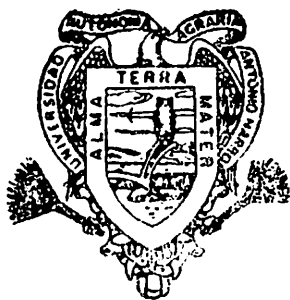


TOLERANCIA DEL MAIZ A MARCHITEZ
PERMANENTE Y SUS RELACIONES INTERNAS DE
AGUA BAJO DIFERENTES PERIODOS DE SEQUIA

MIGUEL ANGEL PERALES DE LA CRUZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN FITOMEJORAMIENTO



Universidad Autónoma Agraria

Antonio Narro

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coah.

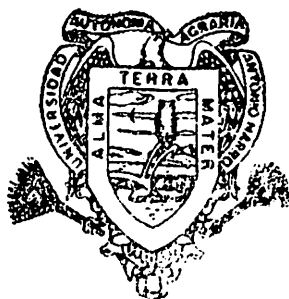
ABRIL DE 1992

TOLERANCIA DEL MAIZ A MARCHITEZ
PERMANENTE Y SUS RELACIONES INTERNAS DE
AGUA BAJO DIFERENTES PERIODOS DE SEQUIA

MIGUEL ANGEL PERALES DE LA CRUZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN FITOMEJORAMIENTO



Universidad Autónoma Agraria

Antonio Narro

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coah.

ABRIL DE 1992

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como requisito parcial, para optar el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN
FITOMEJORAMIENTO

COMITE PARTICULAR

Asesor principal: _____

Ing. M.C. Arnoldo Oyervides García

Asesor: _____

Ing. M.C. Fernando Borrego Escalante

Asesor: _____

Ing. M.C. Alfonso Peña Ramos

DR. José Manuel Fernández Brando
Subdirector de Asuntos de Postgrado



BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.A.N.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Abril de 1992

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por el apoyo que siempre me brindó en los momentos difíciles de la maestría.

A los MC. Arnoldo Oyervides, Alfonso Peña y Fernando Borrego, por haber participado en el comité de asesoría, por sus sugerencias del tema de tesis y por su tiempo dedicado a la revisión de la misma.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme brindado la oportunidad de realizar los estudios de maestría.

Al CONACYT, por el otorgamiento de beca para realizar dichos estudios.

Al INIFAP y especialmente al Dr. Ramon A. Martinez Parra, por la confianza y apoyo que me brindó para terminar mis estudios en dicha Universidad.

Al MC Guillermo Medina G., por su asesoramiento en el área de computación.

DEDICATORIA

A mi esposa:

Ma. Concepción Vega de Perales

Por su comprensión y apoyo a mi superación, aún y cuando se privara de satisfactores personales.

A mis hijos:

Miguel Angel, Fátima Lizbeth y Cesar Fernando.

Esperando que les sea un estímulo para su futura superación académica.

A mis padres:

Luciano Perales G. y Aurora de la Cruz F.

Por el gran apoyo moral y económico que siempre me brindaron.

A mis hermanos:

Ma. del Rosario, Aurora, Roberto, Laura, Elizabeth, Eduardo y Mayela.

COMPENDIO

TOLERANCIA DEL MAIZ A MARCHITEZ PERMANENTE Y SUS RELACIONES
INTERNAS DEL AGUA BAJO DIFERENTES PERIODOS DE SEQUIA.

POR

MIGUEL ANGEL PERALES DE LA CRUZ

MAESTRO EN CIENCIAS

EN FITOMEJORAMIENTO

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. ABRIL DE 1992

MC Arnoldo Oyervides García-Asesor-

Palabras clave: Maíz, sequía, marchitez permanente,
heredabilidad, sobrevivencia, elongación de hoja,
transpiración, potencial hídrico y contenido relativo de
agua.

Se estudió al híbrido de maíz AN-310, a sus progenitores y al AN-430 con los objetivos de observar su comportamiento bajo diferentes intensidades y períodos de sequía, evaluar la tolerancia a marchitez permanente y su heredabilidad y estudiar las relaciones internas de agua bajo diferentes períodos de sequía.

El experimento de tolerancia a MP reveló que en base a la sobrevivencia, la línea AN2 fue la más tolerante, AN-310 y AN20 fueron medianamente susceptibles y AN20xAN2 y VS-201M medianamente resistentes; en tanto que AN-430 fue el genotipo de mayor susceptibilidad a MP y el de mayor tiempo requerido para su recuperación.

Respecto a la heredabilidad, se observó que fue muy variable en base a progenies y progenitores, y siempre fue menor que la H^2 testigo, que incluyó todos los genotipos evaluados.

Los resultados de las relaciones internas de agua, mostraron que AN-310 y VS-201M fueron los mejores genotipos ($P < 0,05$), tanto respecto al potencial hídrico como con respecto al tiempo.

Se observó también que la elongación de hoja y la transpiración se afectaron fuertemente a un potencial hídrico de -6 bares y cesaron a -8 bares; que fue cuando se registró un CRA promedio entre genotipos de 38 por ciento.

ABSTRACT

Tolerance to Permanent Wilting Corn and its Internal Water
Relations Under Different Drought Periods

BY

MIGUEL ANGEL PERALES DE LA CRUZ

MASTER OF SCIENCE

PLANT BREEDING

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO. APRIL 1992.

M.C. Arnaldo Oyervides García-Adviser-

Key words: Corn, drought, permanent wilting, heredability,
surviving, leaf elongation, transpiration, water potential
and water relative content.

AN-310, yours progenitors and AN-430 was study with
the objectives: to obtain the behaviour under different

drought intensity and periods, to evaluate your permanent wilting tolerance and your heredability and to study your water internal relations under different drought periods.

The tolerance experiment a permanent wilting showed that considering the AN2 line was the best of tolerance, AN-310 and AN20 has middle susceptibility and AN20xAN2 and VS-201M has middle resistance, whereas that AN-430 was the genotype with major susceptibility to permanent wilting and with more time to its recuperation.

Respect to the heredability, it observed that has many variability with respect to progenitors and progeny, and at all times was minor that untreated heredability.

The results of water internal relations showed that AN-310 and VS-201M was the best genotypes ($P < 0.05$), so respect water potential as such the time.

Observed also that the leave elongation and the transpiration was strongly affect at -6 bars of water potential and decreased at -8 bars; when genotype registred a average water internal relation was 38 por ciento.

INDICE

	pag.
INDICE DE CUADROS	xi
INDICE DE FIGURAS	xiv
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	3
Generalidades de sequia	3
Resistencia a la sequia	4
Mejoramiento de la resistencia a la sequia	5
Tolerancia a marchitez permanente	7
Aparato fotosintético	9
Intercambio de gases	10
Relaciones internas del agua en la planta	12
Efectos de la sequia sobre el crecimiento y desarrollo	14
MATERIALES Y METODOS	
Material genético	17
Descripción varietal	17
Trabajo experimental	18
Tolerancia a marchitez permanente	18

Datos tomados	21
Análisis de varianza	22
Heredabilidad	23
Prueba de medias	29
Relaciones internas del agua en la planta	28
Datos tomados	30
Análisis de varianza	32
Prueba de medias	33
Heredabilidad	33
Análisis de correlación	33
 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
Experimento de tolerancia a marchitez permanente	
Análisis de varianza	34
Comparación de medias	36
Sobrevivencia y tiempo de recuperación	36
Variables de transpiración.....	41
Pesos secos	44
Correlación de variables	47
Heredabilidad	49
Relaciones internas del agua en la planta	52
Elongación de la hoja, contenido relativo de agua y tasa transpiratoria respecto al poten- cial hídrico	52

Análisis de varianza	52
Comparación de medias	53
Elongación de la hoja	53
Contenido relativo de agua	56
Tasa transpiratoria	57
Potencial hídrico, contenido relativo de agua y tasa transpiratoria respecto al tiempo	60
Análisis de varianza	61
Prueba de medias	62
Potencial hídrico.....	62
Tasa transpiratoria	63
Contenido relativo de agua	66
Correlación	67
CONCLUSIONES	68
RESUMEN	70
LITERATURA CITADA	75
APENDICE	84

INDICE DE CUADROS

	pag.
Cuadro 3.1 Tratamientos de sequia aplicados al hibrido de maiz AN-310 y sus progenitores para determinar la tolerancia a marchitez permanente.....	20
Cuadro 3.2 Analisis de varianza del diseo experimental bloques al azar en parcelas divididas.....	24
Cuadro 3.3 Esperanzas de cuadrados medios del ANVA de un diseo bloques al azar con arreglo en parcelas divididas.....	26
Cuadro 4.1 Cuadrados medios, nivel de significancia y coeficientes de variacion de las variables medidas en el experimento de tolerancia a marchitez permanente.....	35
Cuadro 4.2 Interaccion tratamientos de humedad por	

genotipos en la variable por ciento de sobrevivencia.....	36
Cuadro 4.3 Interacción tratamientos de humedad por genotipos, en la variable tiempo de recuperación en horas.....	39
Cuadro 4.4 Area foliar total y transpiración total por tratamiento de humedad en el experimento de tolerancia a marchitez permanente.....	39
Cuadro 4.5 Area foliar total y transpiración total por genotipo en el experimento de tolerancia a marchitez permanente.....	42
Cuadro 4.6 Tasa transpiratoria total ($\text{g}/\text{dm}^2/12$ días) de la interacción tratamientos de humedad por genotipos en el experimento de tolerancia a marchitez permanente.....	42
Cuadro 4.7 Peso seco (g) 10 días después de la segunda recuperación en la interacción tratamientos de humedad por genotipo.....	46
Cuadro 4.8 Matriz de correlación de las variables	

medidas en el experimento de tolerancia a marchitez permanente.....	49
Cuadro 4.9 Resultados de heredabilidad, obtenida mediante tres métodos en el experimento de tolerancia a marchitez permanente.....	50
Cuadro 4.10 Cuadrados medios, nivel de significancia y heredabilidad de elongación de hoja, CRA y tasa transpiratoria.....	53
Cuadro 4.11 Cuadrados medios, nivel de significancia y heredabilidad del ψ_h , CRA, y tasa transpiratoria.....	60
Cuadro 4.12 Matriz de correlación entre algunas variables.....	67

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 4.1 Peso seco promedio por genotipo bajo cuatro tratamientos de sequia.....	48
Figura 4.2 Elongación de la hoja promedio por genotipo respecto al potencial hidrico.....	54
Figura 4.3 Tasa transpiratoria promedio por genotipo respecto al potencial hidrico.....	58
Figura 4.4 Potencial hidrico de la hoja en función del tiempo durante el periodo de sequia.....	61
Figura 4.5 Tasa transpiratoria promedio en función del tiempo durante el periodo de sequia.....	64

INTRODUCCION

EL maíz está fuertemente ligado a la tradición y cultura de México, puesto que ha sido la base de su alimentación desde hace varios siglos. Aun y cuando desde 1941 se iniciara el mejoramiento genético de este cultivo, se enfocó principalmente hacia la formación de híbridos para áreas de riego, e incrementar la producción de grano en el país a corto plazo poniendo poca atención a las áreas de secano o temporal. En la actualidad; dichas áreas de temporal son de especial consideración, dado que representan el 97.5 por ciento de la superficie sembrada a nivel nacional, cubriendo ambientes con condiciones ecológicas muy diversas y bajo diferentes sistemas de cultivo, donde predominan las siembras tradicionales y comúnmente los bajos rendimientos, satisfaciendo sólo en forma parcial las necesidades de subsistencia. Lo anterior debido a que la principal fuente de humedad es la precipitación, la cual varía en cantidad y distribución de un año a otro y de región en región.

