



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA**

**VARIABILIDAD EN CRECIMIENTO DEL SISTEMA RADICAL, RELACIONES
HÍDRICAS Y EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN MAÍCES DE VALLES
ALTOS EN SEQUÍA Y BAJO NITRÓGENO**

ANTONIO VILLALOBOS GONZÁLEZ

**TESIS
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2014

La presente tesis, titulada: **Variabilidad en crecimiento del sistema radical, relaciones hídricas y eficiencia en el uso del agua en maíces de Valles Altos en sequía y bajo nitrógeno**, realizada por el alumno: **Antonio Villalobos González**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. CANDIDO LÓPEZ CASTAÑEDA

ASEESOR:



DR. SALVADOR MIRANDA COLÍN

ASESOR:



DR. VÍCTOR HEBER AGUILAR RINCÓN

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Septiembre del 2014

DEDICATORIAS

A Dios le doy gracias por darme la fortaleza, voluntad, paciencia y en especial por haberme permitido realizar con sus bendiciones este objetivo de mi carrera profesional.

A mis padres José Ramón y Teresa, le doy gracias por su sacrificio en tiempos difíciles, por su ejemplo de superación, por su comprensión y porque siempre han estado ahí para mí, brindándome su apoyo incondicional.

A mi esposa y amor mío “Mónica”, le doy gracias por su cariño, amor, paciencia y sobre todo por fortalecer las esperanzas de seguir adelante y alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

A mí adorado pequeño hijo Toñito, a quien siempre anhele a que llegara a nuestras vidas, te amare y cuidare a cada momento, eres un motivo más para seguir adelante, gracias por existir y llenar con tu cariño, amor y ternura mi alma y vida.

A mí querida suegra Celia, le doy gracias por su cariño y amistad que me ha brindado, y principalmente por su gran apoyo incondicional en todo momento.

A mis hermanos, José Ramón, Juan Carlos, Luis Alberto, Francisco Javier, Noé y mi hermanita querida Aracely, les doy gracias por su cariño.

A mis amigos (as) Juan Medina, Jerónimo Sepúlveda, Sergio Lerma, Humberto Rodríguez, Ricardo Serna, José Luis Bonilla, Enrique Canales, Edgardo, Moisés, Esaú, Celia Selene, Nora, Vero, Mimi, Nely, Lulu, Liliana, Beti, Claudia, a todos aquellos familiares, compañeros y amigos que no menciono, gracias por su gran amistad, apoyo y aprecio.

AGRADECIMIENTOS

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología que con su apoyo económico, hizo posible mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados, especialmente al Programa de Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética, por haberme brindado la oportunidad de superarme en mis estudios de Maestría.

Al Dr. Cándido López Castañeda, gracias por sus sugerencias e incondicional disponibilidad en la organización, dirección y culminación del presente trabajo.

Al Dr. Salvador Miranda Colín, gracias por sus consejos y conocimientos que me transmitió, así como por la revisión del presente trabajo de investigación.

Al Dr. Víctor Heber Aguilar Rincón, gracias por su disposición y sugerencias durante la revisión de tesis.

A los M.C. Gustavo Velázquez Cárdenas, Juan Virgen Vargas y al Dr. Alejandro Espinosa Calderón, investigadores del Departamento de Maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), CEVAMEX, Chapingo, México, por haber proporcionado el germoplasma de los híbridos para secano, utilizados en el presente estudio.

A Campo Experimental Edzná, Campeche, Campeche, perteneciente al CIR-Sureste del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de postgrado.

A los trabajadores de campo y laboratorio (Srs. Juan Raymundo Espinosa Alvarado y Fidel Pérez Romero), por su amistad y la ayuda que brindaron en mi trabajo de investigación.

CONTENIDO

	Página
DEDICATORIAS	
AGRADECIMIENTOS	
CONTENIDO	i
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE	vii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS E HIPÓTESIS	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Relaciones hídricas del maíz bajo sequía y bajo nitrógeno	3
2.2 Crecimiento y expansión del área foliar en sequía y bajo nitrógeno	4
2.3 Rendimiento y sus componentes en sequía y bajo nitrógeno	6
2.4 Acumulación de materia seca en la parte aérea y raíces en sequía y bajo nitrógeno	8
2.5 Floración en sequía y bajo nitrógeno	10
2.6 Eficiencia en el uso del agua en sequía y bajo nitrógeno	11
3. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1 Localización del experimento	13
3.2 Material genético	13
3.3 Detalle experimental	14
3.4 Variables medidas	15
3.5 Contenido de humedad en el suelo	17
3.6 Análisis estadístico	18
4. RESULTADOS	18
4.1 Contenido hídrico del suelo	18
4.2 Relaciones hídricas de la planta	18
4.3 Ajuste osmótico	26

4.4 Efecto del estrés hídrico en el crecimiento del área foliar total acumulada durante el ciclo biológico	28
4.5 Efecto del estrés hídrico en la expansión foliar durante los tratamientos de sequía	31
4.6 Días a floración masculina y femenina	33
4.7 Acumulación de materia seca en la parte aérea	34
4.8 Rendimiento de grano y sus componentes	35
4.8.1 Número de granos normales por mazorca	36
4.8.2 Tamaño de grano	37
4.9 Acumulación de materia seca en raíces	38
4.10 Eficiencia en el uso de agua para producir materia seca en la parte aérea, raíces y biomasa, y rendimiento de grano	40
5. DISCUSIÓN	44
5.1 Contenido hídrico del suelo	44
5.2 Relaciones hídricas de la planta	44
5.3 Ajuste osmótico	48
5.4 Expansión del área foliar durante el ciclo biológico	49
5.5 Expansión foliar durante la sequía	50
5.6 Floración	51
5.7 Materia seca en la parte aérea, rendimiento de grano y sus componentes	52
5.8 Materia seca en el sistema radical	54
5.9 Eficiencia en el uso de agua	55
6. CONCLUSIONES	57
7. REFERENCIAS	59
8. APÉNDICE	67
8.1 Cuadros del apéndice	67

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Material genético utilizado para el experimento.	14
Cuadro 2. Crecimiento del área foliar total acumulada durante el ciclo biológico de las plantas en riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	28
Cuadro 3. Expansión del área foliar de las plantas durante los tratamientos de sequía, en riego, sequia 1, sequia 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) a los 41, 71 y 101 días después de la siembra, en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	31
Cuadro 4. Días a floración masculina (FM) y femenina (FF) de las plantas en riego, sequia 1, sequia 2 y sequia 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	34
Cuadro 5. Acumulación de materia seca de la parte aérea en riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	35
Cuadro 6. Rendimiento de grano en riego, sequía 1 y sequía 2 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	36
Cuadro 7. Número de granos normales (GN) y abortados (GA) por mazorca en riego, sequía 1 y sequía 2 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	37
Cuadro 8. Peso de 100 granos en riego, sequía 1 y sequía 2 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	37

Cuadro 9. Acumulación de materia seca en raíces en riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	38
Cuadro 10. Eficiencia en el uso del agua para la producción de materia seca parte aérea (MSPA) en riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	40
Cuadro 11. Eficiencia en el uso del agua en la producción de materia seca de raíces (MSR) en riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	41
Cuadro 12. Eficiencia en el uso del agua para la producción de biomasa total (BM) en riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	42
Cuadro 13. Eficiencia en el uso del agua en el rendimiento de grano (RGP) en riego, sequa 1 y sequía 2 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Contenido hídrico del suelo en riego y sequía 1 (a), riego y sequía 2 (b) y riego y sequía 3 (c) en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. CC= Capacidad de campo; PMP= Porcentaje de marchitamiento permanente; S=Siembra; FM=Floración masculina; FF=Floración femenina; LG=Llenado de grano.	17
Figura 2. Potencial hídrico (a y e), osmótico (b y f) y de turgencia (c y g), y contenido relativo del agua (d y h) en riego con alto nitrógeno (a, b, c y d) y bajo nitrógeno (e, f, g y h) en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. [* (P≤0.05); n.s.=no significativo.]	20
Figura 3. Potencial hídrico (a y e), osmótico (b y f) y de turgencia (c y g), y contenido relativo del agua (d y h) en sequía 1 con alto nitrógeno (a, b, c y d) y bajo nitrógeno (e, f, g y h) en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. [* (P≤0.05); n.s.=no significativo.]	21
Figura 4. Potencial hídrico (a y e), osmótico (b y f) y de turgencia (c y g), y contenido relativo del agua (d y h) en sequía 2 con alto nitrógeno (a, b, c y d) y bajo nitrógeno (e, f, g y h) en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. [* (P≤0.05); n.s.=no significativo.]	23
Figura 5. Potencial hídrico (a y e), osmótico (b y f) y de turgencia (c y g), y contenido relativo del agua (d y h) en sequía 3 con alto nitrógeno (a, b, c y d) y bajo nitrógeno (e, f, g y h) en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. [* (P≤0.05); n.s.=no significativo, FM=Floración masculina; FF=Floración femenina.]	25

- Figura 6.** Ajuste osmótico en el tratamiento de sequía 1 con alto nitrógeno (a) y bajo nitrógeno (d), sequia 2 con alto nitrógeno (b) y bajo nitrógeno (e) y sequia 3 con alto nitrógeno (c) y bajo nitrógeno (f) en condiciones de invernadero, verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México. [* ($P \leq 0.05$); n.s.=no significativo, FM=Floración masculina; FF=Floración femenina.] 27
- Figura 7.** Crecimiento del área foliar acumulada por planta en riego con alto y bajo nitrógeno (a y e), sequia 1 con alto y bajo nitrógeno (b y f), sequia 2 con alto y bajo nitrógeno (c y g) y sequia 3 con alto y bajo nitrógeno (d y h), en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. [* ($P \leq 0.05$); n.s.=no significativo, FM=Floración masculina; FF=Floración femenina.] 30
- Figura 8.** Expansión del área foliar acumulada por planta en riego con alto (a, c y e) bajo nitrógeno (g, i y k); sequia 1 con alto y bajo nitrógeno (b y h), sequia 2 con alto y bajo nitrógeno (d y j) y sequia 3 con alto y bajo nitrógeno (f y l), en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. [* ($P \leq 0.05$); n.s.=no significativo, FM=Floración masculina; FF=Floración femenina.] 32
- Figura 9.** Peso seco de raíz en riego con alto y bajo nitrógeno (a y e); sequia 1 con alto y bajo nitrógeno (b y f), sequia 2 con alto y bajo nitrógeno (c y g), y sequia 3 con alto y bajo nitrógeno (d y h), en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. [* ($P \leq 0.05$); n.s.=no significativo.] 39

ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

	Página
Cuadro 1A. Potencial hídrico (ψ , bares) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S_1) para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.	68
Cuadro 2A. Potencial hídrico (ψ , bares) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S_2), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.	69
Cuadro 3A. Potencial hídrico (ψ , bares) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S_3), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.	70
Cuadro 4A. Potencial osmótico (π , bares) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S_1), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.	71
Cuadro 5A. Potencial osmótico (π , bares) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S_2), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.	72
Cuadro 6A. Potencial osmótico (π , bares) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S_3), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.	73
Cuadro 7A. Potencial de turgencia (P , bares) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S_1), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.	74

Cuadro 8A. Potencial de turgencia (<i>P</i> , bares) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (<i>S</i> ₂), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.	75
Cuadro 9A. Potencial de turgencia (<i>P</i> , bares) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (<i>S</i> ₃), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.	76
Cuadro 10A. Contenido relativo del agua (CRA, %) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (<i>S</i> ₁), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.	77
Cuadro 11A. Contenido relativo del agua (CRA, %) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (<i>S</i> ₂), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.	78
Cuadro 12A. Contenido relativo del agua (CRA, %) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (<i>S</i> ₃), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.	79
Cuadro 13A. Ajuste osmótico (AO, bares) promedio determinado en sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (<i>S</i> ₁), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.	80
Cuadro 14A. Ajuste osmótico (AO, bares) promedio determinado en sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (<i>S</i> ₂), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.	81

Cuadro 15A. Ajuste osmótico (AO, bares) promedio determinado en sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S ₃), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.	82
Cuadro 16AA. Crecimiento del área foliar total acumulada por planta durante el ciclo biológico (AFTADCB, cm ²) promedio en riego, sequia 1, sequia 1 y sequia 3 con alto y bajo nitrógeno, para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	83
Cuadro 16AB. Crecimiento del área foliar total acumulada por planta durante el ciclo biológico (AFTADCB, cm ²) promedio en riego, sequia 1, sequia 2 y sequia 3 con alto y bajo nitrógeno, para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	83
Cuadro 17AA. Expansión del área foliar de las plantas durante los tratamientos de riego (EAFPDTR, cm ²) promedio con alto y bajo nitrógeno, determinado en los genotipos utilizados, para las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	84
Cuadro 17AB. Expansión del área foliar de las plantas durante los tratamientos de riego (EAFPDTR, cm ²) promedio con alto y bajo nitrógeno, determinado en los genotipos no utilizados, para las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	85
Cuadro 18AA. Expansión del área foliar de las plantas durante los tratamientos de sequía (EAFDTR, cm ²) promedio con alto y bajo nitrógeno, determinado durante el tratamiento de sequía (S ₁), para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	86

- Cuadro 18AB.** Expansión del área foliar de las plantas durante los tratamientos de sequía (EAFDTR, cm²) promedio con alto y bajo nitrógeno, determinado durante el tratamiento de sequía (S₁), para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 87
- Cuadro 19AA.** Expansión del área foliar de las plantas durante los tratamientos de sequía (EAFDTS, cm²) promedio con alto y bajo nitrógeno, determinado durante el tratamiento de sequía (S₂), para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 88
- Cuadro 19AB.** Expansión del área foliar de las plantas durante los tratamientos de sequía (EAFDTS, cm²) promedio con alto y bajo nitrógeno, determinado durante el tratamiento de sequía (S₂), para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 89
- Cuadro 20AA.** Expansión del área foliar de las plantas durante los tratamientos de sequía (EAFDTS, cm²) promedio con alto y bajo nitrógeno, determinado durante el tratamiento de sequía (S₃), para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 90
- Cuadro 20AB.** Expansión del área foliar de las plantas durante los tratamientos de sequía (EAFDTS, cm²) promedio con alto y bajo nitrógeno, determinado durante el tratamiento de sequía (S₃), para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 91

Cuadro 21AA. Días a floración masculina (FM) y femenina (FF) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	92
Cuadro 21AB. Días a floración masculina (FM) y femenina (FF) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	92
Cuadro 22AA. Acumulación de materia seca de la parte aérea (AMSPA) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	93
Cuadro 22AB. Acumulación de materia seca de la parte aérea (AMSPA) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	93
Cuadro 23AA. Rendimiento de grano por planta (RGPP) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	94
Cuadro 23AB. Rendimiento de grano por planta (RGPP) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	94

Cuadro 24AA. Número de granos normales (GN) y abortados (GA) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	95
Cuadro 24AB. Número de granos normales (GN) y abortados (GA) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	95
Cuadro 25AA. Peso de 100 granos (PG) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	96
Cuadro 25AB. Peso de 100 granos (PG) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	96
Cuadro 26AA. Acumulación de materia seca en raíces (AMSR) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	97
Cuadro 26AB. Acumulación de materia seca en raíces (AMSR) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	97

Cuadro 27AA. Eficiencia en el uso del agua para la producción de materia seca parte aérea (EU_{MSPA}) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	98
Cuadro 27AB. Eficiencia en el uso del agua para la producción de materia seca parte aérea (EU_{MSPA}) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	98
Cuadro 28AA. Eficiencia en el uso del agua en la producción de materia seca de raíces (EU_{MSR}) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	99
Cuadro 28AB. Eficiencia en el uso del agua en la producción de materia seca de raíces (EU_{MSR}) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	99
Cuadro 29AA. Eficiencia en el uso del agua en la producción de biomasa total (EU_{BM}) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	100

Cuadro 29AB. Eficiencia en el uso del agua en la producción de biomasa total (EU_{ABM}) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	100
Cuadro 30AA. Eficiencia en el uso del agua en rendimiento de grano (EU_{RGP}) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	101
Cuadro 30AB. Eficiencia en el uso del agua en rendimiento de grano (EU_{RGP}) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.	101

VARIABILIDAD EN CRECIMIENTO DEL SISTEMA RADICAL, RELACIONES HÍDRICAS Y EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN MAÍCES DE VALLES ALTOS EN SEQUÍA Y BAJO NITRÓGENO

**Antonio Villalobos González, MC.
Colegio de Postgraduados, 2014.**

RESUMEN

Se estudió la variabilidad en relaciones hídricas suelo-planta, desarrollo del área foliar y sistema radical, rendimiento de grano y sus componentes, y eficiencia en el uso de agua en un grupo de variedades híbridas y criollas de maíz de los Valles Altos de México, en riego (R) sequía (S) con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) en invernadero en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. Se incluyeron 10 híbridos (H-28, H-30, H-32, H-33, H-34, H-40, H-42, H-44, H-48 y H-50) y tres variedades criollas (color del grano; blanco, azul y rojo) colectadas en el Municipio de Españita, Tlaxcala, México. Se eligieron semillas de 350 ± 5 mg de peso de cada genotipo y se sembraron en forma individual en tubos de PVC de 1 m de longitud y 4" de diámetro; se utilizó un suelo de textura migajón-limoso con 33.9 % de capacidad de campo (CC) y 21.1 % de porcentaje de marchitamiento permanente (PMP). Se aplicó agua en todos los tubos hasta alcanzar la CC antes de la siembra; posteriormente en R se aplicó agua tres veces por semana durante todo el ciclo de las plantas y en sequía se suspendió la aplicación de agua en la etapa vegetativa entre 30 y 40 días después de la siembra (dds) (S_1), antes del inicio de la floración entre 50-70 dds (S_2) y durante la floración y llenado del grano 70-100 dds (S_3) con la aplicación de un riego de recuperación (RR) a CC a los 41 dds (S_1), 71 dds (S_2) y 101 dds (S_3) y riegos subsecuentes hasta el final del ciclo de las plantas; se incluyeron dos niveles de fertilización (AN=160-40-20 y BN=80-40-20) al momento de la siembra en todos los tratamientos de humedad edáfica; se utilizó el método gravimétrico para estimar la cantidad de agua transpirada entre mediciones continuas del contenido hídrico del suelo. Los genotipos se asignaron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar en un arreglo factorial 4×2 con dos repeticiones; la unidad experimental consistió de una planta individual en cada tubo de PVC. Se observó que el contenido de humedad edáfica en S_1 disminuyó el 75 % de la humedad aprovechable sin llegar a PMP, mientras que en S_2 y S_3 , el contenido hídrico del suelo alcanzó valores inferiores al PMP entre los 60 y los 70 dds, y entre los 98 y 105 dds. Se determinó que el potencial hídrico (ψ), osmótico (π) y de turgencia (P), y el contenido relativo del agua (CRA), disminuyeron

