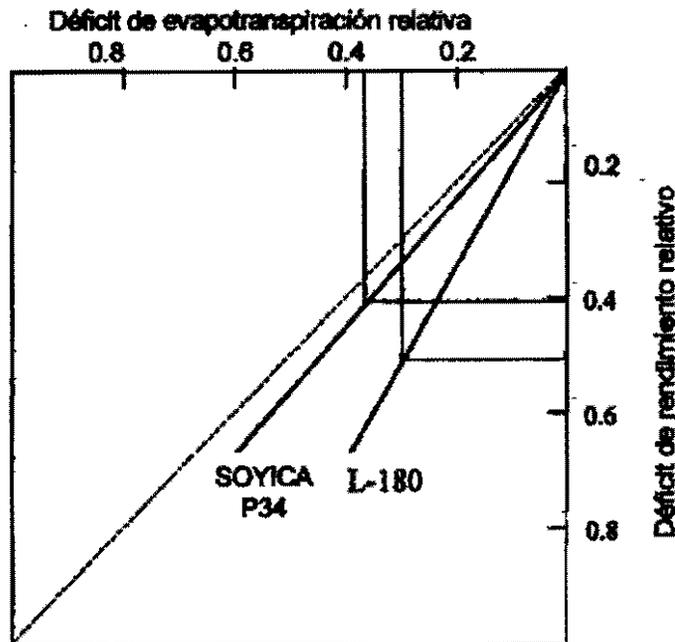


FIGURA 5. Efecto del agua sobre el rendimiento (Ky) para dos genotipos de soya. C.I. Palmira. 1996.

BIBLIOGRAFIA

- AGUDELO, O. Manejo del cultivo de la soya en el Valle del Cauca. En: ICA-CORPOICA. El cultivo de la soya. Palmira, 1994. 462 p.(Manual de Asistencia Técnica No. 60).
- COOPER, R.L. Development of short -statured soybean cultivars. *Crop Sci.* Vol 21 (1981): p127-131.
- DOORENBOS, J. y KASSAM A.H. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma: FAO, 1988, 212 p. (Estudio Riego y Drenaje No.33).
- HANKS, R.J.; GARDNER, H.R., and FLORIAN, R.L. Plant growth-evapotranspiration relations for seven crop in the Central Great Plains. *Agron J.* Vol 61. 1969. p 31,34.
- HANKS, R.J. et al. Line source sprinkler for continuous variable irrigation - Crop production studies. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* Vol. 40. 1976. p. 426-429.
- HANKS, R. J. Yield and water use relations: An overview. In limitations to efficient water use in crops productions, by H. M. Taylor, 393-411. *Crop Sci. Soc of Am., Soil Sci.* 1983.
- HOWELL, T.A.; HOFFMAN, G., and SOLOMON, K.H. Management of farm irrigations Systems. *American Society of Agricultural Engineering* p102-103 (Monography No. 9). 1976.
- JENSEN, E. M. Design and Operation of farm Irrigation System. *American Society of Agricultural Engineers. Monograph No.3.* Michigan. USA. p. 771- 779. 1980.
- JURADO, O. Evaluación de la Estabilidad fenotípica del rendimiento en genotipos de Soya (*Glycine-max (L.) Merrill*) mediante la metodología del riego por gradiente. Palmira.1994. 150 p. Tesis (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Colombia.
- MARTIN DE SANTA OLALLA, F. y DE JUAN VALERO, J. Las funciones de producción versus agua. En: *Agronomía del riego.* Madrid, España. 447-512 p. 1993.
- NEG Hassi, H.M.; HEERMANN, D.F. and SMIKA, D.E. Wheat yield models with limited soil water. *Trans. of the ASAE*, Vol 18, 1975. p 549-557.
- ROJAS, H. Riego por gradiente en algodón (*Gossypium hirsutum L.*). C.N.I. Palmira - ICA - CORPOICA. 1985. p. 19-24, 28-30.
- STEWART, J. I. and HAGAN, R.M. Functions to predict optimal irrigation programs. *Proc. Am. Soc. Eng. Div.* 99, 1973. p 241-439.
- STUEKERJUERGUEN, C.J. Response of soybeans with different growth habits to irrigation. M.S thesis. Iowa State University, 1982. 210p.