Por lo anterior el Instituto Mexicano del Maíz "Dr. Mario E. Castro Gil" de la UAAAN en el programa de mejoramiento genético, al cruzar líneas endogámicas con

poblaciones sintéticas se formó un grupo de híbridos "radiales" para las zonas de temporal, donde sobresale el AN-310. Dicho material, ha tenido un excelente comportamiento en los experimentos bajo condiciones de temporal. El objetivo del presente trabajo fue conocer qué características le dan ese comportamiento al híbrido; de qué progenitor los heredó y qué tipo de herencia tiene, específicamente se pretende:

- 1.- Estudiar el comportamiento del híbrido de maíz AN-310 y sus progenitores bajo diferentes intensidades y períodos de sequía.
- 2.- Evaluar la tolerancia a la marchitez permanente y su heredabilidad en el híbrido AN-310 y sus progenitores.
- 3.- Examinar índices relacionados con el estatus hídrico del maíz, para determinar las relaciones internas del agua en la planta bajo sequía.

REVISION DE LITERATURA

Generalidades sobre la sequia.

En la actualidad existe una creciente necesidad para incrementar la productividad de los cultivos en las zonas áridas y semiáridas; ya que aproximadamente un 36 por ciento de la tierra arable del mundo, está situada en dichas regiones y el restante 64 por ciento está sujeto a sequias periódicas dentro de la estación de crecimiento (Maiti, 1983).

Dentro de los factores no controlables que limitan la producción, los de mayor importancia son los climáticos y dentro de ellos la precipitación ya que ésta limita la producción tanto por su poca cantidad, como por su mala distribución, durante el ciclo del cultivo (Robledo, 1989). Al respecto; O'Toole y Chang (1979), mencionan que específicamente la falta de lluvia y el resultante déficit de humedad en el suelo, son tomados como base para definir la sequia; agregando que en un estudio realizado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) se reportaron 53 definiciones de sequia, basados en factores climáticos como: precipitación y temperatura, factores del suelo,

cultivos e índices climáticos. En tanto que Quizenberry (1987) define a la sequía como cualquier periodo durante el cual, las deficiencias de agua en el suelo, afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas.

Resistencia a la sequía.

Gutiérrez (1986) señala que uno de los indicadores de resistencia a la sequía de las formas vegetales es la capacidad para soportar la deshidratación temporal de los tejidos sin que disminuya drásticamente el rendimiento. Sin embargo, Fischer *et al.* (1984) mencionan que la resistencia a sequías en un sentido agrícola, se refiere a la capacidad de una planta cultivada para rendir su producto económico con agua disponible limitada. Agregan además, que en un contexto evolutivo, la resistencia a sequía, normalmente sería la capacidad de una planta o de una especie, para sobrevivir y eventualmente reproducirse bajo humedad limitada.

Larcher (1977), menciona que básicamente las plantas son resistentes a la sequía, ya sea, porque su protoplasma es capaz de sobrevivir la deshidratación sin sufrir daño permanente; o porque posean características estructurales o fisiológicas que tienen por resultado el aplazamiento o la evasión de un nivel letal de desecación. En tanto que Muñoz (1990), define la resistencia a la sequía, como la

capacidad de una planta para rendir aceptablemente bajo sequía, en función de su potencial genético medio y la interacción de ese potencial con la variación de humedad.

Mejoramiento de la resistencia a la sequía.

Desde el año de 1961, el Departamento de maíz y sorgo del antiguo INIA hoy INIFAP ha venido desarrollando un extenso programa de mejoramiento genético de maíces temporaleros de las regiones de Aguascalientes, Durango y Zacatecas. Angeles (1968), indica que como resultado del mejoramiento de la variedad estabilizada (VE) Cafime por ACG y por medio de pruebas en varias localidades de Aguascalientes, Durango y Zacatecas, se formó la variedad sintética VS-201 a partir de mestizos de líneas S₁ derivadas del Cafime, la cual se recomienda actualmente.

Hurd (1975), considera que en el mejoramiento genético para resistencia a sequía, resulta más importante mejorar para alto rendimiento en condiciones favorables, que en condiciones desfavorables.

Atsmon (1973), afirma, que desde el punto de vista del mejoramiento genético de los cultivos, el concepto de tolerancia a la sequía que servirá de base a los programas de Fitomejoramiento en las zonas semiáridas debe involucrar dos aspectos; 1) práctico-económico que permita obtener

genotipos que el agricultor use de inmediato y 2) los teórico-básico que permitan definir los problemas y mecanismos responsables de la tolerancia o resistencia a condiciones de humedad limitada.

El sistema riego-sequia trata de valorar la capacidad de los genotipos para reducir en menor grado su producción, al pasar de la condición de humedad favorable, (riego) a la condición desfavorable (sequia) y utilizar el valor de esta capacidad como parte del índice de la resistencia a la sequia (Muñoz, 1980). En otros términos, se trata de evaluar la interacción del genotipo con las variaciones de humedad; donde propone para este sistema el siguiente modelo:

$$P = G + S + Igs$$

donde:

P = el efecto total sobre la producción,

G = componente de los efectos genéticos

S = efecto de los niveles de humedad y,

Igs = efecto de la interacción (genética por los niveles de humedad).

Dichos estudios de resistencia a sequia, utilizando el sistema riego-sequia, se han aplicado ampliamente investigando diferentes aspectos y en diversos cultivos. Uno de los más completos es el de Muñoz y González (1976), en el que se pone de manifiesto la resistencia a la sequia,

la tolerancia a heladas y la tolerancia a marchitez permanente; en relación con el rendimiento.

Arredondo (1982), evaluó cruzas dialélicas de trigo bajo el sistema riego-sequia, observando que en todos los caracteres estudiados y en ambas condiciones de humedad, los efectos aditivos fueron los de mayor importancia, además concluyó que la ACE tuvo una mayor expresión en la condición limitante de humedad y que los valores de heredabilidad y los efectos de ACG hacen suponer que en la condición de sequía podría esperarse una mayor expresión de la variabilidad genética.

Tolerancia a la marchitez permanente.

Los programas de mejoramiento genético clásico, deben ser paralelos a la selección para resistencia a estreses ambientales, incluyendo la sequía. Maiti (1983), considera que después de la emergencia, la sequía, en la etapa de plántula, es uno de los factores de mayor importancia, para el establecimiento de cualquier cultivo. Dicho fenómeno se inicia con la flacidez o enrollamiento de la hoja, debido a una pérdida de la turgencia de las células, acompañantes por un cambio de color del verde brillante al pálido cenizo. (Rodríguez, 1977).

El término "Coeficiente de marchitamiento

permanente" (MP), fue propuesto por Briggs y Shantz y lo definieron como el contenido de agua en el suelo, cuando las plantas que crecen en él llegan a una condición de marchitamiento y no pueden recuperarse en una atmósfera cercana al punto de saturación, sin adición de agua al suelo (Gutiérrez, 1986).

Muñoz (1975), anota que Maximov en 1929, sugirió a la tolerancia a la marchitez permanente (MP) y Tumanov en 1927, lo llevó a la práctica para evaluar la resistencia a la sequía en trigo, encontrando relación con la resistencia observada en condiciones naturales.

Muñoz y Angeles (1969), sugieren que la aparición marchita de una planta temprano en la mañana antes de la salida del sol, puede ser una indicación aproximada de que el suelo llegó al punto de marchitez permanente.

Martínez (1963), sometió plántulas de maíz a marchitez permanente, para estimar la varianza aditiva y la de dominancia, para el número de días de vida y el agua consumida; de los resultados obtenidos concluyó que los efectos aditivos fueron más importantes que los de dominancia.

Fischer *et al.* (1984), indican que Muleba, usando plantas jóvenes crecidas en solución de cultivo, seleccionó

familias, para alto peso y longitud radical, y las recombinó para formar variedades experimentales. La evaluación de estas variedades bajo condiciones de escasez de agua en el campo, mostró que la selección para un peso mayor de raíz, tuvo su utilidad en el aumento del rendimiento de grano bajo escasez moderada de agua, mientras que la selección para aumento en longitud de la raíz, fue superior bajo condiciones de escasez severa.

Williams *et al.* (1967), compararon la resistencia a la sequía, de líneas endocriadas e híbridos de maíz, mediante: a) el porcentaje de plántulas que se recuperaron de una exposición de 6 horas a 52°C (tolerancia al calor); y b) porcentaje de recuperación de plántulas regadas 14 días después de haber llegado al marchitamiento. Los resultados indicaron, que la información proveniente de estas técnicas, está correlacionada significativamente con los datos de campo, y que por lo tanto, cualquiera de ellos puede servir de ayuda en un programa de mejoramiento genético. Al respecto, Maiti (1986), indica que estos trabajos son de gran importancia, debido a que la selección por resistencia a la sequía en la plántula, puede relacionarse con la presentada en etapas de crecimiento avanzado.

Aparato Fotosintético (área foliar).

El aparato fotosintético está constituido por todas las partes con pigmentos verdes capaces de transformar la energía radiante en energía química. La importancia relativa de estas en su contribución a la fotosíntesis total, depende básicamente de la especie; así como del genotipo y el ambiente particular. En general en las especies cultivadas por el hombre, como el maíz, frijol, etc., la fotosíntesis laminar, (aquella realizada en los limbos foliares), juega el papel más importante (Eik y Hanway, 1965 y Mendoza *et al.* 1984).

Mendoza (1972), propone la relación de grano por área foliar, como base para comparar genotipos por su eficiencia, la cual establece una relación directa entre el área foliar por planta y su rendimiento.

Intercambio de Gases.

Los estomas, además de ser el conducto principal de pérdida de agua por transpiración, son el medio por el cual entra a la planta el CO₂, indispensable para la actividad fotosintética (Peña, 1986). Consecuentemente, el cierre estomatal es efectivo para mantener altos contenidos de agua en los tejidos, pero puede también ocasionar una disminución del CO₂ y con ello una reducción de la actividad fotosintética, como lo encontraron en frijol Miller y Gardner, (1972). Sin embargo, Muñoz *et al.*

(1983), concluyeron que el cierre estomatal, es benéfico bajo sequía, si ello incrementa la eficiencia en el uso del agua y le permite a la planta producir más rendimiento que otras.

Chan y Fowler (1987a) mencionan que en general se reconocen tres fases en la pérdida de agua en las plantas sometidas a sequía: Fase I, pérdida de agua constante, cuando existe, poco a casi nada de control estomatal; Fase II, disminución rápida de la transpiración, por el cierre estomatal progresivo; y Fase III, o fase cuticular, cuando los estomas están completamente cerrados al microscopio óptico, con límite de resolución de una micra (aproximadamente el diámetro de 3000 moléculas de agua).

El comportamiento diferencial de cultivares de la misma especie, ha dado origen a la hipótesis, de que la sensibilidad del movimiento estomatal, puede utilizarse, como un indicador, para seleccionar cultivares con tolerancia a la sequía; sin embargo, el análisis de los datos porométricos que se ha utilizado, no permiten seleccionar eficientemente con base a estas respuestas (Henzell *et al.*, 1975), ya que es conocido, que tanto la transpiración como la resistencia a la difusión, son afectadas por factores ambientales; lo cual explica la alta variabilidad observada con frecuencia en estudios de porometría.

Relaciones internas de agua en la planta.

Pearson (1979), indica que para mejorar las características de tolerancia a la sequía, es necesario conocer los procesos fisiológicos involucrados (fotosíntesis, respiración, translocación y térmicos), y que a su vez sean, de utilidad práctica, como indicadores de la misma, para esto, se ha comprobado, que mediciones fisiológicas, utilizando técnicas asociadas con las relaciones internas del agua en la planta, han servido, para discriminar por diferencias genotípicas para diferentes estatus hídricos (Chan y Fowler, 1987b).