($P \leq 0.05$) a -16, -19 y 12 bares, y 50 % en S_1 ; -29, -20 y -8, y 20 % en S_2 , y -30, -24 y -5, y 18 % en S_3 a los 40, 70 y 100 dds en promedio de AN y BN con respecto a R; ésta severa disminución en el potencial hídrico y osmótico de la célula, se reflejó una alta capacidad de ajuste osmótico de la planta, sobre todo en S_2 y S_3 con AN y BN, donde se alcanzaron valores promedio para el ajuste osmótico de 8.3 y 9.3 bares a los 70 y 100 dds; el H-50 y el criollo azul en S_2 con AN y BN, y el H-28 y el H-30 con AN, y H-48, H-28 y H-30 con BN en S_3 fueron los genotipos que desarrollaron mayor capacidad de ajuste osmótico; el H-50 y H-48 con AN, y el H-50 y H-30 con BN en S_2 , y el H-50 y criollo blanco con AN y criollo azul y criollo blanco con BN en S_3 , presentaron mayor capacidad de ajuste osmótico, mantuvieron valores de potencial de turgencia mayores que 0 bares y recuperaron su turgencia más rápido después del RR. La sequía también afectó el crecimiento del área foliar total acumulada por planta (AFTAPP) y la expansión del área foliar durante los tratamientos de sequía por planta (EAFTSPP) durante los periodos de deficiencias hídricas en el suelo; el déficit hídrico del suelo redujo 10.4, 16.2 y 10.6 % el AFTAPP y la EAFTSPP en 22.2, 12.9 y 7.5 % en S_1 , S_2 y S_3 ; las deficiencias de nitrógeno disminuyeron el AFTAPP en 11.4 % en R, 5 % en S_1 , 8 % en S_2 y 6 % en S_3 , y la EAFTSPP en 14.8 y 9.5 % en R y S_1 ; 6.8 y 3.7 % en R y S_2 , y 11.6 y 7.4 % en R y S_3 ; el H-48 y H50 con AN y el H-28 y H-48 con BN en S_1 ; el H-48 y H-50 con AN y el criollo blanco y H-48 con BN en S_2 , y el H-48 y H-50 con AN, y H-30 y H-50 con BN en S_3 tuvieron mayor AFTAPP y el H-50 y H-48 con AN y H-48 y el criollo azul con BN en S_1 ; el H-50 y H-48 con AN y BN en S_2 y S_3 tuvieron mayor EAFTSPP. La floración masculina y femenina se retrasaron por efecto de la sequía en promedio 0.5, 7.5 y 11 días, y 0.5, 7.5 y 21 días con respecto a riego en S_1 , S_2 y S_3 ; la deficiencia de nitrógeno retrasó la floración masculina 1 día en S_1 y S_2 , no tuvo cambios en R y S_3 , y la floración femenina se retrasó 1 día en S_1 y S_2 , y 2 días en S_3 , sin presentar cambios en R; el intervalo anthesis-floración femenina (IA-FF) en S_3 se alargó 10 días en promedio con respecto a riego, sin cambios en S_1 y S_2 ; éste alargamiento en el IA-FF evitó la formación de grano en todas las plantas en S_3 ; las deficiencias de nitrógeno sólo tuvieron efecto en las plantas en S_3 , donde el IA-FF fue 9 días más largo que en riego con AN y 11 días más largo que en riego con BN. La acumulación de materia seca en la parte aérea de la planta se redujo 4, 24 y 50 % en S_1 , S_2 y S_3 con respecto a riego, y las deficiencias de nitrógeno disminuyeron 10, 11, 13 y 12 % la producción de biomasa aérea en R, S_1 , S_2 y S_3 ; el H-48 y H-50 en R con AN y BN; el H-48 con AN y H-48 y

H-50 con BN en S₁; el H-48 con AN y BN en S₂, y el H-48, H-50 y criollo azul con AN, y el H-48 y H-50 con BN en S₃ tuvieron mayor acumulación de materia seca. El rendimiento de grano y sus componentes número de granos normales y peso de 100 granos disminuyeron 8, 8 y 13 % en S₁, y 27, 15 y 40 % en S₂ con relación a riego; el H-48 con AN y BN en S₁, y el H-48 y H-50 con AN y BN en S₂ produjeron mayor rendimiento de grano y sus componentes. La sequía aumentó la acumulación de materia seca en el sistema radical 29.4, 51.8 y 97.6 % en S₁, S₂ y S₃ con respecto a riego; las deficiencias de nitrógeno redujeron la acumulación de materia seca en las raíces de la planta 21.8, 5.2, 8.5 y 21.1 % en R, S₁, S₂ y S₃; el H-48 y criollo blanco con AN y el H-50 con BN en R; el H-50 y criollo blanco con AN, y el H-48 y H-50 con BN en S₁; el H-50 y el criollo azul con AN y el H-50 y criollo blanco con BN en S₂, el H-48 y H-50 con AN y el H-50 y criollo blanco con BN en S₃ tuvieron mayor acumulación de materia seca en las raíces. La eficiencia en el uso del agua para producir materia seca de la parte aérea (EUA_{MSPA}) aumentó con la sequía 26.7, 24.7 y 30 % en S₁, S₂ y S₃ con respecto a riego; la eficiencia en el uso del agua para materia seca en las raíces (EUA_{MSR}) aumentó 50, 145 y 415 % en S₁, S₂ y S₃ con relación a R; la eficiencia en el uso del agua (EUA_{BM}) para producir biomasa (MPSA+MSR) aumentó 23.5, 41.2 y 76.5 % en S₁, S₂ y S₃ con respecto a riego, la eficiencia en el uso del agua para producir rendimiento de grano (EUA_{RG}) aumentó 18.2 y 27.3 en S₁ y S₂; las deficiencias de nitrógeno disminuyeron la EUA_{MSPA}, EUA_{MSR}, EUA_{BM} y EUA_{RG} 11.4, 14.8 y 15.2 % en S₁, S₂ y S₃; 26.1, 6.1 y 11.5 % en S₁, S₂ y S₃; 10.7, 14.2 y 18.5 % S₁, S₂ y S₃, y 20.9 y 19.9 % en S₁ y S₂; el H-48 con AN y BN en S₁ y S₂; el H-28 y H-48 con AN y el H-48 con BN en S₃; el H-50 con AN y BN en S₁, H-28 y H-50 con AN y criollo blanco con BN en S₂; el H-48 con AN y H-28 y H-48 con BN en S₁, el H-28 y H-48 con AN y el H-28, H-48 y H-50 con BN en S₂; el H-28, H-48 y H-50 con AN y H-48 con BN en S₃, y el H-48 con AN y BN en S₁ y S₂ tuvieron mayor EUA_{MSPA}, EUA_{MSR}, EUA_{BM} y EUA_{RG}; no hubo diferencias significativas entre genotipos para EUA_{MSR} en S₃. En general las variedades híbridas y en particular el H-48 y H-50, tuvieron mejor comportamiento genético que las otras variedades híbridas y las criollas en los caracteres estudiados bajo condiciones de sequía.

Palabras clave: riego, sequía, alto y bajo nitrógeno, maíces híbridos y criollos, área foliar, relaciones hídricas, rendimiento de grano y sus componentes, sistema radical, eficiencia del uso de agua.

VARIABILITY IN RADICAL GROWTH SYSTEM, WATER RELATIONS AND EFFICIENCY IN WATER VALLEY HIGH CORNS DROUGHT AND LOW IN NITROGEN

**Antonio Villalobos González, MSc.
Colegio de Postgraduados, 2014.**

ABSTRACT

In this research we studied the variability of hydric soil-plant relations, the development of foliar area and radicular system, grain yield and its components, and water use efficiency of different hybrids and landrace maize varieties from highlands of Mexico. This study was conducted in greenhouses at the Colegio de Postgraduados (Montecillos, State of Mexico), under irrigation (R) and drought (S) conditions, with high (AN) and low (BN) nitrogen fertilization. This study included 10 maize hybrids (H-28, H-30, H-32, H-33, H-34, H-40, H-42, H-44, H-48 and H-50) and 3 maize landraces (white, blue and red corn) collected in the municipality of Españita (Tlaxcala, Mexico). Seeds (350 ± 5 mg) were selected from each phenotype and were planted in independent PVC tubes, 1 m long and 4" diameter. As substrate, it was used sandy loam soil with 33.9% of field capacity (CC) and 21.1% of permanent wilting point (PMP). Before planting, water was added to each tube until the CC was reached. Furthermore, for watering conditions, water was added three times per week during the whole life cycle of plants. To simulate drought conditions, plants were not watered during the following periods: for the vegetative stage 30-40 days after planting (dds; S1), before flowering 50-70 dds (S2), and during flowering and grain filling 70-100 dds (S3). Recovery watering until reaching CC was conducted at 41 dds (S1), 71 dds (S2), 101 dds (S3), and subsequent watering until the end of plant's life cycle. We also evaluated two levels of fertilization (AN = 160-40-20 and BN = 80-40-20) during planting and the establishment of the edaphic moisture treatments. Coupled to the continuous measurement of the soil hydric content, the evapotranspiration was determined using the gravimetric method. A randomized complete block design with a factorial arrangement (4 x 2) with 2 replications was used. The experimental unit was an individual plant in each PVC tube. It was determined that the edaphic moisture content in S1 decreased by 75% but without reaching PMP, while the moisture content decreased to lower levels in S2 and S3 (between 60 and 70 dds, and 98-105 dds, respectively). The hydric potential (ψ), osmotic potential (π), turgent potential (P), and the relative water content (CRA) decreased ($P \leq 0.05$) to -16, -19 and 12 bares, and 50 %

respectively in S₁; -29, -20 and -8, and 20 % in S₂, and -30, -24 and -5, and 18 % in S₃ after 40, 70 and 100 dds in average of AN and BN with respect to R. This severe reduction of the hydric and osmotic potential of the cell was reflected in a high rate of osmotic adjustment of the plant, specially in S₂ and S₃ with AN and BN with osmotic adjustment values of 8.3 and 9.3 bares at 70 y 100 dds. The H-50 hybrid and the landrace blue in S₂ with AN and BN, and the hybrids H-28 and H-30 with AN, and H-48, H-28 and H-30 with BN in S₃ were genotypes that showed higher capacity of osmotic adjustment. The H-50 and H-48 with AN, and the H-50 and H-30 with BN in S₂, and the H-50 and the landrace white with AN and landrace blue and white with BN in S₃, presented higher capacity of osmotic adjustment, maintained turgent potentials higher than 0 bares and recovered their turgency more rapidly after RR. The drought treatments also affected the foliar growth per plant (AFTAPP) and the expansion of foliar growth (EAFTSPP) during the periods of hydric deficiencies in the soil. The hydric deficit decreased 10.4, 16.2 and 10.6 % the AFTAPP and EAFTSPP in 22.2, 12.9 and 7.5 % in S₁, S₂ and S₃. The deficiencies of nitrogen also diminished the AFTAPP in 11.4 % in R, 5 % in S₁, 8 % in S₂ and 6 % in S₃, and the EAFTSPP in 14.8 and 9.5 % in R and S₁; 6.8 and 3.7 % in R and S₂, and 11.6 and 7.4 % in R and S₃; the H-48 and H50 with AN and the H-28 and H-48 with BN in S₁; the H-48 and H-50 with AN and the landrace white and H-48 with BN in S₂, and the H-48 and H-50 with AN, and H-30 and H-50 with BN in S₃ had larger AFTAPP and the H-50 and H-48 with AN and H-48 and the landrace blue with BN in S₁; the H-50 and H-48 with AN and BN in S₂ and S₃ had larger EAFTSPP. Flowering was also delayed as a result of the drought treatment, 0.5, 7.5 and 11 d, and 0.5, 7.5 and 21 d in irrigation in S₁, S₂ and S₃. The nitrogen deficiency also delayed the male flowering by 1 d in S₁ and S₂. No changes were observed in R y S₃, and the female flowering was delayed by 1 day in S₁ and S₂, and 2 d in S₃, without any change in R. The female anthesis-flowering interval (IA-FF) in S₃ increased 10 d in average in irrigation, and no changes in S₁ and S₂. This delayed in IA-FF prevented the formation of grain in all plants in S₃. The nitrogen deficiencies also affected plants in S₃, where the IA-FF was 9 d longer than in watering and AN conditions, and 11 d longer than watering with BN. The organic matter accumulation in the aerial part of the plant was reduced 4, 24 and 50 % in S₁, S₂ and S₃ in watering, and the nitrogen deficiencies decreased 10, 11, 13 and 12 % the production of aerial biomass in R, S₁, S₂ and S₃; the H-48 and H-50 in R with AN and BN; the H-48 with AN and H-48 and H-50 with BN in S₁; the H-48 with AN and BN

in S₂, and the H-48, H-50 and landrace blue with AN, and the H-48 and H-50 with BN in S₃ had higher accumulation of dried matter. The grain yield and its components, number of kernels and the weight of 100 kernels, decreased 8, 8 and 13 % in S₁, and 27, 15 and 40 % in S₂ with watering; the H-48 with AN and BN in S₁, and the H-48 and H-50 with AN and BN in S₂ produced higher yields and its components. The drought treatment increased the accumulation of dried matter in the radicular system 29.4, 51.8 and 97.6 % in S₁, S₂ and S₃ with respect to watering; the nitrogen deficiencies decreased 21.8, 5.2, 8.5 and 21.1 % the dried matter in radicular system in R, S₁, S₂ and S₃; the H-48 and landrace white with AN and the H-50 with BN in R; the H-50 and landrace white with AN, and the H-48 and H-50 with BN in S₁; the H-50 and the landrace blue with AN and the H-50 and landrace white with BN in S₂, the H-48 and H-50 with AN and the H-50 and landrace white with BN in S₃ presented higher accumulation of dried matter in the radicular system. The water use efficiency to produce dried matter in the aerial part of plants (EUA_{MSPA}) increased under the drought treatment 26.7, 24.7 and 30 % in S₁, S₂ and S₃ with respect to watering; the water use efficiency for dried matter in roots (EUA_{MSR}) increased 50, 145 and 415 % in S₁, S₂ and S₃ with respect to R; the water use efficiency (EUA_{BM}) to produce biomass (MPSA+MSR) increased 23.5, 41.2 and 76.5 % in S₁, S₂ and S₃ with respect to watering. The water use efficiency for grain yield (EUA_{RG}) increased 18.2 and 27.3 in S₁ and S₂. The nitrogen deficiencies decreased EUA_{MSPA}, EUA_{MSR}, EUA_{BM} and EUA_{RG} 11.4, 14.8 and 15.2 % in S₁, S₂ and S₃; 26.1, 6.1 and 11.5 % in S₁, S₂ and S₃; 10.7, 14.2 and 18.5 % S₁, S₂ and S₃, and 20.9 and 19.9 % in S₁ and S₂; the H-48 with AN and BN in S₁ and S₂; the H-28 and H-48 with AN and the H-48 with BN in S₃; the H-50 with AN and BN in S₁, H-28 and H-50 with AN and landrace white with BN in S₂; the H-48 with AN and H-28 and H-48 with BN in S₁, the H-28 and H-48 with AN and the H-28, H-48 and H-50 with BN in S₂; the H-28, H-48 and H-50 with AN and H-48 with BN in S₃, and the H-48 with AN and BN in S₁ and S₂ had larger EUA_{MSPA}, EUA_{MSR}, EUA_{BM} and EUA_{RG}. There were no significant differences between genotypes regarding EUA_{MSR} en S₃. In general the hybrids, specially H-48 and H-50, presented better genetic performance than the other hybrids and landraces under the drought conditions evaluated in this study.

Keywords: irrigation, drought, high and low Nitrogen, hybrid and landrace maize, foliar area, hydric relations, grain yield and its component, radicular system, water use efficiency.

1. INTRODUCCIÓN

En México, el maíz es el cultivo más importante por su papel central en la alimentación de la población humana; el 90% de la superficie cultivada con maíz se realiza en condiciones de secano o temporal, que se caracterizan por presentar amplias variaciones en cantidad y distribución de la precipitación durante el ciclo del cultivo (SAGARPA, 2012); cuando la disminución en la cantidad de lluvia coincide con el periodo de floración, el rendimiento y la calidad del grano se reducen considerablemente (Reyes-Ramones *et al.*, 2000). El rendimiento de grano promedio nacional en condiciones de temporal es de 2.3 t ha⁻¹, que en comparación con el que se obtiene en riego (8.2 t ha⁻¹) es muy bajo (SAGARPA, 2012); éste bajo rendimiento en temporal se debe principalmente a la frecuente presencia de deficiencias hídricas que coinciden con la floración, al disminuir considerablemente el rendimiento de grano en gran parte del área cultivada bajo condiciones de secano. Las deficiencias hídricas también pueden presentarse en diferentes periodos del ciclo del cultivo (sequía intermitente), al causar estrés hídrico en las etapas de plántula y reducir el establecimiento del cultivo, el desarrollo del área foliar y la fotosíntesis en el periodo anterior a la floración, y en las etapas de floración y llenado del grano (sequía de medio verano o ‘canícula’), reduciendo la producción de mazorcas y granos durante las dos semanas de la floración, debido a una disminución en la tasa de fotosíntesis durante el llenado del grano y una rápida inducción de la senescencia de las hojas fotosintéticamente activas; el rendimiento de grano también puede ser afectado por la competencia por foto-asimilados entre los órganos aéreos de la planta y las raíces como una respuesta de adaptación a la sequía (Bänzinger *et al.*, 2012). El rendimiento de grano bajo éstas condiciones ambientales, podría mejorarse al seleccionar genotipos con atributos agronómicos que permitan a la planta una mejor adaptación a la sequía; por ejemplo, se ha demostrado que la sincronía entre la antesis y la floración femenina, y el número de mazorcas por planta estuvieron correlacionados genéticamente con el rendimiento de grano bajo sequía en seis poblaciones de maíz tropical y que la variación en rendimiento de grano bajo sequía está dominada por la variación en los procesos de establecimiento de los granos en la mazorca, relacionados con la partición de la biomasa en la floración y también, aunque en menor grado con los procesos ligados al *status* hídrico del cultivo (Bolaños y Edmeades, 1996). El rendimiento de grano en maíz bajo sequía también depende de caracteres secundarios en la planta; entre otros, una mayor biomasa de la mazorca y una reducción en la

cantidad de materia seca de la espiga en la antesis, estuvieron genéticamente asociadas con el rendimiento de grano bajo sequía en poblaciones de ocho ciclos de selección de ‘Tuxpeño Sequía’ (Bolaños y Edmeades, 1993).

El mejoramiento del rendimiento de grano entonces, además de incluir características agronómicas relacionadas con la fenología, tasa fotosintética, acumulación de biomasa y partición de foto-asimilados a la estructura reproductora femenina o mazorca, también debe considerar una mayor partición de foto-asimilados al sistema radical, que permita mayor absorción de agua y nutrientes en condiciones de sequía, y mantener un *status* hídrico que favorezca el intercambio gaseoso en la planta (Bolaños *et al.*, 1993). La duración y actividad del aparato fotosintéticamente activo durante el llenado del grano, tiene particular importancia para el rendimiento de grano bajo sequía en maíz (Serrem *et al.*, 2009).

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivos los siguientes:

1.- Estudiar la respuesta de un grupo de variedades híbridas y criollas de maíz de los Valles Altos de México, en las relaciones hídricas suelo-planta, desarrollo del área foliar y sistema radical en riego y sequía en la etapa vegetativa y antes del inicio de la floración, y durante la floración, y el periodo de llenado de grano con alto y bajo nitrógeno en condiciones de invernadero.

