ITEA (1995), Vol. **91V N.º 2,** 110-119

EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN ALFALFA BAJO UN SISTEMA DE ASPERSIÓN LINEAL

J. J. Márquez Ortiz*
C. G. Currier**
G. Núñez Hernández*

* Campo Experimental La Laguna
Apartado Postal 247
Torreón, Coah. 27000, México.

** Departamento de Agronomy y Horticulture
New Mexico State University Las Cruces, New Mexico 88003 Estados Unidos de América

RESUMEN

La mejora de la eficiencia en el uso del agua (EUA) de cultivos bajo riego tiene potencial para incrementar la productividad agrícola en condiciones subóptimas de humedad. Los objetivos fueron comparar la EUA entre progenies de alfalfa, y determinar su heredabilidad y su respuesta a la selección bajo tres niveles humedad (alta, media, y baja). Ocho progenies de polinización abierta, con diferente producción bajo condiciones subóptimas de riego por inundación, fueron evaluadas en campo bajo un gradiente de humedad generado por un sistema de aspersión lineal durante 1988 y 1989. La EUA se midió como rendimiento de materia seca por cantidad de agua aplicada (riegos más precipitación). Los tres niveles de humedad aplicados fueron considerados variantes de riego deficitario ya que no cubrieron la evapotraspiración de la alfalfa durante el periodo experimental. Las progenies y la interacción progenies x nivel de riego mostraron efectos significativos para la EUA. La EUA de las progenies bajo riego por aspersión no concordó con su caracterización previa bajo riego subóptimo por inundación. La heredabilidad de la EUA fue mas alta en el nivel de humedad baja (h=0.55) en 1988 y en el nivel de humedad media (h=0.16) en 1989. El nivel de humedad baja tuvo la mayor respuesta a la selección en 1988 (R=0.78) y 1989 (R=0.13). Los resultados sugieren que incluso bajo condiciones deficitarias de humedad la presencia de interacciones y el grado de precisión en la aplicación de niveles subóptimos de humedad pueden conducir a resultados diferentes durante el proceso de evaluación de los materiales.

Palabras clave: Fuente lineal de aspersión, eficiencia en el uso del agua, alfalfa, evapotranspiración, déficit hídrico.

SUMMARY
WATER-USE EFFICIENCY IN ALFALFA UNDER A LINE SOURCE SPRINKLER SYSTEM

Improving water-use efficiency (WUE) in irrigated crops should increase productivity under less than optimum irrigation conditions. The objectives of this research were to compare WUE among alfalfa progenies, and to determine heritability and

selection gain of this trait under three moisture levels (high, medium, and low). Eight open-pollinated progenies, previously studied under suboptimum flood irrigation, were evaluated in the field under a moisture gradient provided by a line source sprinkler irrigation system in 1988 and 1989. Water-use efficiency was measured in terms of dry matter yield per water applied (irrigation plus rain). Soil moisture was not considered. The htree moisture levels were considered variations of deficit irrigation because they were not enough to satisfy evapotranspiration of alfalfa during the experimental period. Progenies and progenies x level of irrigation interaction had significant effects on WUE. The WUE of progenies under sprinkler irrigation did not agree with their previous characterization under suboptimum flood irrigation. The low moisture level had the highest WUE. Heritability was higher at the low moisture level (h=0.55) in 1988, and at the medium moisture level (h=0.16) in 1989. The low moisture level had the highest selection gain in both 1988 (G=0.78), and 1989 (G=0.13). These results suggest that even under deficit moisture conditions the presence of interactions and the precision of suboptimum irrgation may produce different results during the plant evaluation process.

Key words: Line source sprinkler, water use efficiency, alfalfa, evapotranspiration, water stress.

Introducción

La mejora de la eficiencia en el uso del agua (EUA) de la alfalfa ha sido poco estudiada. Antecedentes de investigación sugieren que la resistencia a la sequía de la alfalfa se puede mejorar. CURRIER *et al.* (1987) encontraron que la selección de alfalfa en un ambiente de riego deficiente incrementó el rendimiento de alfalfa en niveles de riego tanto bajos como altos. MAYERNAK (1986) observó que poblaciones de alfalfa seleccionadas bajo niveles subóptimos de humedad presentaron los mayores rendimientos bajo niveles de riego deficiente.