El potencial hídrico, es uno de los parámetros básicos, que describen el contenido de agua en la planta y en cualquier punto de ella, pudiendo ser particionando esencialmente en los componentes: potencial osmótico y potencial de turgencia (Kramer, 1974). El potencial hídrico, adquiere importancia, debido a que es la fuerza matriz del movimiento del agua en la planta y sus componentes por ser los fisiológicamente activos (Peña, 1986), de ahí que la determinación de ellos sea uno de los medios útiles para el mejor entendimiento de los procesos fisiológicos de las plantas en situaciones de sequía.

Peña y González (1987), indican que una técnica para estudiar las relaciones internas del agua en las plantas, consiste en obtener curvas de presión-volumen, con las

cuales, se pueden estimar, tanto el potencial osmótico, como el potencial de turgencia de una muestra vegetal en una amplia gama de grados de deshidratación, además, dichas curvas, también permiten estimar la proporción de agua retenida en los microcapilares del apoplasto (agua apoplástica), con el cual a su vez, se puede estimar el módulo de elasticidad de la pared celular (ajuste osmótico), fenómeno en el cual, encontraron estos autores, que tanto el maíz, como el girasol, presentaron ajuste osmótico, siendo de mayor magnitud, en el girasol.

Jasso y Chavira (1988), al caracterizar las relaciones hídricas internas del frijol, obtuvieron curvas de presión-volumen, mediante regresión lineal, entre el contenido relativo de agua (CRA) y potencial hídrico (ψ) y hojas de plantas de frijol, sometidas a estrés hídrico en diferentes etapas de desarrollo, encontrando que existen cambios en los parámetros de las relaciones hídricas en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo, y que la condición de humedad del suelo, ocasiona aumento en el potencial de presión, para un mismo valor de CRA.

Chan y Fowler (1987b), indican que existen variables involucradas con las relaciones agua-planta, que pueden explicar individualmente el estatus del agua, sin embargo, la combinación de varias de ellas a la vez, pueden lograr una mejor conclusión.

Efectos de la sequia sobre el crecimiento y desarrollo.

El crecimiento y desarrollo de la planta, depende directamente de los factores ambientales, principalmente de aquellos relacionados con la tensión hídrica, ya sea de la atmósfera o del suelo, por lo cual se considera que para alcanzar máximos rendimientos, se deben entender primero los procesos de crecimiento y desarrollo, y después los factores que afectan éstos procesos: Zavala (1984) define el primero como: un proceso cuantitativo, relacionado a un incremento irreversible del tamaño, que abarca cambios en magnitud de cualquier característica mediable, y que normalmente se incrementa con la edad, y el segundo como cambios en la forma del crecimiento de la planta.

Por su parte Ray (1981), define el crecimiento como dos procesos que requieren de energía, y son irreversibles; primero una división celular (incremento en número de células) y segundo el alargamiento celular (aumento de tamaño). Mientras que al desarrollo, lo describe como una especialización celular, que requiere de los dos procesos anteriores a tal grado que puede ser confundido como parte del crecimiento.

La sequia o déficit hídrico en las plantas, indica

situaciones en que células y tejidos, no están plenamente turgentes; esta tensión, puede variar desde un pequeño descenso del potencial hídrico, que sólo puede percibirse si se mide con instrumentos, pasando por el marchitamiento transitorio a mediodía, que a menudo se observa en el tiempo caluroso y soleado, hasta el marchitamiento permanente y la muerte por desecación.

Kramer (1974), menciona que la sequía, afecta prácticamente, a todos los aspectos del crecimiento de la planta, modificando la anatomía, la morfología, la fisiología y la bioquímica; terminando generalmente en una modificación total de la planta.

Boyer (1970), encontró en maíz una respuesta variable en la elongación de la hoja, y observó en la mayoría de los casos, la elongación de la hoja fue grandemente inhibida a -4 bares, y llegó a cero en un foliar de -8 bares.

Por su parte Kramer (1974), y Hsiao (1973), entre otros investigadores, han establecido que la división celular, se encuentra menos afectada por el déficit hídrico, que el alargamiento celular. Lo anterior es reforzado, al observar que el número de células, es generalmente el mismo, en plantas bajo sequía, que en plantas con un suministro adecuado de agua (Nuñez, 1984),

además de que las plantas bajo condiciones de sequía, tienen un mayor crecimiento, en comparación con el testigo, después de que son regadas; lo cual explica en gran parte la continuidad del proceso de división celular durante el periodo de sequía.

Desde otro punto de vista, algunos fitomejoradores opinan, que el crecimiento y el desarrollo se deben evaluar, mediante el uso de criterios que incluyen variables relacionadas con la distribución de materia seca (Otero, *et al.* 1986), ya que se ha observado que el genotipo ejerce mayor control en la distribución de materia seca, que en los fenómenos de transpiración y eficiencia en el uso del agua. Además de que algunos efectos genotípicos relacionados con la distribución de asimilados, se expresan aun cambiando el ambiente de la planta (Fischer y Turner, 1978).

MATERIALES Y METODOS

Material genético.

El material genético usado en el presente estudio comprendió al híbrido de maíz AN-310 (AN20xAN2) (VS-201M) y sus progenitores, además del testigo AN-430 caracterizado por ser un híbrido para riego.

Descripción varietal.

AN-310.- Es un híbrido radial de cruza triple de buena respuesta bajo condiciones de temporal deficiente. Tiene en campo de promedio de 71 días al 50 por ciento de floración masculina (antesis y 73 días al 50 por ciento de floración femenina bajo temporal y 75 y 78 días bajo riego.

VS-201M.- Variedad sintética precoz para regiones de altura media. Su ciclo biológico es de 105-115 días, con floración a los 66 días. Su grano es de forma semidentada oval, de tamaño chico y de color blanco. Su crecimiento comercial medio es de 1.5 ton/ha.

AN20 x AN2.- Cruza simple con 77 días a floración

masculina en promedio bajo condiciones de temporal y 80 bajo riego; y una altura de planta y mazorca de 1.9 y 1.1 m respectivamente.

AN20.- Línea endogámica en S7 seleccionada por ACE, con 75 días a floración masculina bajo temporal y una altura de planta de 1.7 m y de mazorca 0.9 m.

AN2.- Línea endogámica en S7 tolerante a sequía, con 78 días a floración masculina en promedio y 1.6 m de altura de planta bajo temporal.

AN-430.- Híbrido recomendado para las regiones de riego, altamente susceptibles a la sequía. Se caracteriza por tener 85 días a floración masculina y 88 floración femenina. Con una altura de planta y mazorca de 2.1 y 1.4 m respectivamente en promedio.

Trabajo experimental.

Para lograr los objetivos planteados en la presente investigación se requirió establecer dos experimentos, los cuales se detallan a continuación.

Tolerancia a la marchitez permanente.

Este experimento se realizó en el invernadero de

zonas áridas de la UAA"AN", a una temperatura promedio de 28°C durante el día.

La siembra se efectuó el 2 de febrero de 1991 en bolsas de plástico negro (macetas) de 10 cm de diámetro, las cuales contenían aproximadamente 500 g de suelo seco. La unidad experimental de cada tratamiento de humedad fue de 10 macetas por material; en cada maceta se sembraron tres semillas y finalmente se dejó una planta por maceta. En la siembra se aplicó un riego y se llevó al suelo a CC. Se fertilizó al momento del primer riego después de la siembra con 1.5 g de urea y 1.0 g de superfosfato triple por maceta. Los riegos se efectuaron a CC, cada vez que la superficie del suelo se mostraba seca. Se dieron cuatro tratamientos de humedad como se indica en el Cuadro 3.1, procediéndose como sigue: cuando las plántulas presentaron un promedio de cuatro hojas liguladas, se determinó el área foliar, se regaron todas las macetas a CC y se cubrieron para evitar la evaporación directa del suelo. Posteriormente, se siguió regando un 50 por ciento de las plántulas totales para establecer los tratamientos 1 y 3, se dejó que el resto de las plántulas agotaran el agua disponible en el suelo hasta llegar a MF. Las plántulas se mantuvieron en este estado durante nueve días, periodo que correspondía a la primera parte de los tratamientos 2 y 4. El criterio tomado para decidir si las plántulas habían llegado a MF, fue sugerido por Muñoz y Angeles (1969), el

cual considera que al observarlas por la mañana antes de la salida del sol (6:00 AM), no mostraban recuperación de la turgencia. Transcurrido los nueve días en PM, se aplicó un riego de recuperación a CC.

Cuadro 3.1. Tratamiento de sequía aplicados al híbrido de maíz AN-310 y sus progenitores para determinar la tolerancia a marchitez permanente.

Tratamiento sequía	Periodo	Descripción del tratamiento
1	Testigo	Riego a C.C. durante todo el estudio.
2	1	Riego hasta la 4ª hoja ligulada; 9 días en MF y riego hasta finalizar el estudio.
3	2	Riego hasta que se recupere el 50% de las plantas del tratamiento 2; 9 días posteriores en MF y riego de recuperación.
4	1 y 2	Riego hasta la 4ª hoja ligulada; 9 días en MF; riego de recuperación; 9 días en MF y riego de recuperación.

Una vez que se observó recuperación del 50 por ciento de las plántulas estresadas, se tomó un 50 por ciento de las plántulas que se habían mantenido anteriormente bajo riego y otro 50 por ciento de las estresadas, y se les suspendió el riego siguiendo el mismo procedimiento, con lo cual se complementaron los tratamientos 3 y 4, respectivamente. A su vez, para completar los tratamientos 1 y 2 se siguió regando a CC a

un grupo de plántulas testigo y se inicio el riego ininterrumpido al restante 50 por ciento de las plantas recuperadas del primer periodo de sequia.

Datos tomados.

Area foliar por plántula.- se midio el largo y ancho de las hojas de 10 plántulas por genotipo un dia antes del riego CC. El area foliar se cuantifico en cm mediante la fórmula de largo x ancho x 0.75 (Mendoza y Ortiz (1973); la suma de las áreas foliares de todas las hojas proporcionaron el área foliar por plántula.

Sobrevivencia.- a partir del segundo dia (aproximadamente 48 horas después de aplicar el riego de recuperación a cada tratamiento), se contó con el número de plántulas sobrevivientes por parcela.

Tiempo de recuperación.- se determinó para cada tratamiento de sequia, el número de horas necesarias para que cada plántula recuperara su turgencia después del riego de recuperación.

Transpiración total diaria por plántula.- se determinó la transpiración por plántula, diariamente a partir de la suspensión del riego de cada tratamiento. Con ello se obtuvo la transpiración total por plántula en

g/día. Este dato se determinó gravimétricamente y se expresó como promedio de cuatro plántulas por parcela por tratamiento de humedad.

Tasa transpiratoria diaria por plántula.- se obtuvo dividiendo la transpiración total diaria por plántula entre el área foliar promedio de cada genotipo (expresada en dm^2) obteniéndose la tasa transpiratoria por plántula en $\text{g}/\text{dm}^2/\text{día}$ y se expresó como promedio por parcela por tratamiento de sequía.

Materia seca.- se obtuvo la acumulación de MS promedio en g de dos plántulas por parcela al inicio y fin de cada tratamiento de sequía.

El diseño experimental usado en la distribución de los tratamientos, fue un bloque al azar con arreglo en parcelas divididas, donde el factor A la formaron los cuatro tratamientos de humedad y el factor B los seis genotipos en estudio.

Análisis de varianza.

Los análisis de varianza (ANVA) para cada uno de los datos tomados se realizaron bajo un modelo de efectos fijos del diseño bloques al azar con arreglo en parcelas divididas.

En modelo matemático lineal aditivo del diseño experimental es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + RK + \alpha_i + \varepsilon_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + E_{ijk}$$

donde: $i = 1, \dots, a = 4$ tratamientos de humedad

$j = 1, \dots, b = 6$ genotipos

$k = 1, \dots, n = 4$ bloques

$\varepsilon_{ik} \sim NI(0, \sigma^2)$

$E_{ijk} \sim NI(0, \sigma^2)$

Y_{ijk} = observación hecha en el i -ésimo tratamiento de humedad, en el j -ésimo bloque.