2.- Determinar el efecto de la sequía en la floración, rendimiento de grano y sus componentes, y eficiencia en el uso de agua en un grupo de variedades híbridas y criollas de maíz de los Valles Altos de México, en condiciones de riego y sequía en la etapa vegetativa y antes del inicio de la floración, y durante la floración, y el periódico de llenado de grano con alto y bajo nitrógeno en condiciones de invernadero.

La hipótesis planteada para la realización del presente estudio fue la siguiente:

Existe variabilidad genética en el comportamiento de los maíces híbridos y criollos en condiciones de sequía y deficiencias de nitrógeno en su tolerancia al estrés hídrico, rendimiento de grano, desarrollo del área foliar y sistema radical, y capacidad de utilización de la humedad edáfica en las etapas del crecimiento vegetativo, antes de la iniciación floral y durante la floración y el llenado de grano.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Relaciones hídricas del maíz bajo sequía y bajo nitrógeno

El estrés hídrico es el principal factor limitante del crecimiento, desarrollo y rendimiento de grano del maíz y de muchos otros cultivos anuales en los sistemas agrícolas de secano; las deficiencias hídricas están íntimamente relacionadas con la cantidad de agua presente en los órganos y tejidos de la planta; el agua es vital en la producción de los cultivos ya que la expansión de las células vegetales se produce por acción del agua; la falta humedad reduce el área foliar, la fotosíntesis y como consecuencia la planta reduce su producción (Silva-Robledo *et al.*, 2000).

El agua es uno de los factores más importantes para el desarrollo de las plantas, su carencia constituye una de las principales causas de estrés hídrico en la planta; cuando una hoja pierde cerca de 20% del agua que contiene, su potencial hídrico disminuye, su turgencia se reduce a cero y el potencial osmótico se vuelve más negativo a medida que el contenido de la célula se vuelve más concentrado; en estas circunstancias, el potencial hídrico (ψ) puede alcanzar un valor de -1.6 MPa, el potencial de turgencia o de presión (P) un valor de 0 MPa (marchitez) y el potencial osmótico o de solutos (ψ_s) un valor de -1.6 MPa. Sí la planta produce más solutos y estos entran en la solución celular (ajuste osmótico), entonces el (P) aumenta a medida que el agua es atraída a la vacuola y al citoplasma de la célula por osmosis, y las células recuperan su turgencia aunque el potencial hídrico general de la hoja se mantenga constante (Bänziger *et al.*, 2012). Dalcin-Martins *et al.* (2010) indican que el potencial hídrico foliar (ψ) ha sido utilizado principalmente para indicar la condición de los cultivos afectados por el estrés hídrico en la planta. Biasutti y Galiñanes (2001) indica que durante el estrés hídrico, las plantas pueden ajustar parcialmente su grado de turgencia mediante el incremento de la concentración de solutos en las células (ajuste osmótico); uno de los mecanismos fisiológicos que pueden reducir el impacto de la sequía antes y después de la floración, es la capacidad de ajuste osmótico en la planta, que permiten absorción de agua del suelo para mantener la turgencia (Chimenti *et al.*, 2006).

Por otro lado, el estrés causado por la deficiencia de nitrógeno en el desarrollo reproductivo de las plantas, reduce la fotosíntesis que realiza el cultivo al disminuir el desarrollo del área foliar y la tasa de fotosíntesis foliar, y al acelerar la senescencia de las hojas (Bänziger *et al.*, 2012). Otros estudios realizados en 12 híbridos de maíz de Pioneer (B73 x

MO17 de los 70's, tres híbridos de inicio los 90's y ocho híbridos de finales de los 90's), sometidos a diferentes suministros de agua y nitrógeno en condiciones de campo, se observó que algunas variables agronómicas como el número de granos por unidad de área están altamente correlacionados con el rendimiento de grano ($r=0.98$), lo que refleja la capacidad de los híbridos para maximizar el número de granos en condiciones sequía y bajo nitrógeno, sugiriendo que determinar los mecanismos fisiológicos asociados con la habilidad para mantener el número de granos bajo condiciones de estrés, deberá ser un carácter importante para la selección en los programas de mejoramiento genético del rendimiento (O'Neill *et al.*, 2004). Otros aspectos relacionados con el rendimiento de grano en condiciones de deficiencias hídricas y bajo nitrógeno en maíz muestran la importancia que tiene el contenido de clorofila en las hojas; Sibale y Smith (1997) determinaron interacciones genotipo x nitrógeno significativas en seis híbridos de cruce simple con líneas S₃ en condiciones de campo, para el contenido de clorofila en la antesis, floración femenina e intervalo antesis-floración femenina, altura de la mazorca y rendimiento de grano, y observaron que tanto el contenido de clorofila en la floración, como el número de días a antesis, y floración femenina, el peso del grano y el número de granos por mazorca estuvieron significativamente relacionados con el rendimiento de grano en un ambiente con 0 kg ha⁻¹ de nitrógeno.

2.2 Crecimiento y expansión del área foliar en sequía y bajo nitrógeno

La expansión foliar depende de tres aspectos primordiales; la tasa de formación de primordios foliares en el meristemo apical, la tasa de expansión foliar a partir de la yema apical y la expansión de las nuevas hojas hasta que alcanzan su tamaño máximo (Aspinall, 1986). La disminución en el potencial hídrico de la hoja en plantas de maíz, soya y girasol, afectó antes y más severamente al alargamiento de la hoja que a la fotosíntesis y la respiración, excepto, a bajas tasas de alargamiento, donde la inhibición de la expansión foliar fue similar en todas las especies y fue mayor cuando el potencial hídrico de la hoja disminuyó a -4 bares (Boyer, 1970). También, se determinó que en hojas intactas de girasol mantenidas a un potencial hídrico que permitió maximizar la fotosíntesis y respiración durante cuatro días, pero inhibiendo el alargamiento; no hubo elongación inicialmente y el alargamiento se detuvo hacia el final del periodo de desecación, sin embargo, la tasa de elongación no fue tan rápida

como en el control con las plantas bien irrigadas, ni alcanzó el mismo nivel de la tasa de expansión del control cuando las plantas fueron re-irrigadas (Boyer, 1970).

En algodón sometido a deficiencias hídricas se determinó que al aumentar el déficit hídrico del suelo, las hojas se ajustaron osmóticamente de 0.5 a 0.6 MPa a turgencia completa y que hubo cambios diurnos en ajuste osmótico de aproximadamente 0.1 MPa con una disminución progresiva en la tasa de fotosíntesis y conductancia de la hoja a altas densidades de flujo cuántico o de luz, al medio día con una reducción en el potencial hídrico de la hoja entre -1.9 y -3.5 MPa, determinando que la expansión de las hojas fue más sensitiva a los déficits hídricos del suelo y la hoja que la tasa fotosintética; el tamaño de la hoja disminuyó durante el día cuando el potencial hídrico al amanecer disminuyó debajo de -0.8 MPa; el déficit hídrico también disminuyó el área foliar y el desarrollo de los frutos, el número de yemas florales y bellotas retenidas, y rendimiento final, pero sin efecto en la proporción de flores que producen bellotas, excepto donde se desarrollaron déficits hídricos al inicio de la floración; las yemas florales grandes se retuvieron en la planta a expensas de las yemas florales pequeñas (Turner *et al.*, 1986). Acevedo *et al.* (1971), también determinaron que la elongación de hojas intactas de maíz depende dinámicamente de la disponibilidad de agua en el suelo; con una disponibilidad adecuada de agua el suelo, la elongación fue considerablemente constante, pero disminuyó cuando el potencial hídrico del suelo descendió de -0.1 a -0.2 bares y la elongación de las hojas continuó en pocos segundos después de que se aplicó riego de recuperación a plantas medianamente estresadas; la rapidez y sensibilidad de la respuesta a los cambios en el *status* hídrico apuntan al papel directo que el agua tiene en el crecimiento; su absorción provee la fuerza física para el alargamiento de las células. Sharp y Davies (1979) observaron resultados similares en plántulas de maíz cultivadas en macetas al determinar los potenciales hídrico y osmótico en hojas y raíces, la conductancia foliar y el crecimiento de hojas y raíces; se observó que la tasa de extensión y desarrollo del área foliar empezó a disminuir al cuarto día de exposición al déficit hídrico del suelo y que esta reducción en el crecimiento del área foliar se correlacionó con una reducción en la turgencia de la hoja; también observaron que una acumulación significativa de solutos en los ápices de las raíces de plantas bajo sequía resultó, en un mantenimiento de la turgencia de la raíz durante el tratamiento de estrés hídrico y que el crecimiento de la raíz en las plantas bajo sequía se mantuvo al aumentar la severidad del estrés hídrico.

La disponibilidad de nitrógeno constituye otro de los factores limitantes del rendimiento en condiciones de secano; si las plantas experimentan un estrés por deficiencias de nitrógeno, se reduce la fotosíntesis que realiza el cultivo porque se disminuye el desarrollo del área foliar y la tasa de fotosíntesis foliar, y porque acelera la senescencia de hojas (Bänziger *et al.*, 2012). Ding *et al.* (2005) realizaron un experimento con seis híbridos de doble cruza de maíz con nitrógeno (control, 75 kg ha⁻¹ en la siembra y 120 kg ha⁻¹ 25 días después de la emergencia de las plántulas) y sin nitrógeno (tratamiento) en condiciones de campo en la Universidad Agrícola de Shandong, China; observaron que las deficiencias de nitrógeno disminuyeron el rendimiento de grano y el peso de la planta en todos los híbridos, especialmente en los híbridos antiguos, sin diferencias en índice de cosecha, tasa de fotosíntesis antes de la floración, área foliar o peso de la planta en la floración entre los tratamientos de nitrógeno y sin nitrógeno para todos los híbridos; los híbridos modernos mantuvieron mayor peso de la planta y grano que los híbridos antiguos en el tratamiento sin nitrógeno, debido a una disminución más lenta en la capacidad fotosintética asociada con menores limitaciones no estomáticas, al mantener la actividad de la enzima fosfoenol piruvato carboxilasa y el contenido de clorofila, y proteínas solubles después de la antesis.

2.3 Rendimiento y sus componentes en sequía y bajo nitrógeno

La resistencia a sequía es un carácter importante en maíz, porque la sequía es el factor limitante más común en casi todos los ambientes en los que este cultivo se produce; el mejoramiento de la resistencia a sequía en maíz es un aspecto muy complejo, e incluso sólo es una parte del complejo campo total de mejoramiento del maíz (Jensen, 1995). La mayoría de los fitomejoradores están de acuerdo en que la resistencia a sequía es un carácter genético importante en maíz; con frecuencia observan cultivos en deshidratación durante prolongados periodos secos y esto les ha permitido identificar algunos genotipos que tienen un mejor comportamiento que otros, bajo este tipo de condiciones; ellos también saben que la interacción entre el genotipo y el ambiente es alta y esto dificulta una selección efectiva. Jensen (1995) indica que la variabilidad genética del germoplasma es una consideración importante en un programa de selección por tolerancia a estrés hídrico; al respecto señala que las cruzas entre líneas elite F₂'s, han sido la mejor fuente de germoplasma para la obtención de híbridos mejorados modernos de cruza simple en maíz; la ventaja de este tipo de material es la

base de conocimiento mejorado disponible al fitomejorador para ambos rendimiento potencial y tolerancia al estrés. Los efectos específicos deben considerarse al diseñar esquemas de selección para un programa de híbridos, especialmente un programa de híbridos de cruce simple para obtener el máximo provecho de los efectos genéticos no-aditivos, al seleccionar por el comportamiento de la planta completa y seleccionar con base a la respuesta del genotipo completo, y no a partir de genes individuales que probablemente no conduzcan a una selección eficiente (Jensen, 1995). En este sentido, Ngure (1995) al seleccionar cultivares de maíz tolerantes a sequía en Kenia, en condiciones de campo, incluyó un número de caracteres de planta e identificó, aquellos que resultaron más útiles en la selección por tolerancia al estrés hídrico; entre estos señaló que un buen establecimiento del cultivo, una reducción del número de días a antesis y floración femenina, un buen intervalo antesis-floración femenina, un mayor peso del grano/mazorca, un mayor número de mazorcas/planta y una alta relación entre el rendimiento de grano/humedad del grano fueron los caracteres con mayor relación con el rendimiento de grano bajo sequía.

El bajo suministro de nitrógeno del suelo también causa fuertes reducciones en el rendimiento de grano en ambientes de secano, donde junto con la sequía causa estrés severo a los cultivos; el efecto del estrés por nitrógeno en la planta depende de la etapa de desarrollo en que coincida la planta con el estrés, por ejemplo, cuando la deficiencia de nitrógeno ocurre durante la floración, provoca el aborto de granos y mazorcas, en tanto que si ocurre durante el llenado de grano, acelera la senescencia foliar y reduce la fotosíntesis y el peso de los granos (Bänziger *et al.*, 2012). La selección por tolerancia a bajo nitrógeno en el suelo y buen rendimiento en alto nitrógeno, utilizando el concepto del ideotipo ha resultado en incrementos en el rendimiento a los dos niveles de nitrógeno después de tres ciclos de selección en familias de hermanos completos en maíz y estas ganancias estuvieron asociadas con cambios en los patrones de nitrógeno y acumulación de biomasa, y cambios en los parámetros de crecimiento de la mazorca (Laffite y Bänziger, 1994). Otros caracteres que correlacionan con el rendimiento de grano en condiciones de estrés por nitrógeno son por ejemplo; el contenido de nitrógeno, al utilizar el medidor del contenido de clorofila en las hojas (SPAD-502), el diámetro del tallo, medido en la base, para predecir la biomasa y el rendimiento, y el volumen del tallo calculado con la fórmula para el volumen de un cono con base elíptica, que correlacionó estrechamente con la materia seca de la parte aérea y el peso de la mazorca

completa (incluyendo las brácteas y el pedúnculo); aunque las correlaciones entre los datos de clorofila y volumen del tallo con el rendimiento de grano fueron significativas, estos no son suficientes para utilizarse como criterios de selección en forma individual, por lo que se sugiere integrar, estos caracteres en un índice de selección para la eficiencia en el uso del nitrógeno (Miles, 1993). En Tailandia, al trabajar con cuatro materiales de maíz (dos híbridos; KTX2602 y DK888, y dos variedades de polinización libre; Suwan 1 y La Posta Sequía) en riego y sequía, y con 80 y 120 kg ha⁻¹ de nitrógeno, se observó que la sequía tuvo mayor efecto en el comportamiento agronómico de las variedades que las deficiencias de nitrógeno, de tal forma que el rendimiento de grano fue 22 % menor en sequía que en riego en promedio de alto y bajo nitrógeno en tres ciclos de evaluación; la sequía disminuyó el número de hileras de granos, el número de granos por hilera y el peso de 1000 granos, y el índice de cosecha consistentemente fue mayor en sequía que en riego (Moser *et al.*, 2006).

2.4 Acumulación de materia seca en la parte aérea y raíces en sequía y bajo nitrógeno

El rendimiento de grano en los cultivos anuales es resultado de la acumulación de materia seca en el cultivo (biomasa aérea) y la proporción de materia seca asignada al grano con respecto a la biomasa aérea (índice de cosecha); un incremento en el rendimiento de grano puede lograrse: (i) aumentando la producción de materia seca, manteniendo el índice de cosecha más o menos constante y/o (ii) aumentando el índice de cosecha al dejar la biomasa aérea sin cambios (Sayed y Gadallah, 1983). La producción de materia seca y la proporción de materia seca asignada al grano con respecto al total de biomasa tiene una importancia central en la formación del rendimiento de los cultivos bajo condiciones de sequía y deficiencias de nitrógeno; se ha determinado que cuando el cultivo de maíz crece en condiciones de bajo nitrógeno en el suelo se reduce el área foliar como resultado de una disminución en el tamaño de las hojas con un efecto pequeño en el número final de hojas en la planta; tanto la sequía como las deficiencias de nitrógeno alargaron el número de días a la aparición de la espiga y floración femenina, y presentaron interacciones significativas con la tasa de acumulación de nitrógeno, biomasa total y peso del grano; el bajo nitrógeno incluso redujo la biomasa y el rendimiento de grano en condiciones óptimas de humedad en el suelo y estrés hídrico durante la etapa vegetativa del cultivo, sin embargo, en condiciones severas de sequía, el bajo nitrógeno no tuvo efectos significativos en la biomasa total del cultivo, acumulación de

nitrógeno o el rendimiento de grano; el estrés hídrico disminuyó la eficiencia en el uso del nitrógeno en altos niveles de nitrógeno y en condiciones de estrés hídrico severo y bajo nitrógeno se redujo 40 % la acumulación de nitrógeno en la planta; además se determinó que la deficiencia de nitrógeno no tuvo efecto en mejorar la resistencia a sequía de las plantas en condiciones de campo (Bennett *et al.*, 1989).

En relación al crecimiento del sistema radical en condiciones de sequía y bajo nitrógeno son pocos los estudios realizados; las características de la raíz, importantes para un mejor comportamiento del cultivo en condiciones de bajo contenido de nitrógeno son ampliamente desconocidas e inexploradas (Smith y Zobel, 1991). Zobel (1975) demostró la amplia capacidad de algunas variedades para modificar sus sistemas radicales en respuesta al estrés, mientras que otras variedades tuvieron menor capacidad de adaptarse al estrés con pérdidas del rendimiento mucho más extremas. Gran parte de esta variación parece ser heredable y por lo tanto sujeta de selección con fines de mejoramiento (Zobel, 1991). Estudios iniciales en líneas experimentales de maíz bajo diferentes niveles de nitrógeno, mostraron amplias diferencias entre líneas en la plasticidad del sistema radical en respuesta a los niveles de nitrógeno (Smith *et al.*, 1995). La mayoría de las técnicas para el estudio de la variabilidad en densidad de raíces en campo tienen la desventaja de ser métodos destructivos, costosos y difíciles de utilizar, por lo que Chloupek (1972 y 1977) propuso la utilización de la capacitancia eléctrica como método, para medir el volumen de raíces en estudios de mejoramiento genético; este método es rápido, barato y no destructivo para “observar” las raíces en el campo, particularmente las raíces laterales y las raíces determinantes del 90 % de la superficie de absorción (Zobel, 1989). Evaluaciones preliminares del área de la superficie del sistema radical utilizando este enfoque mostraron distintas diferencias entre materiales genéticos, los cuales respondieron de diferente forma a la disponibilidad de nitrógeno (Smith *et al.*, 1995). Al considerar que la variación genética en caracteres de los órganos aéreos de la planta se ha refinado extensivamente a través del mejoramiento en maíz, la variabilidad en el sistema radical ha sido explotada solo indirectamente a través del mejoramiento a la fecha. La selección directa no-destructiva para caracteres de crecimiento de las raíces puede guiar a ganancias importantes en la productividad del maíz, particularmente en ambientes relacionados con estrés en el suelo (Smith *et al.*, 1995).