La estimación de parámetros genéticos de la herencia cuantitativa de la resistencia a sequía y de la eficiencia en el uso del agua ayuda a determinar el mejor método de selección para estas características. Existe variación fenotípica para el comportamiento de la alfalfa bajo condiciones subóptimas de humedad (WILSONY MELTON, 1980; WILSON *et al.*, 1983). RUMBAUGH *et al.* (1984) utilizaron un sistema de aspersión lineal para seleccionar plántulas de alfalfa en base a resistencia a sequía. La media, la varianza genética, la heredabilidad en sentido amplio, y la respuesta a la selección del peso de materia seca y la densidad de población disminuyeron al reducir la cantidad de agua aplicada. Asimismo, observaron que la varianza fenotípica fue en su mayor parte ambiental bajo el régimen de humedad baja. DADAY *et al.* (1973) estimaron la heredabilidad del crecimiento de alfalfa bajo humedad alta, media, y baja. Las heredabilidades para el crecimiento de planta fluctuaron entre 0.16 y 0.46 en los niveles de humedad alta y media, pero su valor fue de cero para el nivel de humedad baja. No existe información respecto a la heredabilidad de la EUA de la alfalfa.

La mejora de cultivos para ambientes subóptimos crea el problema de determinar el ambiente más adecuado de selección. La selección bajo un ambiente subóptimo o

desfavorable provoca una respuesta diferente entre los genotipos a evaluar, lo que permite seleccionar a los mejores individuos (BURTON, 1983). Sin embargo, los individuos seleccionados pueden llegar a funcionar bien exclusivamente en este tipo de ambientes (BLUM, 1988). Aún en el caso anterior, la selección de alfalfa bajo riego subóptimo puede aumentar el rendimiento de este cultivo tanto en ambientes de humedad óptimos como subóptimos (CURRIER *et al.*, 1987).

La selección en ambientes óptimos o favorables aumenta las varianza genética, la heredabilidad, y la respuesta a la selección en comparación a ambientes desfavorables (QUISENBERRY, 1982; ROSIELLE y HAMBLIN, 1981; RUMBAUGH *et al.*, 1984). Sin embargo, JOHNSON y FREY (1967) reportaron que la heredabilidad no siempre aumenta cuando el ambiente de selección es óptimo para el cultivo. La selección bajo ambientes óptimos se ha utilizado ampliamente con la expectativa de que el comportamiento del cultivo sea positivo cuando se presenten ambientes desfavorables. RUMBAUGH *et al.* (1983) compararon genotipos de alfalfa con diferentes grados de mejora bajo un gradiente de humedad en invernadero y campo. Los cultivares altamente mejorados (modernos) presentaron las mayores densidades de población en ambientes de humedad favorables, pero presentaron densidades de población menores que las de germoplasmas poco mejorados (colecciones silvestres) bajo ambientes de humedad baja. Asimismo, el peso de tallos fue mayor en los cultivares mejorados que en los germoplasmas silvestres en todos los ambientes de humedad.

El uso de ambientes de humedad intermedia puede generar una alta respuesta a la selección para resistencia a sequía en alfalfa (DADAY *et al.*, 1973; RUMBAUGH *et al.*, 1984; SALTER *et al.*, 1984). ROSIELLE y HAMBLIN (1981) indicaron que la selección para la productividad media en ambientes favorables y desfavorables incrementaría los rendimientos medios para ambos ambientes.

Los objetivos de este estudio fueron determinar las diferencias fenotípicas entre progenies, estimar la heredabilidad y determinar el nivel de humedad que predice la mayor respuesta a la selección para eficiencia en el uso del agua de alfalfa bajo un sistema de aspersión lineal.

Material y métodos

Este trabajo se llevó a cabo en el Centro Leyendecker de Investigación Agronómica de la Universidad Estatal de Nuevo México, 13 km al sur de Las Cruces, Nuevo México, Estados Unidos de América.