μ = media general

RK = efecto del k -ésimo bloque

α_i = efecto del i -ésimo tratamiento de humedad

ε_{ik} = efecto del error a (elemento aleatorio)

β_j = efecto de j -ésimo genotipo

$(\alpha\beta)_{ij}$ = efecto de la interacción del i -ésimo tratamiento de humedad con el j -ésimo genotipo.

E_{ijk} = error b (elemento aleatorio)

De dicho modelo estadístico, se muestra el ANVA en el Cuadro 3.2.

Heredabilidad

A partir del Cuadro 3.2 se obtuvieron las Esperanzas

de Cuadrados Medios (ECM) que se presentan en el Cuadro 3.3, mismos que fueron utilizados para calcular la heredabilidad general en sentido amplio (testigo) de cada uno de los caracteres estudiados.

Para tales cálculos se utilizó el procedimiento sugerido por Falconer (1989) y Mather (1965), considerando el modelo fenotípico aditivo siguiente:

$$P = G + E + GE \dots\dots\dots (1)$$

donde:

P = fenotipo promedio total

G = efecto genético

E = efecto del ambiente

GE = efecto de la interacción genético-ambiental

Con esta consideración se procedió a aplicar la fórmula de heredabilidad en sentido amplio (H^2), para el análisis general considerando todos los genotipos (testigo) y para los métodos progenie-progenitor medio, progenie-progenitor () femenino y progenie-progenitor () masculino

$$H^2 = \frac{\sigma^2 G}{\sigma^2 p \text{ total}} \dots\dots\dots (2)$$

donde:

H^2 = heredabilidad

σ^2_G = varianza genética

σ^2_p total = varianza fenotipica total

La situación de los términos anteriores, utilizando las ECM del Cuadro 3.3, arrojó las siguientes ecuaciones:

$$\sigma^2_G = \sigma^2_B \dots\dots\dots (3)$$

$$\sigma^2_p = \sigma^2_A + \sigma^2_B + \sigma^2_{AB} \dots\dots\dots (4)$$

donde:

$$\sigma^2_A = \frac{CM4 - CM2}{rb} \dots\dots\dots (5)$$

$$\sigma^2_B = \frac{CM3 - CM2}{ra} \dots\dots\dots (6)$$

$$\sigma^2_{AB} = \frac{CM2 - CM1}{r} \dots\dots\dots (7)$$

$$H^2 = \frac{\sigma^2_G}{\sigma^2_p \text{ total}} = \frac{\sigma^2_B}{\sigma^2_A + \sigma^2_B + \sigma^2_{AB}} \dots\dots (8)$$

De igual manera, se realizaron ANVA individuales, para las progenies AN-310 y AN20xAN2, comparándose cada una de ellas contra su progenitor y así como con la media de ambos (progenitor medio). De ese modo se pudo obtener la heredabilidad de cada variable estudiada

mediante los métodos progenie-progenitor medio, progenie-progenitor y progenie-progenitor.

Prueba de medias.

La separación de medias de todas las variables analizadas se realizó mediante la prueba de Tukey al 5 por ciento de probabilidad.

$$W = q (p,e) S_x \dots\dots\dots (9)$$

donde:

W = valor de Tukey

q = nivel de significancia (5 por ciento)

p = número de tratamientos

e = grados de libertad del error

S_x = desviación standar de tratamientos

donde:

$$S_x (A) = \sqrt{\frac{CME (a)}{rb}} \dots\dots\dots (10)$$

$$S_x (B) = \sqrt{\frac{CME (b)}{ra}} \dots\dots\dots (11)$$

$$S_x (AB) = \sqrt{\frac{CME (b)}{r}} \dots\dots\dots (12)$$

Relaciones internas del agua en la planta.

Esta parte de la investigación se llevó acabo en el Campo Experimental de Fabellón de Arteaga, perteneciente al CIFAP-AGUASCALIENTES, en un invernadero de vidrio, a una temperatura promedio en el día y noche de 23 a 11°C respectivamente y con una HR que osciló entre 50 y 90 por ciento entre el día y la noche.

La siembra se efectuó el 22 de julio de 1991 en macetas de plástico negro de 30 cm de diámetro por 65 cm de altura, mismas que fueron llenadas al momento de la siembra con 14 kg de mezcla de suelo 1:2:1 (tierra: arena: estiércol de chivo) con textura migajón, medianamente pobre en materia orgánica (1.57 por ciento); con una capacidad de campo (C.C.) de 20.13 por ciento y un porcentaje de marchitamiento permanente (PMF) de 10.06 por ciento. La unidad experimental fue de 45 macetas por genotipo. Se sembraron en cada maceta de 3-4 semillas (para aclarar a una planta) a una profundidad aproximada de 3 cm. Posteriormente se regó a saturación y se permitió que drenara el excedente de agua. Se fertilizó el 6 de agosto con 2.5 g de sulfato de amonio y 2.5 g de superfosfato triple disueltos en 100 ml de agua y una segunda fertilización de nitrógeno similar 10 días después.

A partir de los 20 días después de la siembra se formaron dos grupos de plantas por genotipo, uno de 20 plantas que se condujo siempre bajo riego (testigo) y otro

de 25 plantas, al cual se le suspendió el riego hasta que se llegó a un potencial hidrico de la hoja (ψ_h) de -8 bares. Los riegos, se aplicaron siempre que el contenido de humedad en el suelo había llegado al 15 por ciento, para mantener la humedad aprovechable (HA) entre el 50 y 100 por ciento.

Las relaciones internas del agua en el grupo de plantas bajo sequía, se analizaron con respecto al ψ_h en valores -1, -4, -6 y -8 bares, y con respecto al tiempo el inicio y fin de sequía. En este sentido, se comparó la condición de riego contra sequía. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas con cuatro repeticiones, donde el Factor A, fueron en un caso los ψ_h y en otros los niveles de humedad, y el Factor B, los genotipos.

Una vez que las plantas llegaron a un ψ_h de -8 bares (37 días después de la siembra), se procedió a regarlas a saturación, y posteriormente se mantuvieron bajo riego normal (entre 50 y 100 por ciento) igual que las plantas testigo, hasta el fin de las floraciones.

Datos tomados

-Área foliar y elongación de la hoja. A los diez días después de la siembra se identificaron al azar un

grupo de 10 plantas por condición de humedad y por genotipo a las cuales se les cuantificó el área foliar en cm mediante la fórmula largo \times ancho máximo \times 0.75 (Mendoza y Ortiz, (1973).

-Transpiración total diaria por planta. Se determinó la transpiración por planta diariamente de los 25 a los 37 días después de la siembra que fue cuando en el tratamiento de sequía, las plantas estuvieron bajo estrés hídrico. Se pesaron diariamente las macetas (con todo y planta), y a ese peso se le restó el peso debido al crecimiento de la planta; que se obtuvo pesando en fresco cada tercer día dos plantas por genotipo, además se le restó la evaporación del suelo; que se estimó, pesando diariamente una maceta sin planta por condición de humedad, las cuales se ubicaron en el centro del experimento.

-Tasa transpiratoria diaria por planta. Se obtuvo dividiendo la transpiración total diaria por planta entre el área foliar promedio de cada genotipo y se expresó en $g\ dm^{-2}\ día^{-1}$.

-Potencial hídrico de la hoja. A partir de la sexta hoja ligulada después de la siembra se cortaron diariamente a las 5:00 A.M. fragmentos de las hojas más jóvenes de aproximadamente 10 cm de longitud e inmediatamente se les determinaban los potenciales hídricos (ψ_h) con la bomba de

presión tipo scholnader provista de gas nitrógeno cromatográfico. Las determinaciones se repitieron a las 2:00 y a las 6:00 P.M.

-Contenido relativo de agua (CRA). El CRA se obtuvo a ψ_h de -1, -4, -6 y -8 bares utilizando la mitad del fragmento de hoja que no se le determinó el ψ_h . Este se pesaba en fresco (PF) en una báscula Mettler PL-300 con aproximación a milésimas de gramo, y enseguida se ponían a flotar por dos horas en cajas petri que contenían agua destilada, para rehidratarlos a completa turgencia. Se pesaron después de eliminar con papel absorbente el exceso de agua para obtener el peso turgente (PT) y finalmente se secaban en una estufa a 85°C por 24 horas y se midió su peso seco (PS). Los cálculos se realizaron mediante la fórmula siguiente:

$$CRA = (PF-PS)/(PT-PS) 100$$

Análisis de varianza.

Los análisis de varianza (ANVA), para cada uno de los datos tomados se obtuvieron de un Modelo 1 de efectos fijos del diseño experimental bloques al azar con arreglo en parcelas divididas con cuatro repeticiones, cuyo modelo matemático se pudo observar anteriormente.

Prueba de medias.

A todos los datos tomados se les aplicó una prueba de Tukey el 5 por ciento de probabilidad.

Heredabilidad.

Este parámetro fue estimado en todas las variables medidas, considerando un modelo lineal aditivo de tipo II de efectos aleatorios, mediante el cual se obtienen las esperanzas de cuadrados medios como se indicó en el experimento de tolerancia a la marchitez permanente.

Análisis de correlación.

Con el fin de detectar posibles correlaciones entre y dentro de las variables de los experimentos de tolerancia a marchitez permanente y relaciones internas de agua en la planta, se efectuaron análisis de correlación lineal simple.

RESULTADOS Y DISCUSION

Experimento de tolerancia a marchitez permanente.

Análisis de varianza.

Los análisis de varianza del Cuadro 4.1 muestran que todas las variables con excepción del peso seco en la 4a hoja ligulada, registraron significancia estadística en la fuente de variación, tratamientos de humedad, lo que indica que si se lograron establecer los contrastes de humedad deseados.

En la fuente de variación correspondiente a genotipos, se detectó significancia estadística en todas las variables del estudio y con ello, se puede deducir, que hubo diferencias entre variedades. Respecto a la interacción tratamientos de humedad x genotipos, solamente en AF total, transpiración total y peso seco en 4a hoja ligulada no se detectó significancia estadística, de ahí que se pueden analizar e interpretar independientemente como un promedio (Reyes, 1977). Del resto de las variables del estudio, se deduce que hubo respuestas diferentes entre genotipos al pasar de una condición de humedad a otra.

Prueba de medias.

Sobrevivencia y tiempo de recuperación.

En el Cuadro 4.2, se muestra que los seis genotipos evaluados, no presentaron diferencias estadísticas en sobrevivencia de plántulas en el tratamiento de humedad 1; las diferencias fueron acentuando a partir del tratamiento 2. El AN-430 fue el material más susceptible a MP, ya que mostró la menor sobrevivencia de plántulas a partir del tratamiento 2; por el contrario, la línea AN2 fue el material más tolerante, dado que poco se afectó por los

Cuadro 4.2 Interacción tratamientos de humedad por genotipo variable por ciento de sobrevivencia.

Genotipos	Tratamientos de humedad			
	1	2	3	4
AN-310	100.0*	92.5*	85.0	70.0
AN20:AN2	100.0*	95.0*	92.5*	85.0
AN20	100.0*	90.0*	80.0	62.5
AN2	100.0*	100.0*	95.0*	87.5*
VS-201M	100.0*	95.0*	92.5*	77.5
AN-430	100.0*	85.0	72.5	47.5
Tukey = 14.9				

* = Superiores estadísticamente.

tratamientos de sequía impuestos. AN-310 y AN20 fueron medianamente susceptibles a MF; ya que se afectaron a partir del tratamiento 3; mientras la cruce AN20xAN2 y VS-201M pueden considerarse medianamente resistentes, ya que el efecto notable ocurrió hasta el tratamiento de humedad 4.