2.5 Floración en sequía y bajo nitrógeno

El estrés hídrico puede reducir severamente el rendimiento de grano en maíz si coincide con la floración; la eficiencia de la selección para tolerancia sequía depende en parte del conocimiento de los periodos de mayor sensibilidad a la sequía en la ontogenia del cultivo, de tal forma que la tolerancia no se confunda con el escape a sequía; donde la sequía es inducida al suspender el riego o por el establecimiento de un periodo de sequía, el estrés hídrico aumenta en intensidad con el tiempo; en estas circunstancias los cultivares de madurez precoz pueden identificarse incorrectamente como tolerantes a sequía porque ellos completan sus procesos de sensibilidad al estrés, tal como la floración o el llenado de grano, a más bajos niveles de estrés que sus contrapartes de ciclo más largo (Bidinger *et al.*, 1987). En diversos estudios en los que se ha relacionado la ocurrencia de la sequía con el desarrollo del cultivo se ha indicado que la floración es la etapa más sensitiva para la determinación del rendimiento de grano en maíz, y las pérdidas en rendimiento de grano y granos por planta exceden el 50 % cuando la sequía coincide con este periodo (Rhoads y Bennett, 1990). Las variedades de maíz se consideran más sensitivas a la sequía y altas temperaturas durante la floración que otros cereales, porque las anteras y los jilotes están separados en espacio por una distancia aproximada de 1 m, y el polen y los estigmas están expuestos al ambiente, además de que un gran número de granos de maíz se desarrollan sincrónicamente (Tollenar y Daynard, 1978), usualmente en una mazorca individual y el estrés en una etapa crítica puede causar el aborto completo de la mazorca. El número de granos por planta es usualmente proporcional al flujo de foto-asimilados en la floración (Grant *et al.*, 1989) y puede aumentar si se proporciona sacarosa exógenamente a la planta durante ese periodo (Boyle *et al.*, 1991). La variación genética en la disponibilidad de foto-asimilados, patrón de distribución a la mazorca y la demanda pueden afectar el balance final de reducciones en la fotosíntesis por planta. Los efectos de niveles moderados de estrés por sequía parecen estar mediados ampliamente por la disponibilidad de foto-asimilados a la inflorescencia femenina en desarrollo (Schussler y Westgate, 1991). Cuando la sequía está acompañada de altas temperaturas, la disponibilidad de polen viable (Schopper *et al.*, 1986) y el bajo potencial hídrico del jilote en elongación (Westgate y Boyer, 1986) pueden reducir aún más el número de granos. Sequías muy intensas pueden causar daños directos a las florecillas en desarrollo (Moss y Downey, 1971). Un fenómeno comúnmente observado bajo sequía impuesta en la floración es el alargamiento del

intervalo anthesis-floración femenina (Bolaños y Edmeades, 1990). Esto ocurre usualmente por un retraso en la emergencia del jilote en relación a la emergencia de las anteras, ésta última siendo menos afectada por la sequía. En este contexto, el intervalo anthesis-floración femenina es considerado más valioso como carácter de diagnóstico del comportamiento del genotipo que la fecha de floración femenina *per se*, debido a que el intervalo anthesis-floración femenina es bastante independiente de las diferencias en madurez fisiológica entre cultivares (Edmeades *et al.*, 1989). El retraso en la emergencia del jilote puede deberse a una reducida tasa de elongación del jilote, proceso fuertemente afectado por el *status* hídrico de la planta (Westgate y Boyer, 1986).

2.6 Eficiencia en el uso del agua en sequía y bajo nitrógeno

El requerimiento de agua de un cultivo que produce grano en condiciones de campo, puede expresarse en términos de materia seca total o rendimiento de grano producidos y se obtiene al dividir el peso seco total de la planta al final del ciclo o el rendimiento de grano entre la cantidad de agua transpirada durante el ciclo del cultivo (Briggs y Shantz, 1913). Estos autores observaron también, que las plantas de diferentes especies tuvieron distintos requerimientos de agua para su crecimiento, inclusive al crecer el mismo ambiente y esto les permitió sugerir que existía la posibilidad de seleccionar líneas que podrían ser más eficientes en el uso del agua que aquellas en uso comercial. El interés en su trabajo se ha perdido con el tiempo, y se ha asumido recientemente que hay poca variación entre genotipos, al menos entre aquellos que tienen el mismo ciclo de metabolismo del carbono o fijación de CO₂. Sin embargo, el trabajo de investigación más reciente ha mostrado que los beneficios potenciales de aumentar, incluso ligeramente, el rendimiento obtenido por una disponibilidad dada de agua es enorme, al considerar que a escala global la disponibilidad de agua ha sido la mayor limitante para la productividad (Farquhar, 1991).

Se estudió la posibilidad de mejorar la eficiencia en el uso del agua del cultivo de maíz al aplicar fertilizante nitrogenado (0 y 100 kg ha⁻¹) en condiciones de riego y sequía en la variedad de maíz Jubilee, en la Universidad de Reading; se observó que efectivamente la eficiencia en el uso del agua para producir biomasa y rendimiento de grano aumentó, con una mayor aplicación de nitrógeno en varios experimentos realizados en condiciones de campo; además determinaron que el aumento en la eficiencia en el uso del agua se debió a un

incremento en la biomasa, así como una reducción en la cantidad de evaporación directa del suelo debajo del dosel del cultivo, al no haber efecto del nitrógeno en la eficiencia transpiratoria; la reducción en la cantidad de humedad perdida por evaporación directa del suelo estuvo asociada con un mayor desarrollo del área foliar del cultivo con la aplicación de nitrógeno; en el año más seco se observó también una mayor disminución en la evaporación directa del suelo debajo del dosel del cultivo en riego que en sequía, debido a que el índice de área foliar fue de mucho mayor tamaño con la aplicación de nitrógeno (Ogola *et al.*, 2002). Norwood (2000) al trabajar en maíz en condiciones de riego (cero, 1, 2 y 3 riegos de 150 mm de agua con labranza convencional y no labranza; 1=riego en la etapa de exposición completa de la espiga; 2=riego en la etapa de exposición completa de la espiga y etapa de grano masoso durante el llenado del grano, y 3=riego en las etapas de 9-10 hojas en el tallo principal, exposición completa de la espiga y grano masoso durante llenado del grano) en Kansas, Estados Unidos de Norte América, determinó que el rendimiento de grano fue 29 % más alto con la aplicación de 1 riego que riego cero, y 11 y 13 % de incremento adicional del rendimiento con la aplicación de 2 y 3 riegos con respecto a riego cero, respectivamente; el tratamiento de no labranza incrementó el rendimiento de grano en 0.56 Mg ha^{-1} y la eficiencia en el uso del agua en $0.96 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ en promedio en dos de los cuatro años que duró el estudio, y concluyó que el maíz producirá rendimientos adecuados con uno o más riegos y que por lo tanto, una limitada aplicación de riego con una fertilización y población apropiadas son una alternativa viable para áreas de secano. Otras investigaciones realizadas en Dakota del Sur, Estados Unidos de Norte América, al someter dos híbridos de maíz (DKC 44-46 y DKC 47-10 RR Bt, Monsanto Co, St Louis, MO) a dos niveles de humedad edáfica (lluvia natural y lluvia natural + riego suplementario) y cuatro niveles de nitrógeno (0, 56, 112 168 kg de urea ha^{-1}), mostraron que: (i) las plantas respondieron simultáneamente a la aplicación de riego y nitrógeno; (ii) el fertilizante nitrogenado aumentó la eficiencia en el uso del agua; y (iii) el riego aumentó la habilidad de la planta del maíz para utilizar el nitrógeno derivado del suelo y del fertilizante; y la mayor eficiencia en el uso del nitrógeno en régimen de lluvia + riego suplementario, se atribuyó a dos factores interrelacionados: en primer lugar el crecimiento total y la evapotranspiración fueron mayores en el tratamiento de lluvia + riego suplementario y en segundo lugar el transporte del nitrógeno a la raíz aumentó con el agua transpirada, además de señalar que con fines de producir en agricultura de precisión, los resultados indican

que la cantidad de fertilizante nitrogenado para producir un kg de grano está relacionada con la pérdida de rendimiento debida al estrés hídrico (Kim *et al.*, 2008).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del experimento

Se llevó a cabo un experimento en condiciones de invernadero en el área de resistencia a sequía, Colegio de Posgraduados en Montecillo, Texcoco, Edo. de México (19° 21' N, 98° 55' O y 2250 msnm). El clima prevaleciente en esta localidad es templado [Cb (wo)(w)(i')g] con verano largo y fresco, precipitación media anual de 637 mm y temperatura media anual entre 12 y 18° C; la temperatura en el mes más frío varía entre 6.5 y 22° C., con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5%; con temperatura del mes más caliente mayor de 10°C, con poca oscilación térmica (García, 1988). El suelo utilizado para el experimento fue de textura migajón-limoso (34 % de arena, 56 % de limo y 10 % de arcilla) con capacidad de campo (CC) de 33.9 %, porcentaje de marchitamiento permanente (PMP) de 21.1% y densidad aparente de 1.08 g cm³.

3.2 Material genético

Se utilizaron 10 híbridos de maíz producidos por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y tres materiales criollos colectados en el Estado de Tlaxcala. El material genético del INIFAP representa a los híbridos comerciales producidos para Valles Altos en condiciones de secano entre los años 60's y 2000's. Los híbridos liberados entre 1961 y 1982 se clasifican como híbridos antiguos y los liberados entre 1989 y 2000 como híbridos modernos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Material genético utilizado para el experimento.

Número de Variedad	Genealogía	Año de liberación	Clasificación	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹) ⁶
1	H-28	1961	Antiguo	4.6
2	H-30 ²	1973	Antiguo	4.5
3	H-32 ²	1973	Antiguo	2.4
4	H-33 ²	1982	Antiguo	4.9
5	H-34 ¹	1989	Moderno	5.4
6	H-40 ¹	1999	Moderno	6.8
7	H-42 ²	1999	Moderno	5.0
8	H-44 ²	2000	Moderno	5.1
9	H-48 ³	1999	Moderno	6.5
10	H-50 ²	1999	Moderno	-
11	Colección-1 Criollo de grano blanco de Tlaxcala ⁴	2013	Criollo	-
12	Colección-2 Criollo de grano azul de Tlaxcala ⁴	2013	Criollo	-
13	Colección-3 Criollo de grano rojo de Tlaxcala ⁴	2013	Criollo	-

¹Híbrido de cruce simple; ²Híbrido de cruce doble; ³Híbrido trilineal; ⁴Germoplasma colectado en el Municipio de Españita, Tlaxcala, por el Dr. Cándido López-Castañeda, Programa de Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México en 2013. ⁶Rendimiento de grano promedio de riego, sequía y alto y bajo nitrógeno en Montecillo, Texcoco, Ed. de México. verano-otoño 2002 (Serrem *et al.*, 2009).

3.3 Detalle experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con dos repeticiones en un arreglo factorial 4 x 2, correspondiendo a tres tratamientos de sequía y uno de riego con dos niveles de fertilización para todas las variedades. La unidad experimental consistió de un tubo de PVC de 4" de diámetro y 1 metro de largo, que contenía una bolsa cilíndrica de plástico de las mismas dimensiones, lleno con suelo esterilizado. La siembra se realizó el 5 de mayo de 2013, al utilizar semillas con un peso de 350±5 mg en cada unidad experimental. El experimento incluyó varios niveles de humedad edáfica y fertilización en el suelo; riego (R) que consistió en mantener la humedad edáfica cercana a capacidad de campo (CC) o mayor que 60 % de la humedad aprovechable; sequía 1 (S₁) con la suspensión del riego por 10 días cuando las plantas tuvieron 30 después de la siembra (dds); sequía 2 (S₂) con la suspensión del riego por 20 días cuando las plantas tenían 50 dds y sequía 3 (S₃) con la suspensión del riego por 30 días cuando las plantas alcanzaron 70 dds; al finalizar los periodos de sequía se aplicó un riego de recuperación (RR) en cada tratamiento de sequía con la aplicación de riegos subsecuentes hasta la madurez fisiológica del cultivo. Se incluyeron dos niveles de fertilización aplicados al momento de la siembra; alto nitrógeno (AN) con una dosis

de 160-40-20 y bajo nitrógeno (BN) con 80-40-20, al utilizar como fuente de nitrógeno, fósforo y potasio; urea, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio, respectivamente. Se aplicó Engeco® a una dosis de 1 L/ha a los 38 dds, para el control de pulgón y mosquita blanca.

3.4 Variables medidas

Potencial hídrico foliar (ψ , MPa); se midió en la porción media de hojas completamente expandidas y expuestas a la radiación solar entre las 11:00 y 13:00 h a los 30, 35, 40 y 41 dds (un día después del riego de recuperación, RR) en S₁; a los 50, 55, 60, 65, 70 y 71 (un día después del RR) dds en S₂, y a los 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100 y 101 (un día después del RR) dds en S₃, y en las plantas en riego (R) en todas las fechas indicadas para S₁, S₂ y S₃ con alto y bajo nitrógeno, al utilizar la bomba de presión o de Scholander.

Potencial osmótico (π , MPa); se midió en las muestras de hoja utilizadas para medir el ψ en todos los tratamientos de humedad edáfica y nitrógeno del suelo y en las fechas antes indicadas; estas muestras se colocaron en viales de plástico de 5 ml que se depositaron en un termo con nitrógeno líquido (-195 °C) durante dos minutos, para matar el tejido, romper la pared celular y extraer la savia; las mediciones del π se hicieron en las muestras de savia con un osmómetro marca Wescor, modelo 5100C en el laboratorio.

Potencial de turgencia (P , MPa); se calculó como la diferencia entre los potenciales ψ y π ($P = \psi - \pi$), para cada muestra analizada (Begg y Turner, 1976). Contenido relativo de agua (CRA); se determinó al extraer 10 discos de 5 mm de diámetro de la misma porción de la hoja utilizada para medir los ψ , π y P en cada muestra; los discos se pesaron inmediatamente para obtener el peso fresco (Pf, mg) y se colocaron en cajas Petri con agua destilada durante 8-10 horas con iluminación, para obtener el peso a saturación completa del tejido (Psat, mg) y posteriormente, el peso seco (Ps, mg), al secar las muestras de los discos en una estufa a 70 °C durante 48 h [$CRA = (Pf - Ps) / (Psat - Ps) \cdot 100$].

Ajuste osmótico (AO, MPa); se calculó como la diferencia entre el π determinado en riego (π_R) y el π determinado en los tratamientos de sequía (π_S), para cada genotipo ($AO = \pi_R - \pi_S$) (Morgan, 1995; Babu *et al.*, 1999).

Eficiencia en el uso del agua (EUA, g de materia seca/kg de agua transpirada); se determinó al dividir la cantidad de materia seca producida en la parte aérea, raíces, biomasa

total y rendimiento de grano entre la cantidad de agua transpirada durante el ciclo de las plantas en los diferentes tratamientos de humedad en el suelo.

Área foliar acumulada total por planta (AFATPP, cm^2); se determinó al medir la longitud (L, cm) y el ancho (A, cm) de la hoja en la parte media, una vez que las hojas habían alcanzado su tamaño final después de la aparición de la lígula en todas las plantas del experimento ($AF=L*A*0.75$) y durante el ciclo biológico.

Expansión del área foliar (AFPP, $\text{cm}^2/\text{planta}$); se obtuvo al sumar el área verde de todas las hojas en elongación en la planta en los diferentes tratamientos de humedad y nitrógeno y durante la aplicación de los tratamientos de sequía.

Número de días a antesis o floración masculina (FM); se determinó cuando el 50 % de las espiguillas presentes en la espiga de la planta, presentaban anteras en dehiscencia y expuestas fuera de las glumas.

Número de días a floración femenina (FF); se determinó cuando la planta presento el jilote o inflorescencia femenina con los estigmas expuestos.

Rendimiento de grano por planta (RGP, g); se obtuvo después de desgranar las mazorcas de cada planta y pesarlo, para determinar el peso del grano por planta.

Tamaño del grano o peso de 100 granos (P100G, g); se obtuvo al pesar 100 granos elegidos al azar de cada planta.

Número de granos normales por mazorca (NGNM); se obtuvo al contar el número de granos completamente formados o normales, después de desgranar las mazorcas de cada planta.

Número de granos abortados (NGPM); se obtuvo al contar el número de granos que no alcanzaron su desarrollo completo en la mazorca.

Acumulación de materia seca en la parte aérea (AMSPA); se obtuvo al sumar la materia seca de todas las hojas (lamina + vaina) tallo, mazorca, brácteas, olote o raquis y espiga presentes en la planta en los diferentes tratamientos de humedad y nitrógeno.

Acumulación de materia seca en las raíces (AMSR); se obtuvo al sumar el peso seco de las raíces extraídas de diferentes estratos (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm) del suelo en los diferentes tratamientos de humedad y nitrógeno.

3.5 Contenido de humedad en el suelo

El contenido hídrico del suelo se determinó al pesar los tubos tres veces por semana en todos los tratamientos de humedad edáfica y nitrógeno; en riego se agregó la cantidad de agua perdida por transpiración entre fechas sucesivas de pesaje, manteniendo la humedad cercana a CC, hasta la madurez fisiológica; en S₁ se suspendió el riego entre los 30 y 40 dds y la humedad aprovechable disminuyó 75 % sin alcanzar el PMP (Figura 1a); en S₂ el riego se suspendió entre los 50 y 70 dds y la humedad aprovechable descendió por debajo de PMP entre los 65 y 70 dds (Figura 1b), y en S₃ se dejó de aplicar riego entre los 70 y 100 dds y la humedad del suelo disminuyó por debajo de PMP entre los 98 y 105 dds (Figura 1c); se aplicó un riego de recuperación (RR) en S₁, S₂ y S₃ al finalizar los tratamientos de sequía y se aplicaron riegos subsecuentes hasta la madurez fisiológica de las plantas.