El sitio experimental consistió de un suelo Glendale arcillo limoso, calcáreo. El perfil de este suelo se caracteriza por tener horizontes superficiales arcillo limosos de 30 cm de espesor. Este tipo de horizonte se puede presentar hasta a un metro de profundidad, seguido por horizontes constituidos de arena muy fina. La permeabilidad de este tipo de suelos varía de moderada a moderadamente baja. La capacidad de retención de humedad de este suelo varía de alta a moderada (BULLOCH y NEHER, 1980).

Ocho progenies de alfalfa de polinización libre fueron escogidas para esta investigación. Dichas progenies se dividieron en dos grupos: "buenas" y "malas". Esta clasificación se basó en diferencias significativas en la producción de materia seca de las progenies durante tres años bajo condiciones subóptimas de riego por inundación. El grupo de progenies buenas con rendimiento

significativamente superior incluyó a D152, D336, D442, D704 y D837. Las progenies malas fueron D113, D216 y D231. Las progenies fueron evaluadas en un experimento de campo bajo un sistema de riego de aspersión lineal durante 1988 y 1989 para determinar el efecto de diferentes niveles de humedad en la eficiencia en el uso del agua de la alfalfa.

La preparación del terreno consistió en arado, rastreo, y nivelación en marzo de 1988. El área experimental se fertilizó antes de la siembra, 10 de abril, con 60 Kg de P_2O_5/Ha, una segunda aplicación de P_2O_5 fue realizada el 1 de abril de 1989 antes de la segunda estación de crecimiento. El experimento se sembró el 20 de abril de 1988. Se aplicaron riegos por inundación los días 21 de abril, 30 de abril, 19 de mayo, y 2 de junio para el establecimiento del cultivo.

El diseño experimental fue de parcelas divididas en arreglo de bloques al azar con cuatro repeticiones. En la parcela mayor se ubicaron los niveles de humedad (alta, media, y baja). En la parcela menor se ubicaron las ocho progenies de alfalfa Y dos cultivares testigo: "Wilson" (mejorado para condiciones subóptimas de humedad) y "Mesilla" (adaptado localmente). Las progenies se sembraron con una sembradora experimental. La parcela menor consistió de tres hileras de 1.5 m de largo, separadas a 0.3 m. Las progenies se aleatorizaron dentro de cada repetición y cada nivel de humedad.

La tubería del sistema de aspersión lineal fue colocada a lo largo del centro del terreno de acuerdo al método descrito por HANKS *et al.* (1976). Las boquillas de aspersión (modelo 30 H, Rainbird Co.) fueron ubicadas cada 6 m a lo largo de la tubería y operaron a una presión de 0.27 MPa. La superimposición de las áreas de humedecimiento, producidas por las boquillas de aspersión, crearon un patrón de humedad uniforme a lo largo de la tubería. A lo ancho, desde el centro de la tubería hacia cada uno de los lados del sitio experimental, se obtuvo un gradiente de humedad que varió de alta (centro del terreno) a baja (ambas orillas del terreno). Los centros de las parcelas mayores se localizaron a los 2.6 (humedad alta), 5.4 (humedad media), y 8.2 m (humedad baja) de distancia del sistema de aspersión en ambos lados de la tubería central, dos repeticiones por lado. La aplicación de los tratamientos de riego con el sistema de aspersión lineal se realizó a partir del 1 de julio al 6 de octubre en 1988 (7 riegos), y del 19 de abril al 17 de agosto en 1989 (12 riegos). Los riegos fueron aplicados durante condiciones de viento en calma para evitar alteraciones en la distribución del gradiente de humedad sobre el terreno.

Los cortes de la alfalfa se realizaron al 10% de floración. Los cortes se efectuaron el 19 de julio, 1 de septiembre, y 17 de octubre en 1988 y el 17 de mayo, 12 de junio, 24 de julio, y 13 de septiembre en 1989. Una cosechadora mecánica experimental fue utilizada para realizar los cortes a 5 cm de la superficie del suelo. Todo el forraje se pesó inmediatamente después de la cosecha. El rendimiento se ajustó al 100% de materia seca mediante la toma de muestras en cada repetición y cada nivel de humedad. Las muestras se pesaron y secaron en una secadora de aire a 65°C por 72 horas. Las muestras secas fueron pesadas para obtener el porcentaje de materia seca y transformar el peso fresco por parcela en peso seco.