Los resultados anteriores indican que la línea AN2 es el genotipo que posee los genes para tolerancia a MF y probablemente de tolerancia a sequía de acuerdo con Maiti (1984) y Winter *et al.* (1988), quienes encontraron que la evaluación de tolerancia a MF es un buen criterio para ganar resistencia a sequía. Ellos sugieren que uno de los criterios para evaluar dicha tolerancia a MF es considerar el número o el por ciento de plántulas sobrevivientes después de aplicar los tratamientos de sequía establecidos.

En el mismo Cuadro 4.2, al comparar los valores obtenidos con la cruce AN20xAN2 y los de sus progenitores (AN20 medianamente resistente y AN2 tolerante a MF), se infiere un tipo de dominancia intermedia; en tanto que si se observa el comportamiento del híbrido AN-310 y el de sus progenitores AN20xAN2 y VS-201M (medianamente resistentes a MF), donde estos últimos superan a su progenie en tolerancia a MF, se puede considerar como un resultado poco esperado. Con lo anterior se deduce que la transmisión de

dicha tolerancia a MP no es tan simple como lo plantean Winter *et al.*, (1988), quienes reportan que en trigo la tolerancia a MP es de alta heredabilidad, y una vez identificados los genotipos tolerantes, las progenies lo serán también por efectos aditivos.

En cambio, Martínez (1963) y Arredondo (1982) al estudiar progenies y progenitores, encontraron diferencias similares a las del presente estudio, mismas que fueron debidas a que los efectos aditivos fueron más importantes que los de dominancia en tolerancia a MP y agua consumida, por consiguiente la transmisión de estos caracteres, teóricamente están más influenciados por el ambiente. Además, Arredondo (1982) concluyó que los valores de heredabilidad y ACG hacen suponer que en la condición de sequía se da una mayor expresión de la variabilidad genética.

Respecto al comportamiento del híbrido AN-430, que fue el material más susceptible a MP, se atribuye a que es un material seleccionado y generado para zonas de riego, y por consiguiente para altos requerimientos hídricos.

Respecto al tiempo de recuperación (Cuadro 4.3), también se observó la susceptibilidad a MP de AN-430. Este material, se recuperó más tarde que el resto en todos los tratamientos de sequía, lo cual puede ser atribuido a que

fue el genotipo con menor porcentaje de plántulas sobrevivientes y las que lograron sobrevivir quedaron con mayor daño, esto se deduce en parte de la correlación significativa en estas dos variables (Cuadro 4.8). En lo anterior coinciden Maiti (1984) y Winter *et al.* (1988), quienes reportan que las plantas más dañadas por el estrés hídrico, pierden vigor y tardan más tiempo en normalizar sus funciones.

Respecto al resto de los materiales, se observó en el mismo Cuadro 4.3, que con excepción de VS-201M, material que también requirió mucho tiempo de recuperación al menos en los tratamientos 2 y 4, el resto de los genotipos mostraron poco tiempo de recuperación y más o menos similar en todos los tratamientos de humedad. Dichos tiempos de recuperación registrados en el presente estudio, difieren notablemente de los tiempos obtenidos por Gutiérrez (1986), Williams *et al.* (1967) y Martínez (1963), los cuales registraron tiempos mínimos de recuperación de 200 horas; cuando en el presente estudio variaron de seis a 93. Esto indica que los genotipos aquí utilizados tienen mayor capacidad de respuesta a condiciones adversas, o bien; que el riego de recuperación se aplicó antes de que las plántulas llegaran por completo a MF, ya que resulta difícil determinar el momento exacto en que las plántulas llegan a MF. Winter *et al.* (1988) utilizaron también este

método en sus estudios y consideran a este problema como una de las limitantes de la técnica.

Variables de transpiración.

En el Cuadro 4.4, se presentan los valores promedio del área foliar total y transpiración total por tratamiento de humedad. Se observó que en el tratamiento 1 se registraron los mayores valores de área foliar y transpiración y en el tratamiento 4 los más bajos, lo cual se debió principalmente a que en el tratamiento 1 se presentaron las condiciones de humedad adecuadas para favorecer el crecimiento y permitir un mejor funcionamiento de la actividad fisiológica de la planta, en tanto que en el tratamiento 4 se tuvieron las mayores limitaciones de agua; lo cual se traduce en un incremento de la resistencia estomatal, reducción de transpiración, fotosíntesis y todas las actividades fisiológicas relacionadas con el crecimiento.

En el Cuadro 4.5, se muestran las respuestas entre genotipos, donde AN-310, VS-201M y AN-430 fueron los de mayor transpiración fue el AN20xAN2. Dichos resultados coinciden con los reportados por Shanahan y Nielsen (1987). Ellos observaron que no siempre los genotipos con mayor área foliar, son los de mayor transpiración. Pearson (1977) considera normal este tipo de resultados, debido a

que los cultivares de una misma especie pueden responder al efecto hídrico de varias formas, sin que exista un solo patrón de respuesta definido. Por otra parte, Chan y Fowler (1987b), sugieren que las comparaciones de datos de transpiración entre genotipos se haga en base a valores por unidad de AF y no por AF total, es decir; en base a la tasa transpiratoria.

Con respecto a las tasas transpiratorias (Cuadro 4.6), se encontró que en el tratamiento de riego (1), se registraron los valores superiores estadísticamente. Los genotipos AN20:AN2 y AN20 tuvieron las tasas transpiratorias más altas en riego y aunque mostraron inconsistencia, se mantuvieron con valores más altos en el tratamiento 3. VS-201M en cambio, fue un material que en general tuvo tasas transpiratorias bajas.

Lo anterior indica que los genotipos AN20:AN2 y AN20, que presentaron las tasas transpiratorias mayores, son los materiales con mayor gasto de agua. En tanto que, sobresalen VS-201M y AN2 como los genotipos tolerantes a sequía y posibles donadores de dichas características a sus progenies. Lo anterior concuerda con Pearson (1977); Shanahan y Nielsen (1987) y Boyer (1983), quienes concluyeron que al momento del riego de recuperación, las plantas que redujeron en menor grado su AF y presentaron bajas tasas transpiratorias, toleraron más la sequía,

debido a que iniciaron más pronto y a mayor velocidad la fotosíntesis y acumulación de materia seca.

Sin embargo, estos resultados que permitieron diferenciar más la tolerancia a sequía en los materiales estudiados, no son de importancia para Henzell *et al.* (1975) y Fischer y Turner (1978) quienes mencionan que las variables de transpiración no permiten seleccionar eficientemente, ya que son muy afectadas por factores ambientales.

En el tratamiento 4, se observaron las tasas transpiratorias más bajas y no se detectaron diferencias entre los genotipos. Lo cual revela que dos castigos causaron mayor efecto que uno en cualquier etapa. Pearson (1977) menciona que todas las plantas superiores están expuestas a la desecación al menos una vez durante el ciclo de vida y cuantas más veces sean afectadas por sequía ligera o intensa, mayor será el daño en la planta.

Pesos secos.

Dado que el interés de la presente investigación no fue únicamente ver cuantas plántulas sobrevivían a los periodos de MF, sino buscar que las que sobrevivan tengan un comportamiento semejante al de las plántulas desarrolladas bajo condiciones favorables, se comparó la

acumulación de MS entre tratamientos de humedad y genotipos, al inicio del estudio y diez días después de la segunda recuperación de MF.

No se detectó diferencia significativa para peso seco al inicio del estudio (4^o hoja ligulada) en ninguno de los tratamientos de sequía impuestos (el promedio fue de 0.89 g/pl), ya que todos se encontraban a CC en ese momento. Pero si se observaron diferencias entre genotipos, donde AN-310, AN20xAN2, VS-201M y AN-430 con 0.98, 0.90, 1.0 y 1.0 g/pl respectivamente, superaron estadísticamente a la líneas AN20 y AN2 que obtuvieron 0.6 y 0.7 g/pl, respectivamente. Esto probablemente se debió a que las líneas provenían de semilla más pequeña y de que germinaron seis días más tarde que la cruce simple; además de que tuvieron un crecimiento y acumulación de MS más lento (Figura 4.1) como consecuencia probable de la pérdida de vigor que causa la endogamia (Esparza, 1990 y de León *et al.*, 1991).

Respecto al peso seco 10 D.D. (Cuadro 4.7), sobresalieron con la mayor producción los genotipos AN-310 y VS-201M principalmente en los tratamientos de humedad 1, 2 y 3, ya que en el tratamiento 4 produjeron estadísticamente igual que el resto de los materiales. AN20 con la menor producción de peso seco fue la línea más estable.

Cuadro 4.7. Peso seco (g) 10 días después de la segunda recuperación en la interacción tratamientos de humedad por genotipos

Tratamientos de humedad	Genotipos					
	AN-310	AN20xAN2	AN20	AN2	VS-201M	AN-430
1	3.83*	3.33	2.60	3.13	4.00*	4.33*
2	4.26*	3.30	2.50	3.33	4.70*	5.03*
3	3.86*	3.16	2.33	3.16	4.00*	3.80
4	2.83	2.00	2.00	2.33	3.16	2.06

t_{ukey} = 1.22

* = Superiores estadísticamente al 0.05 de probabilidad.

Los resultados anteriores nos muestran una vez más, que los genotipos AN-310 y su progenitor VS-201M son los materiales de mayor tolerancia a sequía del estudio. Resultados similares y en otros genotipos fueron encontrados por Pearson (1977); Shanahan y Nielsen (1987) y Boyer (1983). Ellos mencionan que los genotipos con mayor AF y menor tasa transpiratoria bajo sequía presentaron al momento del riego de recuperación, una más pronta recuperación de sus funciones fisiológicas y una mayor acumulación de MS. Fischer y Turner (1978), resaltan la importancia de estos resultados, debido a que la acumulación de MS es de alta heredabilidad.

Se observó también en el Cuadro 4.7 y Figura 4.1, que dos castigos (tratamiento 4) causaron un mayor efecto que uno, tal y como se encontró en las variables anteriores. De los tratamientos individuales, el tratamiento 3 fue el que causó mayor efecto, lo cual puede ser atribuido a que este tratamiento de humedad se aplicó cuando las plantas tenían de 25 a 30 días de nacidas, y se encontraban en la etapa que Fischer y Turner (1978) llaman de máximo esfuerzo reproductivo (diferenciación meristemática); la cual después de la emergencia, es la etapa de desarrollo de mayor susceptibilidad a cualquier estrés.

Con respecto al primer objetivo del estudio, las variables relacionadas con la tolerancia a MP discutidas hasta el momento, indican que el híbrido AN-310 tuvo un comportamiento semejante al de su progenitor VS-201M, y con respecto a los tratamientos de humedad, se encontró que el tratamiento 4 fue el más severo para todos los genotipos y todas las variables medidas.

Correlación de variables.

En el Cuadro 4.8, se puede apreciar que los coeficientes de correlación entre las variables del estudio, fueron por lo general bajos (inferiores a 0.70) con excepción sobrevivencia-transpiración total y transpiración total-tasa transpiratoria con coeficientes de

0.71 y 0.89 respectivamente.

Cuadro 4.8. Matriz de correlación de las variables medidas en el experimento de tolerancia a marchitez permanente.

	Tiempo de recup.	Area foliar	Transp. total	Tasa transp.	Peso seco
Sobrevivencia	-0.66**	-0.06	-0.70**	0.62**	0.40*
Tiempo de recuperación		0.07	-0.65**	-0.70**	-0.00
Area foliar			0.20	0.29	0.42
Transpiración total				0.88**	0.55*
Tasa transpiratoria					0.37

** , * = Significancia al 0.01 y 0.05 de probabilidad respectivamente.

Algunas correlaciones aceptables se encontraron entre sobrevivencia-tiempo de recuperación, lo cual indica que a mayor sobrevivencia corresponde menores tiempos de recuperación. Estas mismas variables también correlacionaron aceptablemente con transpiración total y tasa transpiratoria.