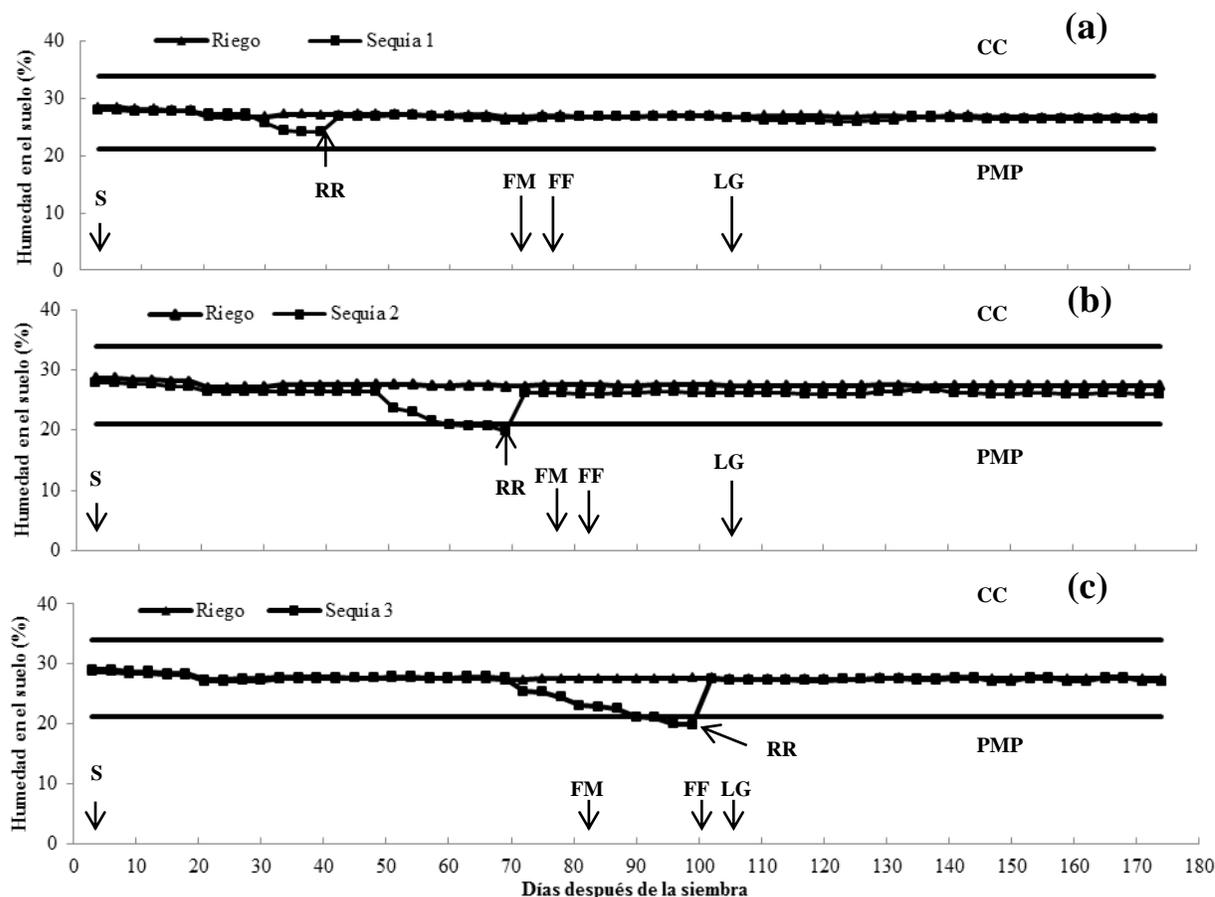


Figura 1. Contenido hídrico del suelo en riego y sequía 1 (a), riego y sequía 2 (b) y riego y sequía 3 (c) en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. CC= Capacidad de campo; PMP= Porcentaje de marchitamiento permanente; S=Siembra; FM=Floración masculina; FF=Floración femenina; LG=Llenado de grano; RR=Riego de recuperación.

3.6 Análisis estadístico

Los datos obtenidos del experimento se analizarán con el programa SAS (Statistical Analysis System, para Windows Versión 9.0) (SAS, 2002) en forma individual y combinado para cada tratamiento de humedad edáfica y en forma combinada. Se calculó la diferencia mínima significativa (DMS de Tukey, $P \leq 0,05$) para la comparación de medias.

4. RESULTADOS

4.1 Contenido hídrico del suelo

El contenido hídrico edáfico en riego se mantuvo cercano a CC durante el experimento y el contenido de humedad en el suelo disminuyó significativamente al alcanzar un nivel cercano a PMP (reducción del 75 % de la humedad aprovechable) a los 40 dds en S₁ (Figura 1a); aunque el contenido hídrico edáfico no alcanzó al PMP, las plantas mostraron síntomas ligeros de marchitez del área foliar tanto en AN como en BN desde los 35 a los 40 dds, al coincidir con un $\psi < -12$ bares (Figura 3a); S₁ no tuvo coincidencia con las floraciones masculina y femenina (Figura 1a). En S₂ el contenido hídrico del suelo disminuyó por debajo del PMP entre los 60 a 70 dds (Figura 1b) y las plantas mostraron síntomas severos de estrés hídrico en AN y BN que coincidieron con un $\psi < -25$ bares (Figura 3b); S₂ tampoco coincidió con las floraciones masculina y femenina (Figura 1b). El contenido hídrico del suelo en S₃ descendió por debajo de PMP entre los 98 y 101 dds (Figura 1c); la floración masculina ocurrió a los 75 dds en promedio de todos los genotipos y coincidió con un $\psi < -15$ bares (Figura 3c); la floración femenina se presentó a los 90 dds y coincidió con niveles de estrés hídrico altos ($\psi < -25$ bares) y el periodo llenado de grano ocurrió en condiciones de alto estrés hídrico ($\psi < -30$ bares) (Figura 1c). Los niveles de estrés hídrico alcanzados por las plantas en AN (Figuras 3a, 3b y 3c) fue similar al registrado en BN (Figuras 5a, 5b y 5c) en todos los genotipos.

4.2 Relaciones hídricas de la planta

En riego con alto y bajo nitrógeno el ψ , π y P , y CRA variaron de -1 a -5, -10 a -13 y 8 a 11 bares, y 78 a 83 %, respectivamente (Figuras 2a, b, c y d y e, f, g y h); las plantas en riego con alto y bajo nitrógeno no experimentaron estrés hídrico, en ninguna fecha durante las

mediciones de los parámetros fisiológicos de las relaciones hídricas. En S_1 en alto y bajo nitrógeno el ψ , π y P , y CRA mostraron mayores rangos de variación que en riego con alto (Figuras 3 a, b, c y d) y bajo nitrógeno (Figura 3e, f, g y h); el ψ , π y P , y CRA varió de -3 a -16, -14 a -19, 2 a 12 bares, y 50 a 80 %, desde que se inició el tratamiento de sequía (30 dds) hasta el riego de recuperación (41 dds), respectivamente. El ψ , π y P , y CRA en S_2 con alto (Figuras 4a, b, c y d) y bajo nitrógeno (Figuras 4e, f g y h) variaron de -4 a -29, -12 a -20 y 9 a -8 bares, 20 a 85 % desde el inicio del tratamiento de sequía (50 dds) hasta el riego de recuperación (71 dds) en S_2 . En S_3 el ψ , π y P , y CRA tuvieron rangos de variación de -6 a -30, -12 a -24, 6 a -5 bares, y 18 a 85 % en alto (Figuras 5a, b, c y d) y bajo nitrógeno (Figuras 5e, f, g y h) desde el inicio del periodo de sequía (70 dds) hasta el riego de recuperación (101 dds).

La variación en los parámetros fisiológicos de las relaciones hídricas entre genotipos fue significativa para algunas de las fechas de medición en S_1 ; el ψ , π y P , y CRA disminuyeron conforme transcurrió el periodo de sequía, alcanzando sus valores más bajos para todos los genotipos a los 40 dds en alto (Figura 3a, b, c y d) y bajo nitrógeno (Figura 3e, f, g y h), presentando un comportamiento similar para todas las variedades en el ψ (Figuras 3a y 3e), con mayor π para el criollo blanco, H-28 y H-30 con AN (Figura 3b) y criollo blanco, H-28 y H-30 con BN (Figura 3f); mayor P para el criollo azul, H-48 y H-30 con AN (Figura 3c) y criollo blanco, criollo azul y H-30 con BN (Figura 3g), y mayor CRA para el criollo blanco, H-48 y H-50 con AN (Figura 3d) y BN (Figura 3h). La respuesta al riego de recuperación en ψ , π y P , y CRA fue similar para todos materiales genéticos; el criollo blanco tuvo mayor ψ que los demás genotipos después del riego de recuperación con -3.9 bares (41 dds) con AN (Figura 3a) y con -4.4 bares con BN (Figura 3e); el criollo blanco obtuvo mayor π (-13.8 bares) que los demás genotipos después del riego de recuperación (41 dds) con AN (Figura 3b) y π -14.2 bares para el H-48 con BN (Figura 3f); el H-48 y el criollo blanco presentaron mayor P (10.6 y 9.9 bares) que los demás genotipos después del riego de recuperación (41 dds) con AN (Figura 3c), y el criollo blanco (11.1 bares) y criollo azul (10.9 bares) con BN (Figura 3g); el H-50 (CRA= 67.9 %) y criollo blanco (CRA= 66.5 %) presentaron mayor CRA que los demás genotipos después del riego de recuperación (41 dds) con AN (Figura 3d) y CRA= 60.4 y 58.3 % con BN, respectivamente (Figura 3h). Los datos del potencial ψ , π y P , y CRA, determinados en riego y sequía (S_1) para cada genotipo y en cada tratamiento de

humedad edáfica y de nitrógeno, se consignan en los Cuadros del Apéndice (Cuadro 1A, 4A, 7A y 10A).

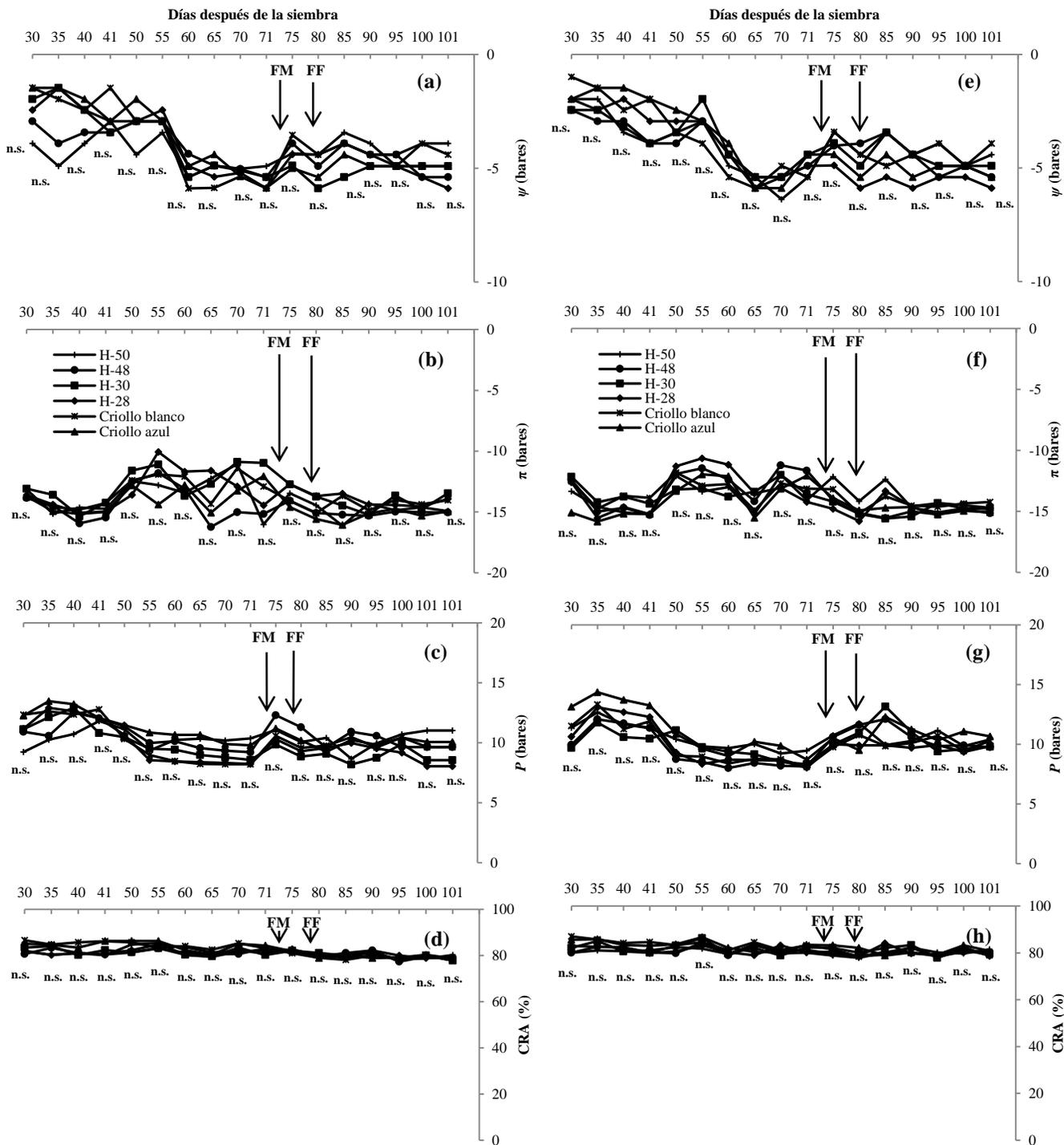


Figura 2. Potencial hídrico (a y e), osmótico (b y f) y de turgencia (c y g), y contenido relativo del agua (d y h) en riego con alto nitrógeno (a, b, c y d) y bajo nitrógeno (e, f, g y h) en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. [* ($P \leq 0.05$); n.s.=no significativo.]

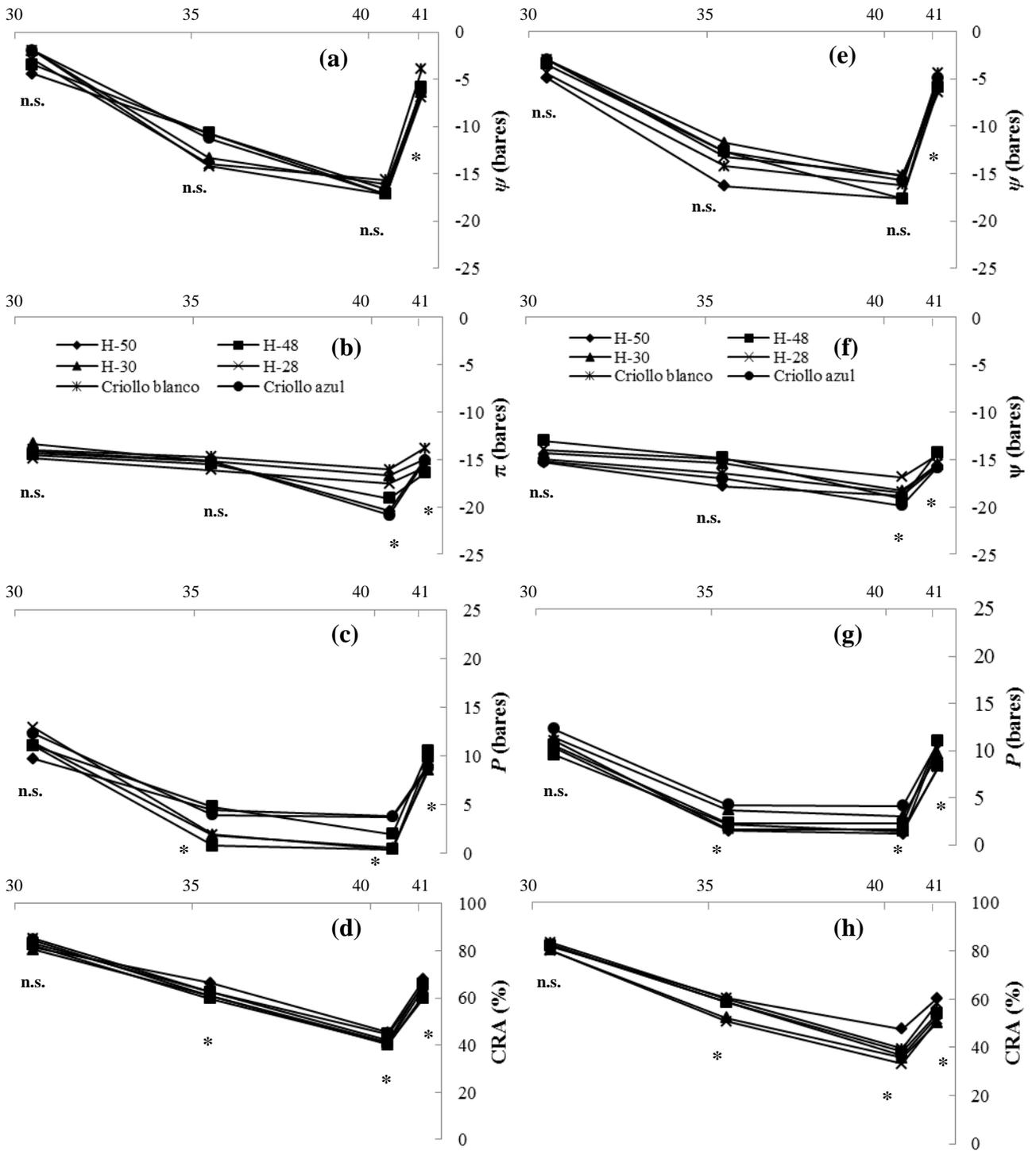


Figura 3. Potencial hídrico (a y e), osmótico (b y f) y de turgencia (c y g), y contenido relativo del agua (d y h) en sequía 1 con alto nitrógeno (a, b, c y d) y bajo nitrógeno (e, f, g y h) en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. [* (P<0.05); n.s.=no significativo.]

En S₂ la variación en el ψ , π y P , y CRA presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre genotipos para algunas de las fechas de medición; los parámetros fisiológicos ψ , π y P , y CRA tuvieron un comportamiento similar al observado en S₁ con AN y BN, al disminuir conforme transcurrió el periodo de sequía, alcanzando sus valores más bajos, para todos los genotipos a los 70 dds con AN (Figura 4a, b, c y d) y BN (Figuras 4e, f, g y h), con el H-48, H-50 y el criollo blanco, siendo los genotipos que mantuvieron el más alto ψ (H-50=-26.9 bares, H-48=-27 bares y criollo blanco ψ =-28 bares) (Figura 4a) con AN, y el H-50 (ψ =-27.5 bares) con BN (Figura 4e). Los genotipos que disminuyeron menos su π a los 70 dds fueron el criollo azul (π =-20 bares) y H-28 (π =-20.2 bares) con AN (Figura 4b), y el H-28 (π =-17.2 bares) y H-48 (π =-18.3 bares) con BN (Figura 4f), y los genotipos que mantuvieron un P más alto a los 70 dds fueron el H-50 (P =-5.6 bares), H-48 (P =-6.9 bares) y el criollo blanco (P =-6.3) con AN (Figura 4c), y H-50 (P =-5.1 bares), H-30 (P =-8.4 bares) y el criollo azul (P =-6.8 bares) con BN (Figura 4g). Los genotipos H-50 (CRA=31 %), H-28 (CRA=25.8 %) y H-30 (CRA=25.6 %) mantuvieron mayor CRA a los 70 dds con AN (Figura 4d), y el H-50 (CRA=29.8 %), H-28 (CRA=25.1 %) y el criollo azul (CRA=25 %) con BN (Figura 4h). Las variedades que se recuperaron más rápidamente de la sequía, al registrar más altos valores de ψ , π y P , y CRA, después del riego de recuperación (71 dds) fueron el H-28 (ψ =-7.4) y H-50 (ψ =-5.9) (Figura 4a) con AN, y el H-28 (ψ =-6.9) y H-50 (ψ =-4.9) con BN (Figura 4b); los criollos azul (π =-13.8 bares) y blanco (π =-14.6 bares) con AN (Figura 4b) y el H-28 (π =-11.5 bares), H-30 (π =-13.6 bares) y el criollo azul (π =-14.8 bares) con BN (Figura 4f); el H-28 (P =8.4 bares), H-48 (P =5.1 bares) y el H-50 (P =10 bares) con AN (Figura 4c) y el criollo blanco (P =6.2 bares), H-48 (P =7.5 bares), H-50 (P =9.9 bares) con BN (Figura 4e). El CRA se recuperó más rápidamente en el criollo blanco (CRA=50.3 %), H-48 (CRA=45.7 %) y H-50 (CRA=53.2 %) con AN (Figura 4d) y en el criollo blanco (CRA=51.2 %), H-48 (CRA=42.2 %) y H-50 (CRA=51.6 %) (Figura 4h) con BN. Los datos del ψ , π y P , y CRA, para cada genotipo y en cada tratamiento de humedad edáfica y de nitrógeno, se consignan en los Cuadros del Apéndice (Cuadros 2A, 5A, 8A y 11A).