La variable respuesta para esta investigación fue eficiencia en el uso del agua (Eva), la cual en este caso se definió como $Kg/m^3 = Kg\ m^{-3}$, i.e., materia seca en kg por cantidad de agua aplicada (precipitación más riego) en m^3 (MAUNEY, 1984). El presente

estudio no consideró el muestreo de la humedad en el suelo. Sin embargo, el agua aplicada en cada tratamiento de humedad se midió con botes de bocas de 100 mm de diámetro. Tres botes fueron colocados en forma equidistante a lo largo del centro de cada nivel de humedad (parcela mayor) en todas las repeticiones. Después de cada riego se determinó el agua aplicada con una probeta graduada en mililitros. Los datos de precipitación se obtuvieron de la estación meteorológica ubicada en el mismo centro de investigación. Seis tensiómetros fueron colocados en el centro de las parcelas con humedad alta a una profundidad de 30 cm. Los riegos se aplicaron cuando la lectura promedio de los tensiómetros alcanzaba los 0.05 MPa.

Los niveles bajo, medio y alto cubrieron en promedio el 18, 24 y 31 %, respectivamente de la evapotraspiración estimada para la alfalfa en la localidad (SAMMIS, 1981). Es decir, los tres niveles de humedad aplicada correspondieron a tres niveles de humedad subóptima. (Cuadro 1).

Los datos de EUA fueron analizados para las progenies por medio de análisis de varianza para parcelas divididas. Las diferencias entre medias fueron determinadas con la prueba protegida de diferencia mínima significativa (DMS) de Fisher. Cuando se observaron interacciones significativas

CUADRO 1
PROMEDIOS ESTACIONALES DE AGUA APLICADA Y EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA DE ALFALFA BAJO TRES NIVELES DE HUMEDAD EN BASE A TRES CORTES EN 1988 Y CUATRO CORTES EN 1989

	Promedios estacionales			
Año	Nivel de humedad	Agua aplicada[1] cm	Proporción evapotranspiracion %	Eficiencia en el uso del agua kg m^{-3}
1988	Baja	11.10	18.10	4.93 a[3]
	Media	15.20	24.02	3.36 b
	Alta	19.80	32.26	2.82 b
	DMS[2]	–	–	0.74
1989	Baja	13.20	16.20	3.05 a
	Media	18.85	23.86	2.63 b
	Alta	24.48	30.38	2.30 b
	DMS	–	–	0.34

1. El agua aplicada incluye riegos más precipitación.
2. DMS= Diferencia mínima significativa.
3. Los promedios seguidos por la misma letra no son significativemente diferentes con $P<0.05$.

($P<0.05$) entre niveles de humedad y progenies se procedió a separar las medias de las progenies dentro de cada tratamiento de humedad. En la ausencia de interacciones significativas, se analizó el promedio de los niveles de humedad y progenies. Los componentes de varianza del análisis estadístico se utilizaron para estimar la heredabilidad de la EUA (FALCONER, 1981). La respuesta a la selección para cada nivel de humedad se calculó con la ecuación: $R = (k)(\sigma)(h^2)$, donde R = respuesta a la selección, k = diferencial de selección estandarizado, σ = desviación estándard fenotípica, y h^2= heredabilidad.

Resultados y discusión

En 1988 se presentó interacción significativa ($P<0.05$) entre niveles de humedad y progenies. En general, la EUA de todas las progenies descendió a medida que aumentó el nivel de humedad. La interacción fue debido a cambios en el orden de las progenies dentro de los niveles de humedad baja y alta, ausencia de diferencias significativas en el nivel de humedad media. Por esta razón, la comparación entre progenies para 1988 se realizó dentro de cada nivel de humedad.