Heredabilidad.

Los resultados que se presenta en el Cuadro 4.9, revelan que existe una gran variación en los valores de heredabilidad obtenidos a través de los diferentes métodos.

Por ejemplo, si tomamos al AN-310 como progenie, los máximos valores de heredabilidad se obtuvieron con los progenitores individuales, específicamente con VS-201M (), excepto para tiempo de recuperación que fue de 1.5 por ciento. Cuando se tomó como progenie a la cruce AN20xAN2, se obtuvieron valores superiores de heredabilidad con el método progenie-progenitor medio para área foliar y transpiración; con respecto a progenie-progenitor (AN2) para el resto de las variables. Se pudo observar además , que las estimaciones realizadas considerando progenes y progenitores, fueron en casi todos los casos menores a los valores obtenidos considerando todos los genotipos en estudio (H^2 general).

Los resultados anteriores sugieren, que en los estudios que incluyen material genético diverso, como híbridos, variedades, líneas, etc., y se utilizan los ANVA para cálculos de heredabilidad se obtienen valores altos. Lo cual además de no cumplir con el requisito del diseño de apareamiento (Comstock, 1964), enmascara el efecto de la H^2 ; ya que no se sabe cuál es el material que efectivamente tiene la habilidad para heredar a su progenie el factor estudiado (Mather, 1949).

En general todos los valores de H^2 fueron bajos aun y cuando fueron obtenidos considerando los métodos de progenes y progenitores como lo indican Mather (1949) y

Falconer (1989). Estas tendieron a ser superiores cuando se comparó AN-310 con su progenitor VS-201M y AN20xAN2 cuando se comparó con AN2, lo cual indica que es probable que estos progenitores que resultaron ser tolerantes a MF, sean los que contribuyan más en el comportamiento del híbrido AN-310.

La inconsistencia en los valores obtenidos de H^2 en las progenies estudiadas, difiere de los resultados obtenidos por Winter *et al.* (1988), quienes encontraron que las variables sobrevivencia y tiempo de recuperación eran de alta heredabilidad. Respecto a los valores registrados en la variable peso seco, los cuales aunque también fueron bajos, fueron consistentes; coinciden con Fischer y Turner (1978), al encontrar que el peso seco es una variable de alta heredabilidad.

Relaciones internas de agua en la planta.

Elongación de hoja, contenido relativo de agua y tasa transpiratoria respecto al potencial hídrico.

Análisis de varianza.

En el Cuadro 4.10, se presentan los cuadrados medios, nivel de significancia y heredabilidad de las variables elongación de la hoja, CRA y tasa transpiratoria respecto

al ψ_h ; en éste se observó que prácticamente en todas las variables y todas las fuentes de variación se detectó significancia estadística, la excepción fue la variable CRA en la interacción genotipos \times ψ_h . En relación a la heredabilidad se observó que ésta osciló entre 1.2 y 2.3, la cual es prácticamente nula.

Cuadro 4.10 Cuadrados medios, nivel de significancia y heredabilidad de elongación de hoja, CRA y tasa transpiratoria.

Variables	Fuentes de variación			H ² (%)
	Tratamientos de humedad (A)	Genotipos (B)	Interacción (A \times B)	
Elongación de hoja	108.32**	5.39**	3.43**	2.3
CRA	9774.12**	130.36**	46.78	1.2
Tasa transp.	14.36**	0.31**	0.09**	2.1

** = Significancia estadística al 0.01 de probabilidad.

Comparación de medias.

Elongación de la hoja.

En la Figura 4.2, se observa que los seis genotipos evaluados manifestaron menor elongación de la hoja conforme disminuyó el ψ_h ; de tal manera que a -8 bares la elongación cesó por completo. Resultados similares fueron reportados por Nuñez (1984), Boyer (1970) y Kramer (1974), quienes mencionan que la expansión foliar, bajo condiciones de

invernadero, decrece rápidamente cuando el ψ_h es de -2 bares y cesa a ψ_h de -7 a -9 bares. Se observa también, que hubo respuestas diferenciales en la iniciación y crecimiento de la hoja en los diferentes ψ_h , lo cual Peña, (1986), atribuye a deficiencias de humedad. ya que el crecimiento depende principalmente de la cantidad de agua disponible para la planta

La línea AN20 mostró una elongación de hoja inicial pobre y se mantuvo así y con una respuesta lineal hasta un ψ_h de -6 bares; a partir del cual declinó más aceleradamente. AN2 y la cruce AN20:AN2 tuvieron una respuesta intermedia y similar entre sí; con una tendencia lineal hasta el final del tratamiento. Lo anterior indica que la línea AN2 además de tener mejor respuesta que AN20, es el material que parece dominar en la combinación de ambos materiales. Así lo demuestra el comportamiento semejante de AN2 y AN20:AN2.

La variedad VS-201M y el testigo AN-430 iniciaron también con una reducción lineal y una elongación de hoja superior hasta un ψ_h de -4 bares. A partir de ese ψ_h , el AN-430 declinó su crecimiento de hoja drásticamente de tal manera que desde -5 bares tuvo la tasa de elongación más baja. Lo cual indica que posee una gran susceptibilidad a sequía. El VS-201M aun y cuando disminuyó más su elongación de hoja después de -4 bares, siempre se mantuvo

con valores altos.

El híbrido AN-310 junto con VS-201M fue el material con menor reducción en la elongación de hoja a más bajos potenciales de agua. AN-310 presentó una disminución lineal hasta -6 bares y su declive posterior fue menos drástico que el de VS-201M; aunque no diferieron significativamente.

Lo anterior puede ser atribuido a que aún en ψ_h de -8 bares, que fue cuando concluyó el experimento, el AN-310 mantuvo un CRA de 66.2 por ciento y estas variables se encuentran asociadas entre sí (Cuadro 4.12). Lo cual puede ser explicado como una forma de ajuste osmótico por un acondicionamiento más progresivo de las plantas a la sequía (Peña y González, 1988). Tal acondicionamiento del híbrido AN-310, debió ser adquirido del genotipo VS-201M, ya que mostraron comportamientos similares.

Contenido relativo de agua.

El CRA, presentó una relación directa con el ψ_h , es decir, a medida que el ψ_h disminuyó, el CRA disminuyó también; ya que a ψ_h de -1, -4, -6 y -8 bares correspondieron valores promedios de CRA de 82.3, 77.0, 61.9 y 37.2 por ciento respectivamente, siendo estadísticamente superiores los promedios obtenidos en ψ_h

de -1 y -4 bares. Notese que al pasar de -6 a -8 bares el CRA sufrió su mayor decremento.

En relación a las diferencias entre genotipos se encontró que AN-310 con 69.9 por ciento y V5-201M con 67.6 por ciento superaron estadísticamente a AN20xAN2, AN20, AN2 y AN430 que registraron en promedio un CRA de 62.7, 63.8, 64.7 y 61.7 por ciento respectivamente; lo cual pone de manifiesto una vez más la resistencia a sequía de dichos materiales, y refuerza la posibilidad de que sea una forma de ajuste osmótico por un acondicionamiento de las plantas a la sequía (Peña y González, 1988).

Tasa transpiratoria.

En la Figura 4.3, se aprecia que la tasa transpiratoria de todos los genotipos disminuyó marcadamente conforme disminuyó el ψ_h , pero no todos se afectaron de manera similar. El AN-430 fue el material que más disminuyó su tasa transpiratoria a menores ψ_h y esto fue más notorio a partir de -4 bares; por el contrario el AN-310 siempre se mantuvo con tasas transpiratorias más altas; incluso a -8 bares, potencial en el que el resto de los genotipos cesaron su transpiración.

Con el resultado anterior se confirma en parte la susceptibilidad a la sequía del AN-430 y la resistencia del

AN-310, el cual tuvo la capacidad de seguir con las funciones de transpiración y elongación de hoja, bajo ψ_h que provocaron marchitez permanente en el resto de los genotipos estudiados.

Respecto a la recuperación del ψ_h se encontró, que cuando se regó a las seis de la tarde después de la última lectura del ψ_h ; a las cinco de la mañana del día siguiente ya se encontraban las plantas en un ψ_h promedio de -2 bares, lo cual coincide con los resultados de Muñoz *et al.* (1983), quienes mencionan que el ψ_h es de las variables de más rápida recuperación.

La recuperación de la elongación de hoja, se registró 36 horas después del riego de recuperación, con incrementos mayores en las plantas que habían estado bajo estrés. Lo cual confirma que la división celular es menos susceptible que el alargamiento celular al estrés hídrico, como lo encontraron Hsiao (1973), Kramer (1974) y Núñez (1984).

Sin embargo, Fischer y Turner (1978) mencionan que la principal desventaja que presentan estos indicadores es que son de baja heredabilidad, como se puede apreciar en el Cuadro 4.10.

Potencial hídrico, contenido relativo de agua y tasa transpiratoria respecto al tiempo.

Análisis de varianza.

Los cuadrados medios, nivel de significancia y heredabilidad de las variables ψ_h , CRA y tasa transpiratoria con respecto al tiempo se presentan en el Cuadro 4.11, donde se observa que en las tres variables se detectó significancia estadística a un nivel de significancia del 0.01 para todas las fuentes de variación, excepto en la interacción genotipo \times tiempo en el CRA

Cuadro. 4.11 Cuadrados medios, nivel de significancia y heredabilidad del ψ_h , CRA y tasa transpiratoria.

Variables	Fuente de variación			
	Tratamientos de humedad (A)	Genotipos (B)	Interacción (A:B)	H (%)
ψ_h	1,102.1**	13.4**	13.4**	0.0
CRA	24,300.0**	86.3**	58.7	0.0
tasa transp.	456.1**	8.7**	7.5**	2.6

** = Significancia estadística al 0.01 de probabilidad.

Prueba de medias.

Potencial hidrico.

Los ψ_h en función del tiempo se muestran en la Figura 4.4, donde se observa que al tercer día de muestreo, todos los genotipos lograron recuperar su ψ_h a las 5:00 AM a valores similares al primer día, sin embargo, en el cuarto ya no lograron recuperarse a sus valores iniciales en esa ni en ninguna hora y se empezaron a notar diferencias entre los genotipos.

Kramer (1974) al citar a Slatyer (1967), explica respecto a lo anterior que la absorción de agua por las plantas se atrasa con relación a la transpiración, ya que, a falta de agua en el suelo, se reducirán el potencial hidrico de la planta y del suelo durante un periodo de días hasta que ψ_{planta} sea igual al ψ_{suelo} . De esta forma la planta dejar de absorber agua porque no habrá más gradiente del potencial hidrico entre el suelo y la planta.

Los resultados de disminución lineal diaria obtenidos en el presente estudio respecto al ciclo diario del potencial hidrico de la planta, difieren de los encontrados por Barrs (1968), Kramer (1974) y Muñoz *et al.* (1983). Dichas diferencias se deben posiblemente a que falto por lo menos una medición más del ψ_h durante la

noche. Lo anterior permitiría ver que al principio, mientras el ψ suelo es relativamente alto, la planta vuelve a un valor igual al ψ suelo por la noche (equilibrio), pero al reducirse el ψ suelo y la conductividad hídrica del suelo esto el equilibrio de potenciales se vuelve imposible porque el coeficiente de movimiento del agua hacia las raíces se hace demasiado lento para reponer las pérdidas diurnas.

El AN-430 y VS-201M tendieron a registrar los ψ h más bajos a partir del quinto día; mientras que las líneas AN20 y AN2 y el híbrido AN-310 registraron en general los valores más altos. La cruce AN20xAN2 también tuvo valores altos de ψ h, similares a sus progenitores a partir del séptimo día. Por otro lado, se observó que la línea AN2 fue la que menos redujo su ψ h diurno, durante todo el tratamiento y la que mejor recuperación mostró por las mañanas, lo cual indica que es un genotipo con cierto mecanismo que le permite mejor conservación y uso del agua, que lo hace ser tolerante a sequía junto con AN-310, como se encontró también en el experimento de tolerancia a MP, donde también sobresalio VS-201M.