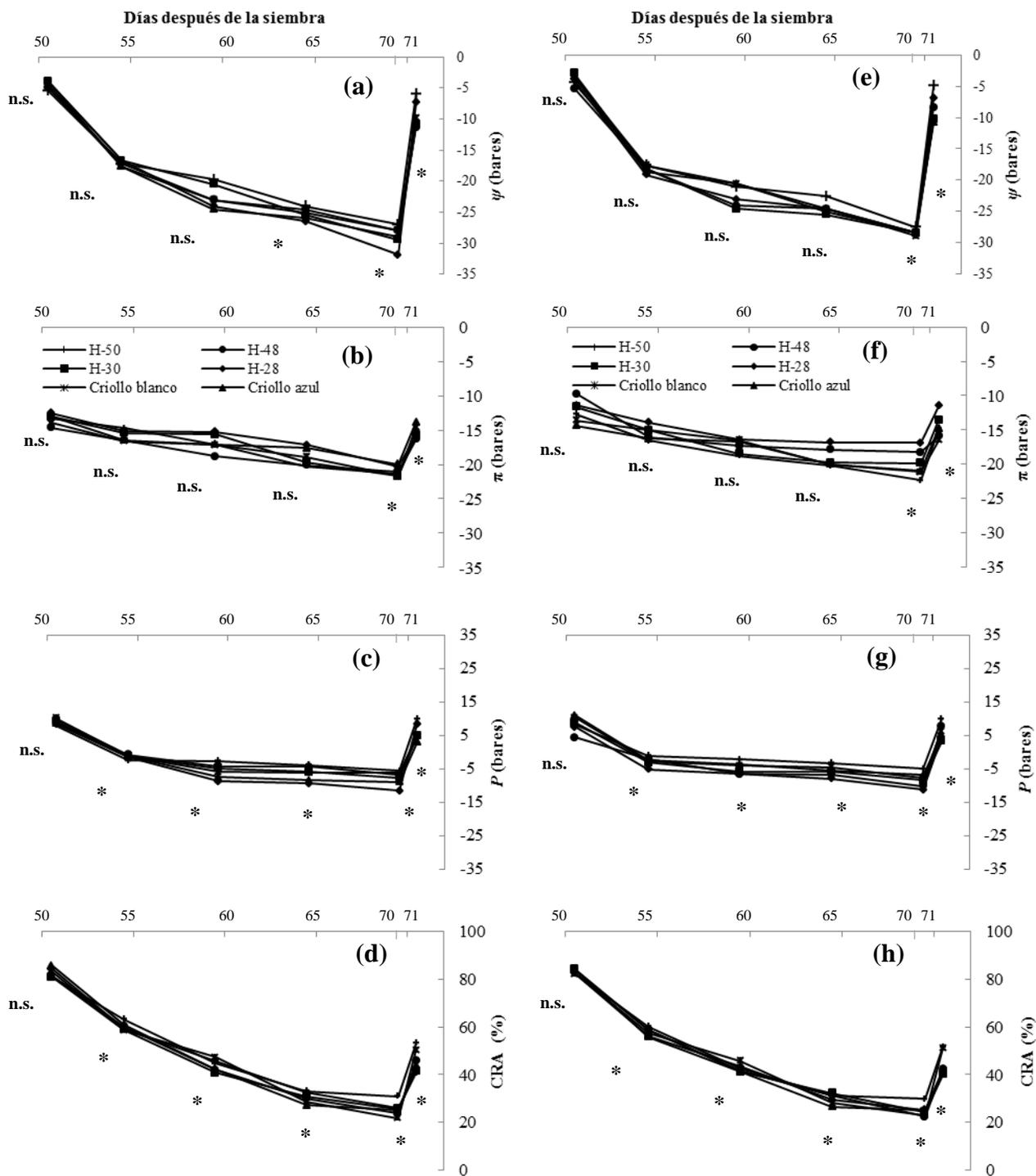


Figura 4. Potencial hídrico (a y e), osmótico (b y f) y de turgencia (c y g), y contenido relativo del agua (d y h) en sequía 2 con alto nitrógeno (a, b, c y d) y bajo nitrógeno (e, f, g y h) en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. [* ($P \leq 0.05$); n.s.=no significativo.]

En S₃ el ψ presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre genotipos a los 75, 100 y 101 dds con AN y 95, 100 y 101 dds con BN; el criollo blanco ($\psi = -28.5$ bares) y criollo azul ($\psi = -28$ bares), y el criollo blanco ($\psi = -28.4$ bares) y H-50 ($\psi = -28.4$ bares) mantuvieron más altos ψ que los demás genotipos cuando las plantas alcanzaron su más alto nivel de estrés hídrico (100 dds) y antes del riego de recuperación con AN (Figura 5a) y BN (Figura 5e), respectivamente. El π presentó diferencias ($P \leq 0.05$) entre variedades a los 100 y 101 dds con AN (Figura 5b) y BN (Figura 5f); el criollo blanco, H-48 y H-50 con AN y BN mantuvieron π más altos que los demás materiales genéticos en la medición realizada a los 100 dds, cuando las plantas tuvieron su más alto déficit hídrico; el P presentó diferencias entre genotipos a los 75, 80, 85, 90, 95, 100 y 101 dds con AN (Figura 5c) y BN (Figura 5g), al alcanzar valores negativos desde los 85 a los 100 dds cuando las plantas sufrieron sus deficiencias hídricas más severas; el criollo azul tanto en AN (Figura 5c) como en BN (Figura 5g) fue la única variedad que tuvo más alto P que las demás variedades a los 100 dds cuando las plantas tuvieron el más alto nivel de estrés hídrico. La variabilidad en el contenido relativo de agua fue significativa ($P \leq 0.05$) a los 75, 80, 85, 90, 95, 100 y 101 dds con AN (Figura 5d) y BN (Figura 5g); el criollo azul y el H-28 presentaron mayor contenido relativo de agua que las demás variedades con AN (Figura 5d) y BN (Figura 5h) a los 100 dds en condiciones de máximo estrés hídrico. La respuesta al riego de recuperación en ψ , π y P , y CRA fue similar para todos materiales genéticos; el criollo blanco y H-50 presentaron mayor ψ que los demás genotipos después del riego de recuperación con ψ de -14.3 bares y -15.3 (101 dds) con AN (Figura 5a) y -13.8 y -15.3 bares con BN (Figura 5e); el criollo azul, criollo blanco y H-50 presentaron mayor π que los demás genotipos después del riego de recuperación con π de -19.3, -17.8 y -18.9 bares (101 dds) con AN (Figura 5b) y π de -19.9, -18.4 y -19.3 bares con BN (Figura 5f); el H-48, H-50 y criollo blanco presentaron mayor P que los demás genotipos después del riego de recuperación con P de 3, 3.5 y 3.4 bares (101 dds) con AN (Figura 5c) y P de 3.3, 4 y 4.6 bares con BN (Figura 5g); el H-28, criollo azul y criollo blanco presentaron más alto contenido relativo de agua que los demás genotipos después del riego de recuperación con 23.5, 23.4 y 24.7 % (101 dds) con AN (Figura 5d) y contenido relativo de agua de 23.5, 23.6 y 23.4 % con BN (Figura 5h). Los datos del ψ , π y P , y CRA, para cada genotipo y en cada tratamiento de humedad edáfica y de nitrógeno, se consignan en los Cuadros del Apéndice (3A, 6A, 9A y 12A).

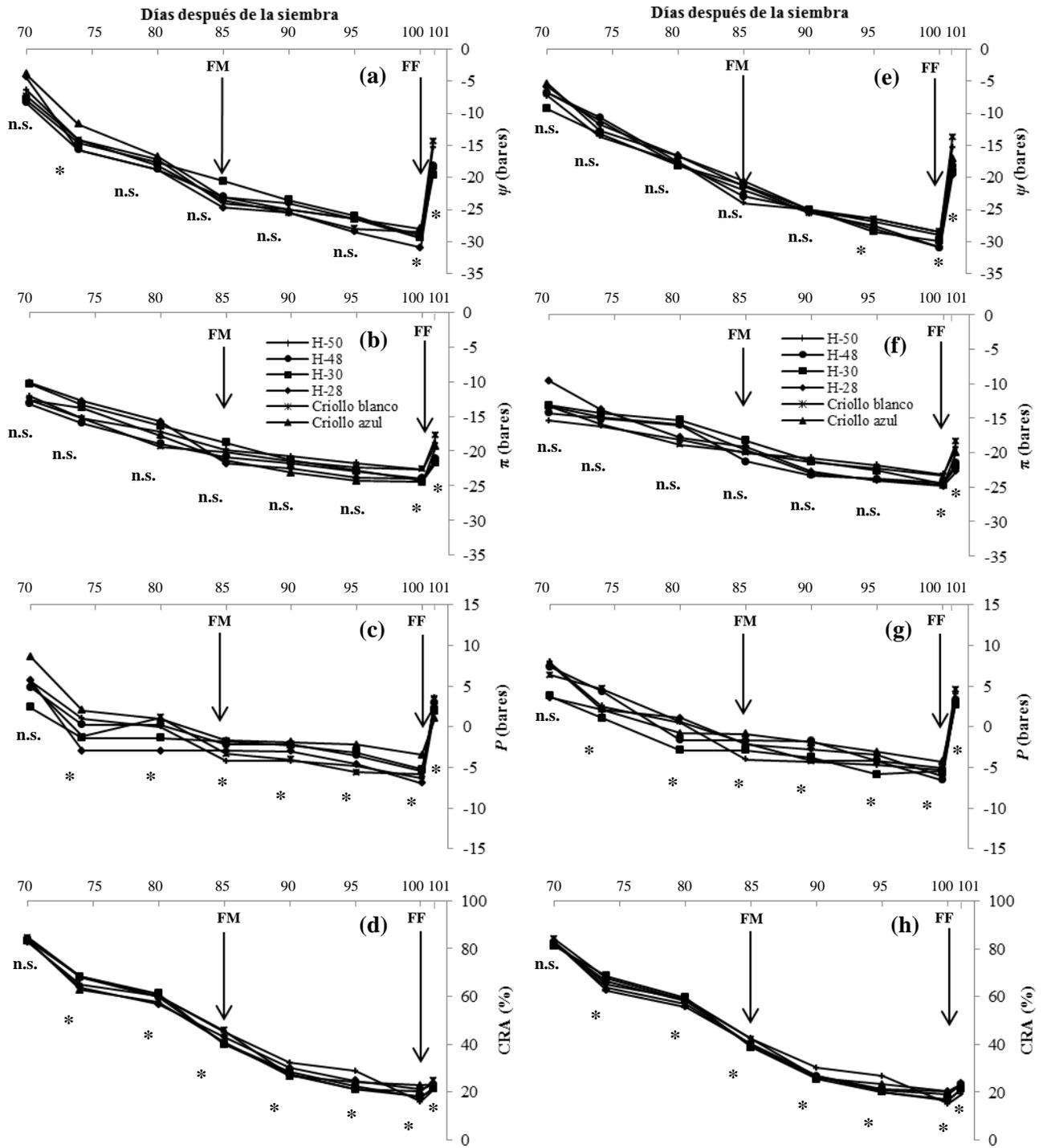


Figura 5. Potencial hídrico (a y e), osmótico (b y f) y de turgencia (c y g), y contenido relativo del agua (d y h) en sequía 3 con alto nitrógeno (a, b, c y d) y bajo nitrógeno (e, f, g y h) en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. [* ($P \leq 0.05$); n.s.=no significativo, FM=Floración masculina; FF=Floración femenina.]

4.3 Ajuste osmótico

El ajuste osmótico (AO) medido como la diferencia entre el potencial osmótico de la planta en condiciones favorables de humedad o riego (π_R) menos el potencial osmótico determinado en plantas bajo sequía (π_S), aumentó conforme se acentuó el estrés hídrico en las plantas sometidas a sequía en los tratamientos S₁, S₂ y S₃ con AN y BN; en S₁ el AO mostró diferencias ($P \leq 0.05$) entre variedades a los 35, 40 y 41 dds con AN (Figura 6a) y BN (Figura 6d). El H-28 y H-30 a los 35 dds, y el H-50 y el criollo azul a los 40 dds tuvieron mayor capacidad de AO que los otros genotipos con AN (Figura 6a), y el H-50 y el criollo blanco a los 35 dds, y el H-30 y el criollo blanco a los 40 dds mostraron mayor AO que los demás genotipos con BN (Figura 6d). Al observar la respuesta al riego de recuperación, se determinó que el H-50 y criollo azul fueron los genotipos con mayor recuperación (más altos valores de AO) a la sequía en términos de ajuste osmótico con AN (Figura 6a), y el H-50 y H-28 fueron los genotipos con mayor capacidad de recuperación con BN (Figura 6d).

El AO en S₂ mostró diferencias ($P \leq 0.05$) entre variedades a los 55, 60, 65, 70 y 71 dds con AN (Figura 6b) y a los 55, 65, 70 y 71 dds con BN (Figura 6e); el H-48 y criollo blanco tuvieron mayor capacidad de AO que los demás genotipos a los 55 dds; el H-28 y criollo blanco a los 60 dds, y H-50 y H-30 a los 65 y 70 dds con AN (Figura 6b); el H-48 y criollo azul a los 55 dds; H-30 y el criollo blanco a los 65 dds, y H-50 y el criollo azul a los 70 dds tuvieron mayor AO que los demás genotipos con BN (Figura 6e). El H-50 y el H-48 con AN (Figura 6b), y el H-50 y el H-30 con BN (Figura 6e) tuvieron mayor capacidad de recuperación al estrés hídrico que los demás materiales genéticos.

En S₃ el AO presentó diferencias ($P \leq 0.05$) entre genotipos a los 75, 80, 85, 90, 95 y 101 dds con AN (Figura 6c) y a los 75, 80, 85, 90, 100 y 101 dds con BN (Figura 6f); el H-28 y H-50 tuvieron mayor capacidad de AO que los demás genotipos a los 75 y 80 dds; el criollo blanco y H-28 a los 85 dds; el criollo azul y H-28 a los 90 dds, y el criollo blanco, H-28 y H-30 y criollo azul a los 100 dds con AN (Figura 6c); el H-50 y criollo blanco a los 75, 80 y 85 dds; el H-28 y H-48 a los 90 dds, y el H-28, H-30 y H-48 a los 100 dds tuvieron mayor AO que los demás genotipos con BN (Figura 6f). Al observar la respuesta al riego de recuperación, se determinó que el H-50 y criollo blanco con AN (Figura 6c), y el criollo azul y criollo blanco con BN (Figura 6f) tuvieron mayor capacidad de recuperación a la sequía en

términos de AO. Los datos de AO para cada genotipo y en cada tratamiento de humedad edáfica y de nitrógeno, se consignan en los Cuadros del Apéndice (13A, 14A y 15A).

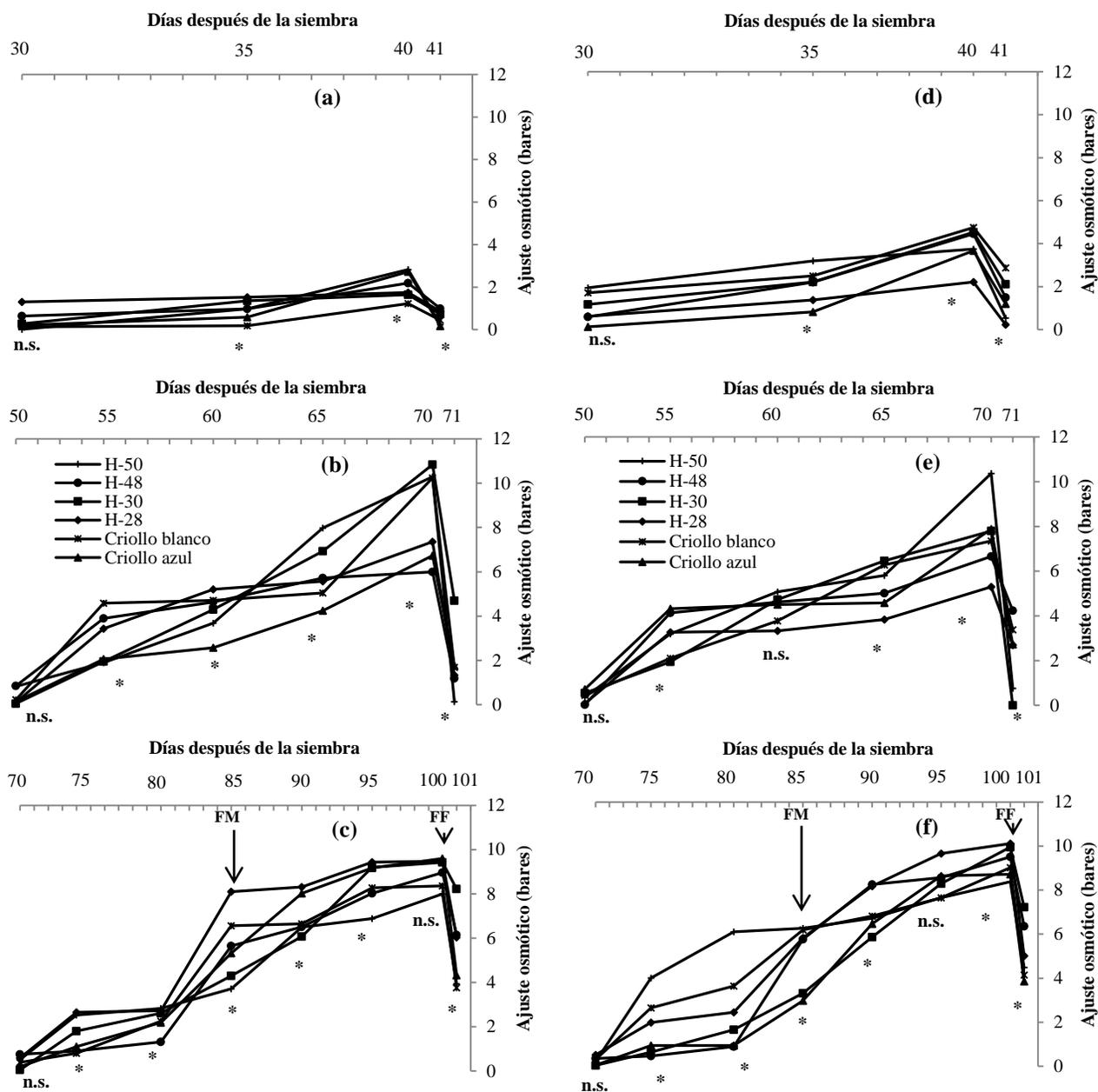


Figura 6. Ajuste osmótico en el tratamiento de sequía 1 con alto nitrógeno (a) y bajo nitrógeno (d), sequía 2 con alto nitrógeno (b) y bajo nitrógeno (e) y sequía 3 con alto nitrógeno (c) y bajo nitrógeno (f) en condiciones de invernadero, verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México. [* ($P \leq 0.05$); n.s.=no significativo, FM=Floración masculina; FF=Floración femenina.]