En 1988 las progenies tuvieron efectos significativos ($P<0.05$) en la EUA en los niveles de humedad baja y alta (Cuadro 2). Esto concuerda con los resultados de WILSON *et al.* (1983), quienes encontraron diferencias en el comportamiento de alfalfa bajo niveles subóptimos de humedad. Las progenies D152, D442 (buenas) y D231 (mala) tuvieron la mayor EUA; la D216 (mala) fue la mas baja en EUA para ambos niveles de humedad. Las otras progenies D336, D704, D837 (buenas) y D113 (mala) variaron en su EUA de acuerdo al nivel de humedad (Cuadro 2). Sólo la EUA de las progenies D152, D442 (buenas) y D216 (mala) fueron consistentes con su caracterización original basada en riego subóptimo por inundación (Cuadro 2). Las progenies no tuvieron efectos significativos en la EUA dentro del nivel de humedad intermedia en 1988 (Cuadro 2). Es la variación entre posible que en el nivel de humedad baja progenies se haya debido principalmente al ambiente de humedad (sequía extrema) en vez de la expresión fenotípica de las progenies, como lo sugirieron RUMBAUGH *et al.* (1984).

En el año 1989 no se presentaron interacciones entre nivel de humedad y progenies, pero las progenies tuvieron efectos significativos ($P<0.05$) para la EUA (Cuadro 3). Estos resultados concordaron con antecedentes de diferencias fenotípicas en alfalfa bajo condiciones de humedad subóptima (WILSON *et al.* 1983). Sin embargo, en este año la EUA entre las progenies tendió a ser estadísticamente similar, a excepción de la progenie D216 que fue significativamente baja.

Los resultados obtenidos en ambos años indican que la EUA de las progenies D152, D442 (buenas) y D216 (mala) fueron las únicas consistentes con la caracterización previa basada en riego subóptimo por inundación (Cuadro 2 y 3). Las otras progenies D336, D704, D837 (buenas), D113 y D231 (malas) mostraron variaciones de un año a otro, así como de un tratamiento a otro en 1988. Estos resultados sugieren que, en general, la EUA de las progenies bajo riego por aspersión no concordó con la caracterización previa bajo riego subóptimo por inundación.

Los tres rangos de humedad aquí estudiados correspondieron a tres clases de

CUADRO 2
PROMEDIOS ESTACIONALES, POR NIVEL DE HUMEDAD, DE TRES CORTES PARA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA DE 10 GENOTIPOS DE ALFALFA EN 1988

Caracterización	Genotipo	Eficiencia en el uso del agua		
		Humedad baja	Humedad media	Humedad alta
		Kg m-^{3}		
Buena[1]	D152	5.18 abc[4]	3.36	2.89 ab
	D336	4.69 d	3.31	2.75 b
	D442	5.31 a	3.58	2.79 ab
	D704	4.80 cd	3.35	3.01 a
	D837	4.83 bcd	3.20	2.97 ab
Mala[2]	D113	4.91 abcd	3.26	2.76 b
	D216	4.14 e	3.22	2.54 c
	D231	5.01 abcd	3.43	2.87 ab
Testigo	Mesilla	5.25 a	3.51	2.85 ab
	Wilson	5.18 abc	3.39	2.76 b
	DMS[3]	0.42	NS[5]	0.21

1. Bueno= Progenies de alto rendimiento con riego subóptimo por inundación.
2. Malo= Progenies de bajo rendimiento con riego subóptimo por inundación.
3. DMS= Diferencia mínima significativa.
4. Los promedios seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes con una $P<0.05$.
5. NS= Prueba de F no significativa.

humedad deficitaria por que no cubrieron la evapotranspiración del periodo de estudio de la alfalfa. Cabe destacar que dentro del nivel deficitario obtuvimos interacciones entre el nivel de humedad x progenies en el primer año y, diferencias significativas para la EUA entre progenies para dos años. Esto sugiere que incluso bajo condiciones deficitarias de humedad la presencia de interacciones y el grado de precisión en la aplicación del niveles subóptimos de humedad pueden conducir a resultados diferentes durante el proceso de evaluación de los materiales.

Estos resultados enfatizan la dificultad en decidir que genotipos seleccionar para eficiencia en el uso del agua, resistencia a sequía, y rendimiento bajo condiciones subóptimas de humedad. Es muy difícil especificar un nivel de humedad representativo de todos los regímenes de humedad que enfrenta la alfalfa establecida con fines comerciales durante el transcurso de un mínimo de tres años de vida del alfalfar. La habilidad de producir altos rendimientos en cualquier nivel de humedad es importante, pero la estabilidad de esta característica es necesaria para obtener un cultivar con buena eficiencia en el uso del agua.