Tasa transpiratoria.

En la Figura 4.5, se observa que la tasa transpiratoria respecto al tiempo declinó en forma

sigmoideal en todos los genotipos, AN-310, VS-201M y AN2 tuvieron una tasa transpiratoria inicial pobre y de ellos solo AN2 continuó así por el resto del tratamiento, mientras que el VS-201M y el AN-310 se mantuvieron con altas tasas transpiratorias; especialmente el AN-310 el cual aun en el doceavo día cuando concluyó el experimento, siguió transpirando. Estos resultados conciden con Pearson (1977), Boyer (1983) y Shanahan y Nielsen (1987), quienes mencionan que los genotipos con tolerancia a sequía presentan bajas tasas transpiratorias cuando están bajo estrés hídrico. En tanto que, AN20, AN20xAN2 y AN430 fueron los genotipos con las tasas transpiratorias iniciales más altas y de éstos, sólo la línea AN20 y la crusa simple se mantuvieron constantemente superiores; ya que el AN-430 redujo su tasa transpiratoria drásticamente, a tal grado, que este genotipo al noveno día de muestreo ya no realizó transpiración.

El hecho de que los resultados anteriores coincidan con las pasadas variables discutidas, revelan claramente la superioridad que tiene AN-310, VS-201M y AN2 en resistencia a sequía, sobre el resto de los materiales estudiados. Poniendo así de manifiesto que los progenitores de mayor importancia en este estudio fueron AN2 y VA-201M. También queda establecida la alta susceptibilidad a sequía del AN-430 que fue utilizado como testigo.

Contenido relativo de agua.

El hecho de no haber detectado significancia estadística en la interacción tiempo x genotipos en el CRA, indica que todos los genotipos afectaron igual su CRA conforme pasaron los días. Estos iniciaron con un CRA promedio de 82.3 por ciento y finalizaron con 38 por ciento.

El híbrido AN-310 fue el material con mayor CRA (66.9 por ciento); del resto, los mejores fueron AN2 y VS-201M con un CRA promedio de 60 por ciento y con menor CRA el AN20, AN20xAN2 y AN-430 que registraron un promedio de 58.3, 57 y 53.2 por ciento respectivamente.

Dichos resultados sugieren también que AN-310 es un material tolerante a la sequía ya que presentó el valor más alto de CRA, variable que según Chan y Fowler (1977) es el mejor indicador de las relaciones internas de agua en la planta. Además de que también sobresalió en el experimento de tolerancia a MP. Tales características del AN-310 pueden ser resultado de un acondicionamiento progresivo de las características adquiridas directamente de su progenitor VS-201M que también sobresalió en ambos experimentos, y de AN2, el cual debió haber transmitido sus características de tolerancia a MP al AN20xAN2 y este a su vez al AN-310.

Correlación

El análisis de correlación lineal simple entre las variables medidas en relación al ψ_h se presentan en el Cuadro 4.12, el cual reveló que existe correlación positiva y significativa entre todas las variables estudiadas. Los coeficientes de correlación más altos correspondieron a elongación de hoja-CRA y ψ_h -CRA y el más bajo a ψ_h -elongación de hoja. Esto sugiere que a medida que el ψ_h decrece, decrece también el CRA de la planta y que se reduce significativamente la elongación de hoja, la tasa transpiratoria y posiblemente todas las funciones fisiológicas, dado que su funcionamiento depende principalmente del agua disponible en la planta. También se puede decir, que el CRA y el ψ_h pueden ser indicadores muy semejantes del contenido de agua en la planta.

Cuadro 4.12. Matriz de correlación entre algunas variable

	Elongación de hoja	CRA	Tasa transpiratoria
ψ_h	0.40*	0.82**	0.45**
Elongación de hoja		0.85**	0.55**
CRA			0.73**

*, ** = Significancia estadística al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente.

CONCLUSIONES

Con base a las condiciones experimentales bajo las que se desarrolló la investigación y a los resultados discutidos, se llegó a las siguientes conclusiones:

- i). El híbrido AN-310 tuvo en general un comportamiento intermedio entre sus progenitores AN20xAN2 y VS-201M.
- ii). El AN2 y VS-201M fueron los materiales de mejor respuesta a todas las variables medidas para determinar la tolerancia a marchitez permanente, características que fueron transmitidas a las progenies AN20xAN2 y AN-310.
- iii). La línea AN2 es la que posee las características de tolerancia a marchitez permanente.
- iv). Los caracteres de mayor heredabilidad en el estudio fueron los pesos secos, seguidos por el tiempo de recuperación y el área foliar.
- v). Dos castigos propiciaron un mayor efecto que uno en

todas las variables medidas.

- vi). El híbrido AN-310 fue el genotipo que presentó mayor elongación de hoja y tasa transpiratoria respecto al potencial hídrico.
- vii). A potenciales hídricos de -8 bares a las 5:00 AM correspondió un valor de contenido relativo de agua promedio de 38 por ciento, 38 por ciento, condiciones que propiciaron el cese en la elongación de la hoja y tasa transpiratoria.
- viii). El potencial hídrico mostró una tendencia lineal de disminución diaria en el ciclo del potencial hídrico diario de la planta.
- ix). El CRA fue el mejor indicador de las relaciones internas del agua en la planta, correlacionado con el potencial hídrico, elongación de hoja y tasa transpiratoria.
- x). El AN-430 fue el material de mayor susceptibilidad a la sequía en los dos experimentos.

RESUMEN

En las áreas de temporal, donde la precipitación varía en cantidad y distribución, predominan las siembras tradicionales en las cuales se obtienen bajos rendimientos y no se logra satisfacer adecuadamente las necesidades de subsistencia. Dicha problemática, en el Instituto Mexicano del Maíz óDr. Mario E. Castro Giló de la UAAAN, se está enfrentando, con la formación de híbridos radiales, donde sobresale el AN-310 por su excelente comportamiento bajo condiciones de temporal crítico. Con el objetivo de identificar que características le dan ese comportamiento, de que progenitor las heredó y que tipo de herencia tiene, se planteó el presente trabajo con los siguientes objetivos específicos: 1). Estudiar el comportamiento del híbrido de maíz AN-310 y sus progenitores bajo diferentes intensidades y periodos de sequía, 2). Evaluar la tolerancia a MP y su heredabilidad en el híbrido AN-310 y sus progenitores, y 3). Examinar índices relacionados con el estatus hídrico, para determinar las relaciones internas del agua en la planta bajo niveles de humedad.

El experimento de tolerancia a MP se estableció en un invernadero de la UAAAN, el 2 de febrero de 1990, en

macetas de plástico negro de 10 cm de diámetro. Dicho experimento consistió en aplicar cuatro tratamientos de humedad en dos periodos, a los genotipos AN-310, AN20xAN2, AN20, VS-201M y AN-430. La información se analizó mediante un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, donde el Factor A fueron los tratamientos de humedad y el Factor B los genotipos.

El ANVA reveló, que a excepción del peso seco de 4a hoja ligulada, en todas las demás variables y fuentes de variaciónse detectaron diferencias estadísticas.

La prueba de medidas para la variable sobrevivencia indicó, que los seis genotipos evaluados no presentaron diferencias estadísticas en el tratamiento de humedad 1, las diferencias se marcaron a partir del tratamiento 2, AN-430 fue el material más susceptible a MP y la línea AN2 la más tolerante, dado que poco se afectó por los tratamientos de sequía, AN-310 y AN20 fueron medianamente susceptibles a MP y AN20xAN2 y VS-201M fueron medianamente resistentes.

Respecto al tiempo de recuperación, osciló entre seis y 93 horas, AN-430 fue el material que se recuperó más tarde, debido a su susceptibilidad a sequía. A excepción de VS-201M que requirió mucho tiempo de recuperación en los tratamientos 2 y 4, el resto de los genotipos mostraron

poco tiempo de recuperación y más o menos similar.

Los mayores valores de AF y transpiración se registraron en el tratamiento de humedad 1, y los más bajos en el 4. Las diferencias entre genotipos mostraron que AN-310, VS-201M y AN-430 registraron las mayores AF, y AN20:AN2 la mayor transpiración. En tanto que VS-201M tuvo las menores tasas transpiratorias, características que le da tolerancia a sequía y que también poseen AN-310 y AN2.

En el peso seco final sobresalió AN-310 y VS-201M con la mayor producción, y fue esta variable la de mayor H^2 . Fue notorio que la H^2 en base a progenies y progenitores fue muy variable, y siempre menor que la H^2 testigo, que incluyó todos los genotipos evaluados.

El experimento para estudiar las relaciones internas del agua en la planta, se llevó a cabo en el invernadero del CIFAP-AGUASCALIENTES. Se sembró el 22 de julio de 1971 en macetas de plástico negro de 30 cm de diámetro por 65 cm de altura. Los tratamientos de humedad se aplicaron, conduciendo dos grupos de plantas, uno bajo riego y otro sin riego a partir de los 25 días después de la siembra, volviéndose a regar cuando registró un ψ_h promedio de -8 bares a las 5:00 AM. Las variables medidas se analizaron mediante un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, donde el Factor A fueron en un caso el

ψh y en otro el tiempo (inicio y fin del experimento).

El ANVA con respecto al ψh y al tiempo detectó diferencias estadísticas en todas las fuentes de variación y variables excepto en la interacción en CRA.

En la comparación de medias se encontró que AN-310 y VS-201M fueron los genotipos que en general sobresalieron estadísticamente en las variables asociadas con las relaciones internas del agua en la planta, tanto respecto al ψh como respecto al tiempo.

Tanto la elongación de la hoja, como la transpiración se vieron fuertemente afectadas por ψh de -6 bares y cesaron a -8 bares; que fue cuando el CRA registró un promedio entre genotipos de 38 por ciento.

Con respecto a la correlación de variables, se encontró, que el ψh se asoció positivamente con todas las variables medidas.

En base a los resultados obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones generales: i). el AN-310 tuvo un comportamiento intermedio entre sus progenitores.. ii). AN2 es el genotipo que posee los genes de tolerancia a MF.. iii). los caracteres de mayor H^2 fueron los pesos secos.. iv). AN-310 y VS-201M tuvieron el mejor comportamiento en

las variables de relaciones internas de agua en la planta..
v). a ψ de -8 bares, cesó la elongación de la hoja y
transpiración.

LITERATURA CITADA

- Angeles, A.H. 1968. El maíz y el sorgo y sus programas de mejoramiento genético en México. Memoria del 3^{er} Congreso Nacional de Fitogenética (1^{er} Simposio) F,382-434. SOMEFI, CENEINFA, Chapingo, Méx.
- Aparicio Tejo and M.J. Boyer S. 1983. Significance of accelerated leaf/senescence at low water potentials for water loss and grain yield in maize. *Crop. Sci.* 23: 1198-202.
- Arredondo, V.C. 1982. Aptitud combinatoria general y específica en líneas de trigo *Triticum aestivum* L. bajo el método riego-sequia. Tesis MC., C.P. Chapingo, Méx. 37-48.
- Atsmon, D. 1973. Breeding for drought resistance in field crops. *Agricultural Genetics, Selected Topics*, Ed. Rom. Moav. John Wiley and Sons, New York.
- Barrs, M.P. 1968. Determination of water deficits in plant tissues In: Kozłowski (Ed). *Water deficits and plant growth* Vol 1 Acad. press. New York: 93-105

- Boyer, J.S. 1970. Relationships of water potential to growth of leaves. *Plant physiol.* (46) 233-35.
- Chan C.J. y J.L. Fowler, 1987a. Análisis paramétrico en *Crambe abyssinica* bajo condiciones de sequía. *Fitotecnia* 9:77-89.
- Chan, C.J. y J.L. Fowler, 1987b. Relaciones internas del agua en la planta en *Crambi* (*Crambe abyssinica*). *Fitotecnia* 10:111-24.
- Comstock, R.G. 1964. Selectran procedures in corn improvement. *Proceedings of the nineteenth annual hybrid corn industry research conference* 19:87-94.
- Dudley, J. y H. Moll 1969. Epistasis in maize (*Zea mays* L.) 1. F1 híbridos and theirs S1 progeny (9)-2: 124-7.
- Eik, K, and J.J. Hanway, 1965. Some factor affecting development and longevity of leaves of corn. *Agr. Jour.* 57:7-12.
- Fischer, K.S.; E.C. Johnson y G.C. Edmeades. 1984. Mejoramiento y selección de maíz tropical para incrementar su resistencia a la sequía. CIMMYT. El Batón, México: 1-8.