4.4 Efecto del estrés hídrico en el área foliar total acumulada durante el ciclo biológico

El crecimiento o acumulación del área foliar por planta durante el ciclo biológico de las plantas (AFTADCB) determinado en riego, S₁, S₂ y S₃ con AN y BN se presentan en el Cuadro 2. El AFTADCB se redujo en las plantas sometidas a sequía en S₁, S₂ y S₃ con respecto a las plantas en R; el estrés hídrico disminuyó las dimensiones del área foliar en 10.4, 16.2 y 10.6 % en S₁, S₂ y S₃. La deficiencia de nitrógeno también disminuyó el AFTADCB en 11.4, 5, 8 y 6 % en R, S₁, S₂ y S₃, respectivamente (Cuadro 2). Se determinaron diferencias (P≤0.05) entre genotipos desde los 15 a los 125 dds en R con AN (Figura 7a) y a los 15, 20, 30 a los 125 dds en R con BN (Figura 7e); diferencias (P≤0.05) entre variedades a los 35, 40, 115, 120 y 125 dds en S₁ con AN (Figura 7b) y a los 15, 20, 25, 35, 40 y 75 dds en S₁ con BN (Figura 7f); diferencias (P≤0.05) entre genotipos a los 15, 20, 25 y 70 dds en S₂ con AN (Figura 7c) y a los 15, 20 y 25 dds en S₂ con BN (Figura 7g); y desde los 80 a los 125 dds en S₃ con AN (Figura 7d) y a los 15, 20 y 25 dds en S₃ con BN (Figura 7h).

Cuadro 2. Crecimiento del área foliar total acumulada durante el ciclo biológico de las plantas en riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego		Sequia 1		Sequia 2		Sequia 3	
	(cm ² /planta)		(cm ² /planta)		(cm ² /planta)		(cm ² /planta)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-50	1240.0	1050.0	992.6	902.0	977.9	895.4	1066.6	986.0
H-48	1015.3	954.6	976.7	909.5	949.8	856.9	961.1	911.6
H-30	1049.4	890.1	882.5	852.0	837.8	774.8	885.5	846.4
H-28	1073.1	958.9	924.2	889.9	825.1	780.2	897.3	807.3
Criollo Blanco	1107.7	965.8	953.9	923.0	902.9	823.5	946.1	893.3
Criollo Azul	999.3	926.4	879.1	873.0	848.2	771.6	872.2	850.9
Media general	1080.8	957.6	934.8	891.5	890.2	817.0	938.1	882.6
DMS (P≤0.05)	9.8	2.9	2.7	10.2	13.1	12.7	5.0	8.4

Al examinar la variación en crecimiento del área foliar entre variedades se observó que en R con AN, las variedades H-50 y criollo blanco tuvieron mayor AFTADCB desde los 15 a los 60 dds (Figuras 7a) y el H-50 y criollo blanco tuvieron mayor AFTADCB desde los 65 a los 125 dds (Figura 7a), y las variedades criollo blanco y H-50 en R con BN tuvieron mayor área foliar que las demás variedades a los 15 y 20 dds (Figura 7e), y el criollo blanco y H-48 a los 30 y 35 dds (Figura 7e), y H-48 y H-50 a los 40 (Figura 7e), y criollo blanco y H-50 tuvieron mayor AFTADCB desde los 45 a los 125 dds que los demás genotipos en R con BN (Figura 7e).

En S_1 las variedades criollo blanco y H-50 tuvieron mayor AFTADCB a los 35 dds, y H-48, H-50 y criollo blanco a los 40, 115, 120 y 125 dds con alto nitrógeno (Figura 7b), y criollo blanco y criollo azul a los 15, 20 y 25 dds, y criollo blanco y H-48 a los 35 dds, y el criollo azul y H-48 a los 40 dds, y el H-28 y H-48 a los 75 dds con bajo nitrógeno tuvieron mayor AFTADCB que los demás genotipos (Figura 7f).

En S_2 el H-50 y criollo azul tuvieron mayor AFTADCB que las demás variedades a los 15, 20 y 25 dds, y H-48 y H-50 a los 70 dds con AN (Figura 7c), y el criollo blanco y H-48 a los 15, 20 y 25 dds con BN (Figura 7g). En S_3 con AN la variedad criollo blanco y H-50 tuvieron mayor AFTADCB a los 15 dds, y el criollo azul y criollo blanco a los 20 y 25 dds, y el criollo blanco y H-48 desde los 80 a 95 dds, y el H-48 y H-50 desde los 100 a los 125 dds (Figura 7d), y las variedades criollo blanco y criollo azul en S_3 con BN tuvieron mayor área foliar a los 15, 20 y 25 dds, y el H-30 y H-50 a los 70 dds (Figura 7h). Los datos del AFTADCB para cada genotipo y en cada tratamiento de humedad edáfica y de nitrógeno, utilizado en las mediciones de los potenciales se presentan en el Apéndice (Cuadro 16AA) y los datos para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales se consignan en el Apéndice (Cuadro 16AB).

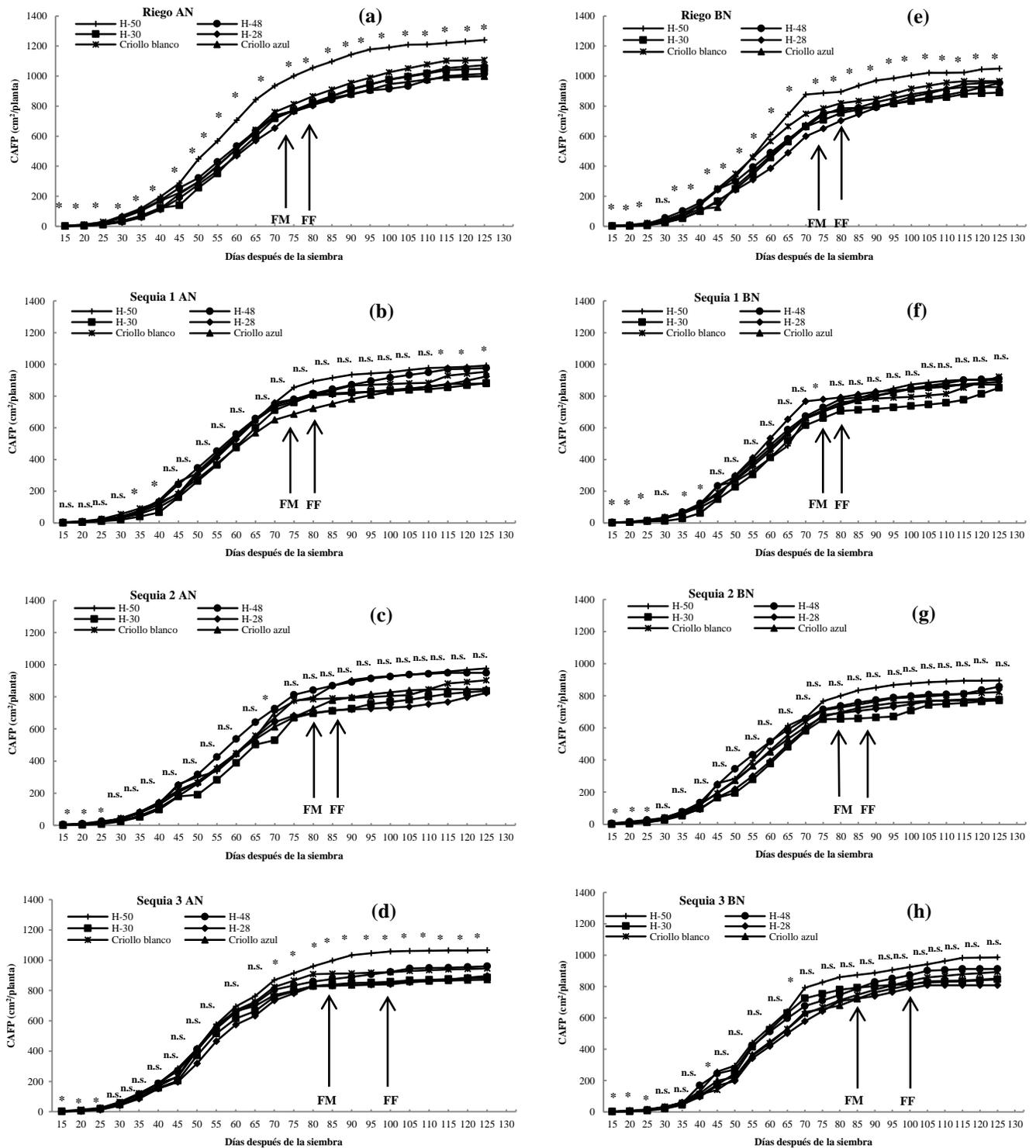


Figura 7. Crecimiento del área foliar acumulada por planta en riego con alto y bajo nitrógeno (a y e); sequia 1 con alto y bajo nitrógeno (b y f); sequia 2 con alto y bajo nitrógeno (c y g) y sequia 3 con alto y bajo nitrógeno (d y h), en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. [* ($P \leq 0.05$); n.s.=no significativo, FM=Floración masculina; FF=Floración femenina.]

4.5 Efecto del estrés hídrico en la expansión foliar durante los tratamientos de sequía

La expansión del área foliar durante los tratamientos de sequía por planta (EAFDTS) determinada en los periodos en los que las plantas estuvieron sometidas a sequía en S₁, S₂ y S₃ con AN y BN se presentan en el Cuadro 3. Las plantas sometidas a sequía en las diferentes etapas de desarrollo de las variedades sufrieron una reducción en el EAFDTS con respecto a las plantas en R; las deficiencias hídricas disminuyeron el EAFDTS en los diferentes tratamientos de sequía; el EAFDTS disminuyó 22.2, 12.9 y 7.5 % en S₁, S₂ y S₃. La deficiencia de nitrógeno también disminuyó el EAFDTS en 14.8 y 9.5 % en R y S₁, 6.8 y 3.7 % en R y S₂, 11.6 y 7.4 % en R y S₃ (Cuadro 3). Se determinaron diferencias (P≤0.05) entre genotipos a los 30, 35, 40 y 41 dds en R con AN y BN (Figuras 8a y 8g) y a los 35, 40 y 41 dds en S₁ con AN y BN (Figuras 8b y 8h); diferencias (P≤0.05) entre variedades desde los 50 a 71 dds en R con AN y BN (Figuras 8c y 8i), y a los 70 y 71 dds en S₂ con AN (Figura 8d); diferencias (P≤0.05) entre genotipos desde los 70 a 101 dds en R con AN (Figura 8e), y desde los 75 a 101 en R con BN (Figura 8k); diferencias (P≤0.05) entre variedades desde los 80 a 101 dds en S₃ con AN (Figura 8f), y a los 70 dds en S₃ con BN (Figura 8l); en S₂ con BN (Figura 8j) no se detectaron diferencias el crecimiento del área foliar entre genotipos en ninguna de las fechas de medición. En R y S₁ con AN y BN el H-50 y H-48 presentaron mayor expansión del área foliar a los 40 dds; H-50 obtuvo mayor expansión del área foliar en R y S₂ con AN y BN a los 70 dds; en R y S₃ con AN y BN el H-50, H-48 y criollo blanco presentaron mayor expansión del área foliar a los 100 dds.

Cuadro 3. Expansión del área foliar de las plantas durante los tratamientos de sequía, en riego, sequia 1, sequia 2 y sequia 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) a los 40, 70 y 100 días después de la siembra, en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego (40 dds)		Sequia 1 (40 dds)		Riego (70 dds)		Sequia 2 (70 dds)		Riego (100 dds)		Sequia 3(100 dds)	
	(cm ² /planta)		(cm ² /planta)		(cm ² /planta)		(cm ² /planta)		(cm ² /planta)		(cm ² /planta)	
	AN	BN										
H-50	197.5	143.6	142.9	104.6	935.0	876.6	702.9	663.6	1191.2	1004.5	1058.7	925.0
H-48	173.1	157.1	132.3	121.9	737.0	662.2	727.2	657.3	915.7	839.1	922.5	872.3
H-30	122.9	99.4	65.6	60.9	717.5	663.2	530.6	582.3	976.3	832.0	858.1	816.1
H-28	112.1	102.1	99.1	97.1	654.4	599.6	642.4	592.6	977.7	861.6	842.3	788.6
Criollo blanco	169.4	142.7	129.5	113.3	760.4	749.2	672.0	640.0	1025.1	916.5	920.9	835.9
Criollo azul	118.4	115.9	115.9	113.8	729.3	672.9	612.8	606.2	945.4	878.3	850.3	810.2
Media general	148.9	126.8	112.6	101.9	755.6	704.0	648.0	623.7	1005.2	888.7	908.8	841.4
DMS (P≤0.05)	12.1	14.2	17.7	19.3	8.4	9.9	15.8	21.6	8.4	0.3	3.4	12.2

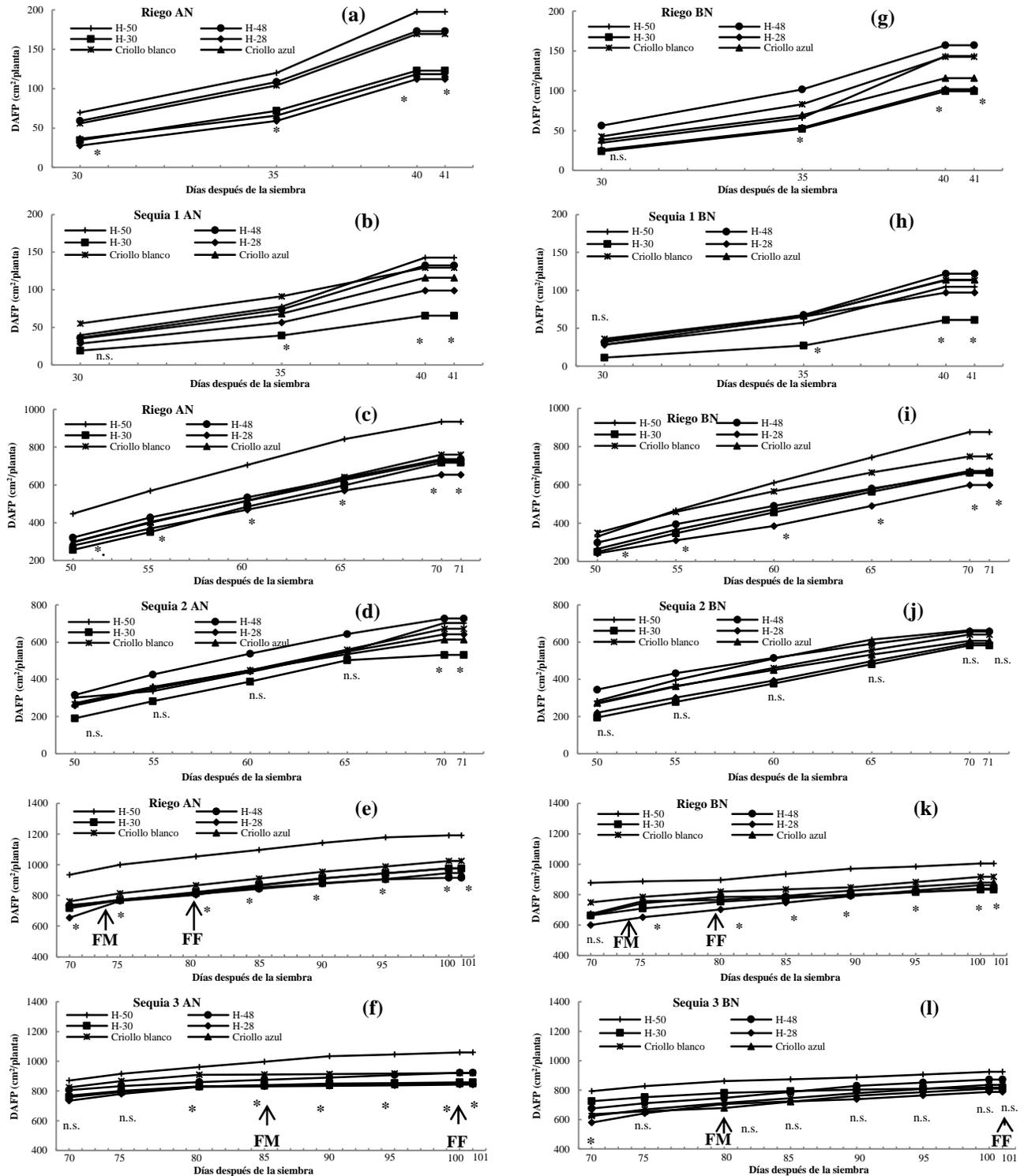


Figura 8. Expansión del área foliar de las plantas durante los tratamientos de sequía en riego con alto (a, c y e) bajo nitrógeno (g, i y k); sequía 1 con alto y bajo nitrógeno (b y h), sequía 2 con alto y bajo nitrógeno (d y j) y sequía 3 con alto y bajo nitrógeno (f y l), en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. [* ($P < 0.05$); n.s.=no significativo, FM=Floración masculina; FF=Floración femenina.]

4.6 Días a floración masculina y femenina

La fenología de las plantas fue afectada ($P \leq 0.05$) por el estrés hídrico; la floración masculina (FM) y la femenina (FF) se retrasaron por efecto de la sequía en promedio 0.5, 7.5 y 11 días, y 0.5, 7.5 y 21 días con respecto a R en S_1 , S_2 y S_3 , respectivamente (Cuadro 4). La deficiencia de nitrógeno retrasó la FM 1 día en S_1 y S_2 , no tuvo cambios en R y S_3 , y la FF se retrasó 1 día en S_1 y S_2 , y 2 días S_3 , sin presentar cambios en R (Cuadro 4). La sequía también afectó el intervalo antesis-floración femenina (IA-FF) en S_3 ; el IA-FF se alargó 10 días en S_3 con respecto a riego, sin presentar cambios en R, S_1 y S_2 ; éste alargamiento en el IA-FF evitó la formación de grano en todas las plantas en S_3 ; las deficiencias de nitrógeno sólo tuvieron efecto en las plantas en S_3 , donde el IA-FF fue 9 días más largo que en riego con AN y 11 días más largo que en riego con BN (Cuadro 4).

En riego el H-30 y H-28 presentaron mayor ($P \leq 0.05$) número de días a FM, y sólo el H-30 tuvo mayor número de días a FF con AN que el resto de los genotipos, y el H-30 tuvo mayor ($P \leq 0.05$) número de días a FM, y el criollo blanco y H-30 obtuvieron mayor número de días a FF que los demás materiales genéticos (Cuadro 4). En S_1 el H-30 obtuvo mayor ($P \leq 0.05$) número de días a FM y FF con AN que los demás cultivares, y el H-30 presentó mayor número de días a FM, y el criollo azul, criollo blanco, H-28 y H-30 obtuvieron mayor número de días a FF con BN que los demás genotipos (Cuadro 4); en S_2 el criollo blanco tuvo mayor ($P \leq 0.05$) número de días a FM, y el criollo azul tuvo mayor días a FF con AN, y el criollo blanco y H-48 tuvieron mayor número de días a FM, y sólo el criollo blanco tuvo mayor ($P \leq 0.05$) número de días a FF con BN que el resto de las variedades (Cuadro 4); en S_3 el criollo blanco tuvo mayor ($P \leq 0.05$) número de días a FM con AN y BN, y sólo el H-50 tuvo mayor número de días a FF con AN y BN que los demás materiales genéticos (Cuadro 4). Los datos de FM y FF para cada genotipo y en cada tratamiento de humedad edáfica y de nitrógeno, utilizado en las mediciones de los potenciales, se presentan en el Cuadro 21AA del Apéndice y los datos para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales, se consignan en el Cuadro 21AB del Apéndice.