CUADRO 3
PROMEDIOS ESTACIONALES GENERALES, EN BASE A TRES NIVELES DE HUMEDAD, DE CUATRO CORTES PARA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA DE 10 GENOTIPOS DE ALFALFA EN 1989

Caracterización	Genotipo	Eficiencia en el uso del agua Mg ha^{-3}
Buena[1]	D152	2.69 abc4
	D336	2.74 ab
	D442	2.52 bc
	D704	2.64 abc
	D837	2.76 ab
Mala[2]	D113	2.76 ab
	D216	2.40 c
	D231	2.64 abc
Testigo	Mesilla	2.76 ab
	Wilson	2.86 a
	DMS[3]	0.28

1 Bueno= Progenies de alto rendimiento con riego subóptimo por inundación.
2 Malo= Progenies de bajo rendimiento con riego subóptimo por inundación.
3. DMS= Diferencia mínima significtiva.
4. Los promedios seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes con una $P<0.05$.

Heredabilidad y respuesta a la selección para la eficiencia en el uso del agua.

La heredabilidad más alta para la eficiencia en el uso del agua fue observada para el nivel de humedad baja, seguido por los niveles de humedad alta y media en 1988 (Cuadro 4). Sin embargo, en 1989 la mayor heredabilidad se obtuvo en el nivel de humedad media, seguida por los niveles de humedad alta y baja (Cuadro 4). En general, las heredabilidades y las variaciónes fenotípicas obtenidas en 1988 fueron mayores que aquellas obtenidas en 1989.

El nivel de humedad baja predijo la mayor respuesta a la selección en 1988 y 1989 y el nivel de humedad alta presentó la menor variación fenotípica (Cuadro 4). Estos resultados no concordaron con reportes previos (FREY, 1964; QUISENBERRY *et al.*,1980; ROSIELLE y HAMBLIN, 1981; ROY y MURTY 1970) en los que se encontró o propuso que la selección bajo ambientes óptimos produce la mayor variabilidad genotípica, así como la mayor respuesta a la selección. Por otra parte, los resultados proporcionan evidencia adicional para la propuesta de que los niveles de humedad subóptima producen la mayor respuesta por ciclo a la selección (RUMBAUGH *et al.*, 1984; SALTER *et al*, 1984). Nuestros resultados sugieren seleccionar en niveles de humedad baja para obtener la mayor respuesta por

CUADRO 4
HEREDABILIDAD, DESVIACIÓN STANDARD FENOTÍPICA, Y RESPUESTA A LA SELECCIÓN PARA LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA DE ALFALFA A TRES NIVELES DE HUMEDAD EN 1988 Y 1989

Año	Nivel de humedad	Heredabilidad h^2	Desviación standard fenotípica σ	Respuesta a la selección Kg m^{-3}
1988	Baja	0.55	0.69	0.78
	Media	0.00	0.76	0.00
	Alta	0.33	0.26	0.17
1989	Baja	0.10	0.64	0.13
	Media	0.16	0.33	0.10
	Alta	0.11	0.24	0.05

ciclo de selección. Sin embargo, gran parte de la variación fenotípica en ambientes subóptimos de humedad puede ser ambiental (RUMBAUGH *et al.*, 1984) y probablemente contribuyó, en este caso, a incrementar el valor de la respuesta a la selección.

Conclusiones

Los tres niveles de humedad estudiados fueron deficientes para la evapotranspiración del periodo experimental. Es decir, pudieron considerarse como variantes de un ambiente de humedad deficitaria. Sin embargo, diferenciaron significativamente a las progenies en su EUA en los dos años, además de que generaron interacciones nivel de humedad x progenie en el primer año. La EUA de las progenies bajo riego por aspersión no concordó con su caracterización previa bajo riego subóptimo por inundación. De aquí la importancia en considerar la precisión en la aplicación de un nivel de humedad deficitario para evaluar y seleccionar genotipos de alfalfa.