- Fischer, R.A. and N.C. Turner 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Ann Rev. plant physiol.* 29:277-317.
- Falconer, D.S. 1989. *Introducción a la genética cuantitativa*. Traducido por Fidel Márquez S. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México. Segunda impresión: 135-99 y 319-33.
- Gutiérrez, S.R. 1986. Comportamiento en campo y tolerancia a marchitez permanente y a presión osmótica de poblaciones de maíz seleccionadas bajo el sistema riego-sequia. Tesis de Maestría. C.P. Chapingo, México :12.
- Henzell, R.G; K.L. McCree; CM. Van Bavel, and K.F. Schertz 1975. Method for screening sorghum genotypes for stomatal sensitivity to water deficits, *Crop. Sci.* 15:576-78.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant response to water stress. *Ann Rev. plant physiol.* (24):519-570.
- Hurd, E.A. 1975. Plant breeding for drought resistance: 317-53 In: *water deficits and plant* T Kozlowski. Ed. New York: Acad. Press.

- Jasso, I.R. y M.C. Chavira, 1988, caracterización de las relaciones hídricas internas del frijol, En: Resúmenes del XII Congreso de Fitogenética. SOMEFI: 78.
- Kramer, P.J. 1974. Relaciones hídricas de suelos y plantas. Una síntesis moderna. Traducido por Leonor Tejeda. EDUTEX. S.A. México: 336-444.
- Larcher, W. 1977. Ecofisiología Vegetal. Traducido al español por Jorge Lalucat. Ed. Omega. Barcelona.
- Maiti, R.K. 1983. Evaluación del sorgo bajo condiciones de "stress" múltiple en los trópicos semiáridos del noroeste de México, folleto de divulgación N° 1 UANL. México. pp 28.
- Maiti, R.K. 1986. Morfología, crecimiento y desarrollo del sorgo. traducido al español por, Francisco Illades. UANL. :67-79.
- Martínez, V.L. 1963. Resistencia a la sequía, evaluación de varianzas genéticas de la línea latente sometida al método de castigos progresivos. Tesis profesional, ENA, Chapingo, Méx.
- Mather, K. 1949. Biometrical Genetics. Dover, New York.

Mather 1965. Principles of quantitative Genetics. Burgess Publishing Company, Minnesota U.S.A. 2nd Printing :26-32 y 107-35.

Mendoza, O.L. 1972. Influencia del ahijamiento sobre la producción de grano y otras características agronomicas de dos variedades de maíz bajo condiciones de riego en Chapingo, México. Tesis de Maestria. ENA. CP.

Mendoza, O.L. González E. y J. Ortiz C. 1984. Factores de Conversión y tamaño de muestras en la estimación del área foliar en maíz. Agrociencia 58:141-51. Chapingo, Méx.

Miller, A.A. y W.R. Gardner, 1972. Effect of the soil and plants water potential on the dry matter production of snap beans Agr. Jour. 64:559-61.

Muñoz, O.A. 1980. Resistencia a la sequía y mejoramiento genético. Ciencia y desarrollo. 33:26-35.

Muñoz, O.A. y H. Angeles A. 1969. Investigaciones sobre resistencia a sequía en el mejoramiento de maíz en México. Agronomía Tropical 19:319-33.

Muñoz, O.A. y V. González, H. 1976. Mejoramiento de maíz en el CIAMEC. IV. Obtención de sintéticos resistentes a sequía y heladas. Memorias VI Congreso Nacional de Fitogenética. Chapingo, Méx.: 131-47.

Muñoz, O.A. ; J. Ortiz C.G.W. Thurteil y A. Carballo, C. 1983. Transpiración, fotosíntesis, eficiencia en el uso del agua y potencial hídrico en maíces resistentes a sequía y heladas. Agriciencia. 51:115-53.

Muñoz, B.A. 1984. El agua en el sistema suelo-planta-atmósfera. Tema didáctico. N. 17. SARH-INIA-CIANOC. 15 p.

Otero, M.L., E. Pimienta B. y F. Rocha O. 1986. Desarrollo fenológico de la papita guera en condiciones de humedad restringida. En: Memorias de la IV Reunión de Investigación sobre papita Guera. Campo Experimental San Luis Potosí. pp 17-8.

O'Toole, J.C. and T.T. Chang. 1979. Drought resistance in cereals-Rice: A case study, In Munssell. E. and RC. Staples (eds) stress physiology in crop plants. John Wiley an Sons Inc. USA: 373-405.

- Pearson, L.R. 1977. Respuestas de la planta a deficiencia de agua. En: Christiansen, M.N. y Ch. Lewis (Eds). Mejoramiento de plantas en ambientes poco favorables. LIMUSA, México: 211-31.
- Pearson, L.R. 1979. Breeding for drought resistance. What plant characteristics impart resistance Hort. Sci. 14:590-93.
- Peña, R.A. 1986. Comportamiento de cuatro especies cultivadas bajo condiciones deficientes de humedad. Tesis de Maestría Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Peña, R.A. y V. González G. 1987. Las curvas de presión-volumen como método para evaluar las capacidades de ajuste osmótico en hojas de maíz y girasol. Fitotecnia 9:35-48.
- Quizenberry, J. E. 1987. Mejoramiento de planta para la resistencia a la sequía y el aprovechamiento del agua, In: Christiansen, M.N. y Ch. F. Lewis (Eds). Mejoramiento de plantas en ambientes poco favorables. LIMUSA, México :233-56.

- Ray, F.M. 1981. La planta viviente. Serie biología moderna. CECSA. 272 p.
- Reyes, C.P. 1977. Diseño de experimentos aplicados. Ed Trillas. México: 61-70 y 218-44.
- Robledo, T.V. 1989. Comportamiento de características cuantitativas y patrones de crecimiento radical en relación con la resistencia a sequía en maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Maestría. UAAAN: 5-9.
- Rodríguez, O. J. 1977. Relaciones entre transpiración, anatomía, morfología y marchitez de hojas de maíz y sorgo. Tesis M.C. , C.P. Chapingo México.:61-70.
- Rojas, G.M. y M. Rovalo M. 1985. Fisiología vegetal aplicada. Tercera edición, Libros McGraw-Hill de México. S.A. de C.V.: 302 p.
- Shanahan, J.F. and D.C. Nielsen. 1987. Influence of growth retardants (Anti-gibberellins) on corn vegetative growth, water use, and grain yield under different levels of water stress. Agr. Jour. 79 (1): 103-109.
- Williams, I.V. R.S. Snell y J.F. Ellis 1967. Methods of measuring of drought tolerance in corn. Crop. Sci. 7:179-82.

Winter, S.R., J.T. Musick and F.B. Porter. 1988. Evaluation of screening Techniques for Breeding Drought-Resistant Winter wheat. *Crop. Scr.* 28(3):512-516.

Zavala, G.F. 1984. Estudios sobre el crecimiento y desarrollo del sorgo en México. Folleto de divulgación N.7 CIA-FAVANL:16 p.

APENDICE

A1. Comparación de medias por tratamientos de humedad de las variables medidas en el experimento de tolerancia a marchitez permanente.

Variable	Tratamientos de humedad			
	1	2	3	4
humedad (%)	100	92.9	86.2	71.6
tiempo de recuperación (hr)	0	40.5	15.2	51.3
transpiración total (cm ²)	137.5	109.4	102.0	87.1
transpiración total (g/día)	257.3	121.8	155.1	33.3
transpiración específica (g/dm ² /día)	23.8	12.7	17.1	3.8
peso hoja (g)	0.87	0.90	0.87	0.90
% R I (g)	1.0	0.8	1.0	0.8
% R II (g)	1.6	2.0	1.5	1.3
D.D.	3.5	3.8	3.5	2.4

2A. Comparación de medias por genotipos, de las variables medidas en el experimento de tolerancia a marchitez permanente.

Variable	Genotipos					
	AN-310	AN20xAN2	AN20	AN2	VS-210M	AN430
Vivencia (%)	86.8	93.1	83.1	95.6	91.5	76.2
Tiempo de recuperación (hr)	21.7	17.0	17.0	18.0	33.0	54.0
Foliar total (g/dm ²)	124.0	116.4	71.8	90.4	121.6	129.7
Transpiración (g/día)	156.2	171.0	102.9	108.1	156.2	156.8
Transpiración (g/dm ² /día)	14.7	16.1	16.9	11.9	11.9	14.8
1 ^a hoja (g)	0.98	0.90	0.60	0.70	1.0	1.0
50% R I (g)	1.25	1.11	0.70	0.80	0.90	1.0
50% R II (g)	1.9	1.0	1.6	1.6	1.9	1.6
10 D.D. (g)	3.7	2.9	2.3	2.9	3.9	4.0

43. Promedios obtenidos de algunas variables medidas a diferentes potenciales hídricos.

Variables	Potencial hídrico (bares)			
	-1	-4	-6	-8
Elongación de hoja	4.9	3.9	2.2	0.1
	82.3	77.1	61.9	37.3
Tasa transpiratoria	2.0	1.5	1.0	0.1

44. Promedios obtenidos por genotipo en las variables medias respecto al potencial hídrico.

Variables	Variables		
	Elongación de hoja	CRA	Tasa transpiratoria
	3.28	69.9	1.4
	2.54	62.7	1.2
	1.94	63.7	1.2
	2.53	64.7	1.0
	3.52	64.8	1.1
	3.03	61.7	0.9

15. Promedios obtenidos en variables medidas respecto al tiempo.

Variable	Tiempo	
	Inicio	Fin
Al hidrico	1.58	11.16
	82.29	37.29
Transpiratoria	2.1	0.1

16. Promedio obtenido por genotipo de las variables medidas respecto al tiempo.

Genotipo	CRA	Tasa transpiratoria
4.87	66.25	1.2
5.68	57.88	0.9
5.62	59.13	1.0
6.18	59.75	0.8
8.18	58.50	1.0
7.68	57.25	0.8

RESULTADOS Y DISCUSION

Experimento de tolerancia a marchitez permanente.

Análisis de varianza.

Los análisis de varianza del Cuadro 4.1 muestran que todas las variables con excepción del peso seco en la 4a hoja ligulada, registraron significancia estadística en la fuente de variación, tratamientos de humedad, lo que indica que si se lograron establecer los contrastes de humedad deseados.

En la fuente de variación correspondiente a genotipos, se detectó significancia estadística en todas las variables del estudio y con ello, se puede deducir, que hubo diferencias entre variedades. Respecto a la interacción tratamientos de humedad x genotipos, solamente en AF total, transpiración total y peso seco en 4a hoja ligulada no se detectó significancia estadística, de ahí que se pueden analizar e interpretar independientemente como un promedio (Reyes, 1977). Del resto de las variables del estudio, se deduce que hubo respuestas diferentes entre genotipos al pasar de una condición de humedad a otra.