Los niveles de humedad baja (h=0.55) y media (h=0.16) presentaron la mayor EUA en 1988 y 1989, respectivamente. El nivel de humedad baja predijo la mayor respuesta a la selección en 1988 (R=0.78) y 1989 (R=0.13).

Bibliografía

BAUDER, J.W., BAUER, A. 1978. Irrigated alfalfa production on a well drained sandy loam at Oakes North Dakota 1972- 1977. North Dakota Farm Res. 36,19-24.

BULLOCH, H.E.JR., NEHER, R.E. 1980. Soil survey of Dona Ana County area New Mexico. USDA-USDI. New Mexico Agric. Exp. Sta.

BURTON, G.W. 1983. Breeding programs for stress tolerance in forage and pasture crops. D.C. Raper

and P.C. Kramer (ed.). Crop reaction to water and temperature stresses in humid, temperate climates. Westview Press. Boulder, Colorado, 289-296.

CURRIER, C., MELTON, B., MAYERNARK 1987. Irrigation management procedures to maximize production of alfalfa populations selected for increased performance under deficit levels of irrigation. New Mexico WRRI Report No. 225.

DADAY, H., BINET, F.E., GRASSIA, A. PEAK, J.M. 1973. The effect of environment on heritability and predicted selection response in Medicago sativa. Heredity 31,293- 308.

FALCONER, D.S. 1981. Introduction to quantitative genetics. 2nd ed. Longman. New York.

FREY K.J. 1964. Adaptation reaction of oat strains selected under stress and non-stress environmental conditions. Crop Sci. 4,55-58.

HANKS R.J. KELLER, J., RASMUSSEN V.P., WILSON, G.D. 1976. Line-source sprinkler for continous variable irrigation crop studies. Soil Sci. Soc. Am. J. 40,426-429. 1967. Heretabilites of quantitative

JOHNSON G.R., FREY, K.J. 1967. Atributes of oats (Avena sp.) at varying levels of environmental stress. Crop Sci. 7,43-46.

MAUNEY, J.R. 1984. Units notation for water-use efficiency. Agron. J. 76,1024.

MAYERNAK J.W. 1986. Irrigation management for maximizing alfalfa forage yield with deficient levels of water. Thesis M.S. New Mexico State University.

QUISENBERRY, J.E. 1982. Breeding for drought resistance and plant water use efficiency. M.N. Christensen and C.F. Lewis (ed.). Breeding plants for less favorable environments. Wiley and Sons. New York. 193-212.

QUISENBERRY, J.E., ROARCK, B., FRYREAR, D.W., KOHEL, R.J. 1980. Effectiveness of selection in upland cotton in stress environments. Crop Sci. 20,450-453.

ROSIELLE A.A., HAMBLIN, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Sci. 21,943-946.

ROY, N.N, MURTY, B.R. 1970. A selection procedure in wheat for stress environment. Euphytica 19,509-521.

RUMBAUGH, M.D., JOHNSON D.A., RINEHART, D.N. 1983. Stand density, shoot weight, and acetylene reduction activity of alfalfa populations subjected to field and greenhouse moisture gradients. Crop Sci. 23,784-789.

RUMBAUGH M.D., ASAY, K.H., JOHNSON, D.A. 1984. Influence of drought stress on genetic variances of alfalfa and wheatgrass seedlings. Crop Sci. 24,297-303.

SALTER, R.M., MELTON, B., WILSON, M., CURRIER, C. 1984. Selection in alfalfa for forage yield with three moisture levels in drought boxes. Crop Sci. 24-345-349.

SAMMIS, T.W. 1981. Yield of alfalfa and cotton as influenced by irrigation. Agron. J. 73:323-328.

WILSON, M., MELTON, B.A. 1980. Water conservation through plant breeding. Alfalfa. New Mexico WRRI Report No. 124, 105-108.

WILSON, M., MELTON SALTER, R.M., EDMINSTER, C. 1983. Performance of alfalfa cultivars under less than optimum moisture conditions. New Mexico Agric. Exp. Sta. Bull. No. 702.

(Aceptado para publicación el 26 de abril de 1995)