Cuadro 4. Días a floración masculina (FM) y femenina (FF) de las plantas en riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego		Sequia 1				Sequia 2				Sequia 3						
	AN		BN		AN		BN		AN		BN		AN		BN		
	FM	FF	M	FF	FM	FF											
																	11
H-50	74	77	75	78	76	79	75	78	77	83	78	83	80	115	81	6	
H-48	71	74	72	75	72	75	72	76	84	88	85	89	85	99	84	98	
H-30	80	84	81	85	81	85	82	86	84	88	83	87	90	*	89	*	
H-28	76	81	76	82	75	81	76	83	78	85	77	84	79	91	81	*	
Criollo Blanco	73	82	72	83	73	83	74	83	85	90	86	94	93	*	92	*	
Criollo Azul	70	81	70	79	71	82	71	83	81	92	82	91	83	93	83	92	
Media																	10
general	74	80	74	80	74	80	75	81	81	87	82	88	85	100	85	2	
	7.0	10.	7.4	7.8	5.1	5.9	8.4	3.1	7.0	3.8	5.9	4.		1.9	6.9		
DMS (P≤0.05)	5	2	9	6	9	3	6	6	7	1	3	0	9.6	7	8	2.4	

* Sin floración

4.7 Acumulación de materia seca en la parte aérea

La acumulación de materia seca en la parte aérea (AMSPA) se redujo gradualmente en las plantas sometidas a sequía en los tratamientos S₁, S₂ y S₃ con respecto a las plantas en riego; el estrés hídrico redujo la acumulación de materia seca en 4, 24 y 50 % en S₁, S₂ y S₃ (Cuadro 5). La AMSPA también fue afectada por las deficiencias de nitrógeno; la deficiencia de nitrógeno redujo la AMSPA en 10, 11, 13 y 12 % en riego, S₁, S₂ y S₃, respectivamente (Cuadro 5). En riego el H-48 y H-50 tuvieron mayor (P≤0.05) AMSPA que los demás genotipos con AN y BN; en S₁, S₂ y S₃ el H-48 con AN, y el H-48 y H-50 con BN; el H-48 con AN y BN; el H-48, H-50 y criollo azul con AN, y el H-48 y H-50 con BN tuvieron mayor AMSPA que los demás genotipos, respectivamente (Cuadro 5). Los datos de AMSPA para cada genotipo y en cada tratamiento de humedad edáfica y de nitrógeno, utilizado en las mediciones de los potenciales, se presentan en el Cuadro 22AA del Apéndice y los datos para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales, se consignan en el Cuadro 22AB del Apéndice.

Cuadro 5. Acumulación de materia seca de la parte aérea en riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego (g)		Sequia 1 (g)		Sequia 2 (g)		Sequia 3 (g)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-50	79.3	73.5	75.7	70.5	62.9	57.4	37.7	33.8
H-48	93.2	87.0	90.2	81.9	74.5	64.7	39.6	36.0
H-30	48.5	38.9	47.0	37.0	31.7	27.2	26.6	23.5
H-28	63.7	61.3	60.6	59.1	56.3	48.8	36.3	31.5
Criollo Blanco	47.9	38.9	46.0	37.4	32.9	26.8	24.3	21.0
Criollo Azul	69.1	61.0	68.3	58.9	51.4	45.1	36.5	31.9
Media general	66.9	60.1	64.6	57.5	51.6	45.0	33.5	29.6
DMS (P≤0.05)	11.4	9.7	6.1	13.9	9.5	6.0	11.3	2.9

4.8 Rendimiento de grano y sus componentes

El rendimiento de grano por planta (RGPP) bajo riego y sequía (S₁ y S₂) con AN y BN se presentan en el Cuadro 6; en S₃ no se produjo rendimiento de grano en ninguna de las variedades. En S₁ y S₂, el RGPP se redujo en 8 y 27 % por efecto del estrés hídrico y 25, 20 y 18 % por efecto del BN en R, S₁ y S₂, respectivamente (Cuadro 6). En R y S₁ con AN y BN el H-48 obtuvo mayor (P≤0.05) RGP que los demás genotipos (Cuadro 6); en S₂ el H-48 y H-50 con AN y BN obtuvieron mayor (P≤0.05) RGPP que el resto de los materiales genéticos (Cuadro 6). Los datos de RGPP para cada genotipo y en cada tratamiento de humedad edáfica y de nitrógeno, utilizado en las mediciones de los potenciales, se presentan en el Cuadro 23AA del Apéndice y los datos para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales, se consignan en el Cuadro 23AB del Apéndice.

Cuadro 6. Rendimiento de grano en riego, sequía 1 y sequía 2 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego (g /planta)		Sequia 1 (g /planta)		Sequia 2 (g /planta)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-50	67.2	52.3	53.4	47.7	46.8	42.7
H-48	76.9	70.3	70.4	68.2	65.6	55.1
H-30	45.0	23.6	42.6	21.1	20.4	15.7
H-28	51.6	40.0	48.1	38.7	36.3	34.7
Criollo Blanco	36.8	29.5	34.4	28.3	23.1	17.4
Criollo Azul	55.1	35.4	50.6	34.1	40.4	25.3
Media general	55.4	41.8	49.9	39.7	38.8	31.8
DMS (P≤0.05)	53.9	54.5	40.1	47.9	40.9	46.3

4.8.1 Número de granos normales por mazorca

El número de granos normales por mazorca (NGNM) determinados en las plantas en R, S₁ y S₂ con AN y BN se presenta en el Cuadro 7; en S₃ no se obtuvo grano en ninguna de las variedades. El NGNM se redujo por efecto de la sequía en 8 y 15 % en S₁ y S₂, y 2.3, 5.7 y 3.5 % por efecto del BN en R, S₁ y S₂, respectivamente; el BN también afectó significativamente la formación de granos abortados por mazorca (NGAM); el BN aumentó el número de granos abortados por planta en 32 % en S₁ y 21 % en S₂ (Cuadro 7). El H-48 y H-50 produjeron mayor número de granos normales por planta en R, S₁ y S₂ con AN y BN que las otras variedades (Cuadro 7). Los datos del NGNM y NGAM para cada genotipo y en cada tratamiento de humedad edáfica y de nitrógeno, utilizado en las mediciones de los potenciales, se presentan en el Cuadro 24AA del Apéndice y los datos para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales, se consignan en el Cuadro 24AB del Apéndice.

Cuadro 7. Número de granos normales (GN) y abortados (GA) por mazorca en riego, sequía 1 y sequía 2 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego				Sequia 1				Sequia 2			
	AN		BN		AN		BN		AN		BN	
	GN	GA	GN	GA	GN	GA	GN	GA	GN	GA	GN	GA
H-50	218	0	216	0	210	2	181	2	178	17	167	19
H-48	215	0	210	0	204	3	195	2	183	16	180	22
H-30	135	0	130	0	118	2	116	4	112	18	108	19
H-28	169	0	160	0	163	3	155	5	152	16	141	18
Criollo Blanco	142	0	140	0	139	3	137	3	128	13	125	17
Criollo Azul	128	0	125	0	113	2	112	4	106	12	104	16
Media general	168	0	164	0	158	2.5	149	3.3	143	15.3	138	18.5
DMS (P≤0.05)	18.7	0	13.2	0	26.3	3.3	15.9	2.4	17.6	3.3	27.6	3.1

4.8.2 Tamaño del grano

El tamaño del grano (P100G) determinado al pesar 100 granos elegidos al azar en cada planta en R, S₁ y S₂ con AN y BN se presenta en el Cuadro 8. El tamaño del grano se redujo por efecto de la sequía en 13 y 40 % en S₁ y S₂, y 29, 27 y 20 % por efecto del bajo nitrógeno en R, S₁ y S₂, respectivamente. En R el criollo azul tuvo mayor (P≤0.05) tamaño de grano que los demás genotipos con AN, y el H-48 y H-50 tuvieron mayor tamaño del grano que los demás genotipos con BN; en S₁ el criollo azul y H-48 con AN, y sólo el H-48 con BN tuvieron mayor (P≤0.05) tamaño del grano que los demás materiales genéticos; en S₂ el criollo azul y H-28 con AN, y el H-48 y H-50 con BN obtuvieron mayor (P≤0.05) tamaño del grano que el resto de los genotipos (Cuadro 8). Los datos del P100G para cada genotipo y en cada tratamiento de humedad edáfica y de nitrógeno, utilizado en las mediciones de los potenciales, se presentan en el Cuadro 25AA del Apéndice y los datos para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales, se consignan en el Cuadro 25AB del Apéndice.

Cuadro 8. Peso de 100 granos en riego, sequía 1 y sequía 2 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego (g)		Sequia 1 (g)		Sequia 2 (g)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-50	31.8	28.4	25.2	22.2	21.3	19.7
H-48	37.3	33.1	33.7	32.2	30.2	24.8
H-30	37.5	17.5	31.0	15.2	14.1	10.1
H-28	30.5	26.1	27.5	21.4	19.6	18.3
Criollo Blanco	25.8	16.2	22.6	15.3	12.1	9.0
Criollo Azul	48.4	28.2	41.4	26.2	25.1	15.1
Media general	35	25	30	22	20	16
DMS (P≤0.05)	5.3	4.9	8.2	4.6	6.5	5.2

4.9 Acumulación de materia seca en raíces

La acumulación de materia seca en las raíces (AMSR) fue mayor ($P \leq 0.05$) en las plantas sometidas a sequía ($S_1=11$, $S_2=12.9$ y $S_3=16.8$ g planta⁻¹) que en las plantas bajo riego (8.5 g planta⁻¹); en S_1 , S_2 y S_3 ; la AMSR fue 29.4, 51.8 y 97.6 % mayor que en riego (Cuadro 9). El contenido de nitrógeno en el suelo también afectó la cantidad de materia seca acumulada en las raíces; el BN redujo la AMSR en 21.8, 5.2, 8.5 y 21.1 % en riego, S_1 , S_2 y S_3 , respectivamente (Cuadro 9 y Figura 9). En riego el H-48 y criollo blanco tuvieron mayor ($P \leq 0.05$) AMSR que los demás genotipos con AN (Figura 9a), y el H-50 y criollo blanco con BN (Figura 9c); en S_1 el H-50 y criollo blanco con AN (Figura 9b), y el H-48 y el H-50 con BN (Figura 9f) tuvieron mayor AMSR que los demás materiales genéticos; en S_2 el H-50 y el criollo azul tuvieron mayor ($P \leq 0.05$) AMSR que los demás genotipos con AN (Figura 9c), y el H-50 y el criollo blanco con BN (Figura 9g); en S_3 el H-48 y el H-50 con AN (Figura 9d), y el H-50 y criollo blanco con BN (Figura 9h) tuvieron mayor AMSR que los demás materiales genéticos. Los datos de AMSR para cada genotipo y en cada tratamiento de humedad edáfica y de nitrógeno, utilizado en las mediciones de los potenciales, se presentan en el Cuadro 26AA del Apéndice y los datos para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales, se consignan en el Cuadro 26AB del Apéndice.

Cuadro 9. Acumulación de materia seca en raíces en riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego (g)		Sequia 1(g)		Sequia 2 (g)		Sequia 3 (g)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-50	9.3	8.3	14.3	13.1	15.6	15.4	21.7	16.3
H-48	11.2	7.4	12.3	11.7	12.6	12.6	21.8	14.3
H-30	8.1	6.3	9.4	9.0	10.6	10.4	17.2	12.8
H-28	7.2	6.5	8.6	8.5	12.1	9.2	17.8	12.5
Criollo Blanco	11.2	9.4	12.0	11.6	15.0	13.8	17.9	17.4
Criollo Azul	9.8	6.4	11.2	10.3	15.0	12.4	16.4	15.7
Media general	9.5	7.4	11.3	10.7	13.4	12.3	18.8	14.8
DMS ($P \leq 0.05$)	1.5	1.0	1.0	1.0	1.6	1.45	1.3	1.5

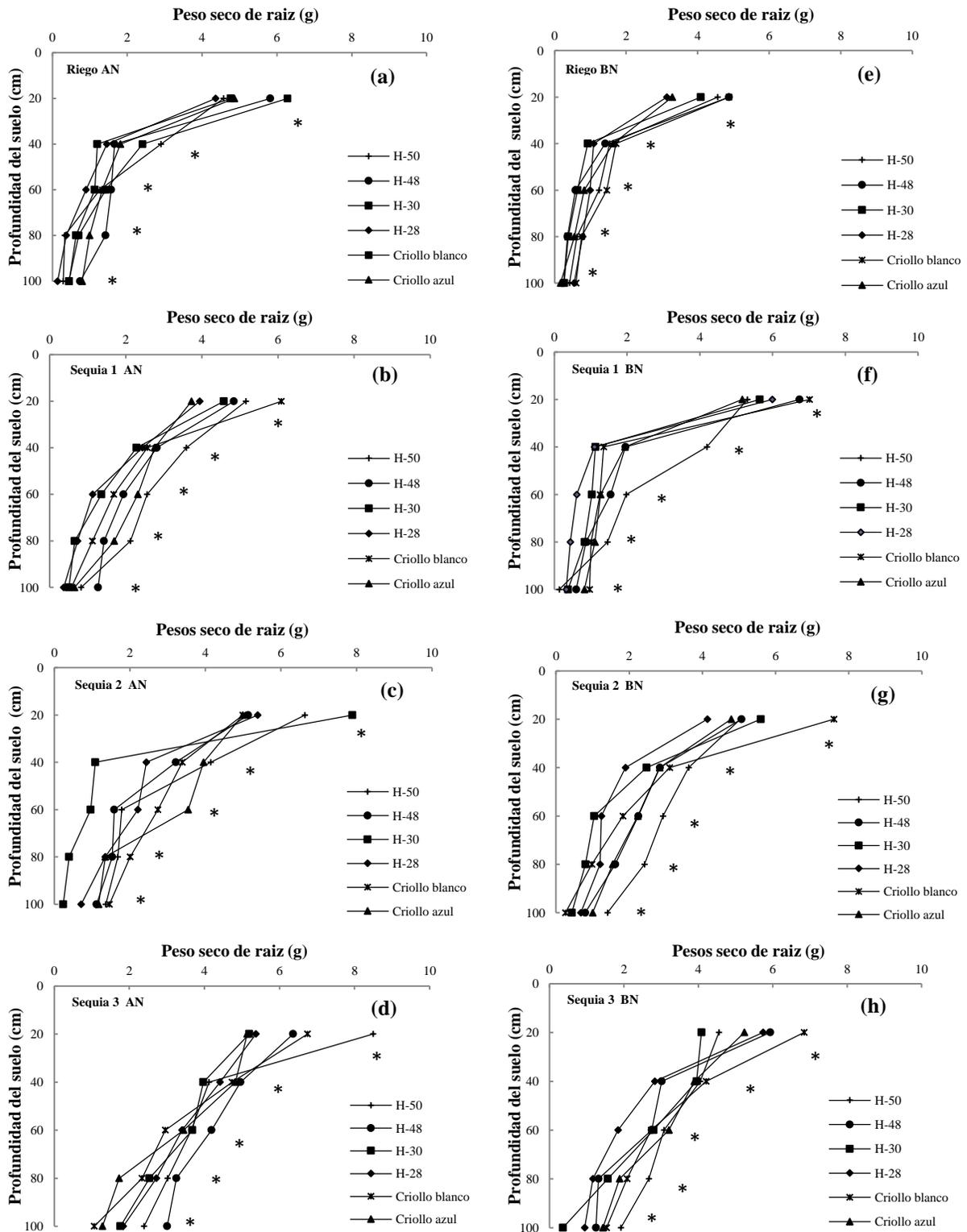


Figura 9. Peso seco de raíz en riego con alto y bajo nitrógeno (a y e); sequia 1 con alto y bajo nitrógeno (b y f), sequia 2 con alto y bajo nitrógeno (c y g), y sequia 3 con alto y bajo nitrógeno (d y h), en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. * ($P \leq 0.05$), n.s.=no significativo.

4.10 Eficiencia en el uso de agua para producir materia seca en la parte aérea, raíces y biomasa, y rendimiento de grano

La eficiencia en el uso de agua (EUA_{MSPA}) para producir materia seca en la parte aérea ($MSPA$) fue mayor ($P \leq 0.05$) en las plantas sometidas a sequía ($S_1=1.81$, $S_2=1.87$ y $S_3=1.95$ g de $MSPA/kg$ de H_2O) que en las plantas bajo riego (1.5 g de $MSPA/kg$ de H_2O); en S_1 , S_2 y S_3 la EUA_{MSPA} fue 26.7, 24.7 y 30 % mayor que en riego (13.7 %) (Cuadro 10). La EUA_{MSPA} también fue afectada por el contenido de nitrógeno en el suelo; el BN redujo la EUA_{MSPA} en 13.7, 11.4, 14.8 y 15.2 % en riego, S_1 , S_2 y S_3 , respectivamente (Cuadro 10). En riego el H-28, H-48 y H-50 tuvieron mayor EUA_{MSPA} ($P \leq 0.05$) que los demás genotipos con AN, y el H-48 y H-50 con BN (Cuadro 11); en S_1 y S_2 el H-48 con AN y BN tuvo mayor EUA_{MSPA} ($P \leq 0.05$) EUA_{MSPA} que el resto de las variedades (Cuadro 10); en S_3 el H-28 y H-48 con AN, y solo el H-48 con BN tuvieron mayor ($P \leq 0.05$) EUA_{MSPA} que los demás materiales genéticos (Cuadro 10). Los datos de EUA_{MSPA} para cada genotipo y en cada tratamiento de humedad edáfica y de nitrógeno, utilizado en las mediciones de los potenciales, se presentan en el Cuadro 27AA del Apéndice y los datos para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales, se consignan en el Cuadro 27AB del Apéndice.

Cuadro 10. Eficiencia en el uso del agua para la producción de materia seca parte aérea ($MSPA$) en riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego (g de $MSPA/kg$ de H_2O)		Sequia 1 (g de $MSPA/kg$ de H_2O)		Sequia 2 (g de $MSPA/kg$ de H_2O)		Sequia 3 (g de $MSPA/kg$ de H_2O)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
	H-50	1.92	1.70	2.09	1.89	2.34	2.07	2.37
H-48	2.08	1.83	2.69	2.32	2.91	2.43	2.61	2.23
H-30	1.01	0.82	1.21	1.00	1.17	0.97	1.68	1.49
H-28	1.74	1.63	2.19	2.20	2.59	2.16	2.43	2.09
Criollo Blanco	1.14	0.90	1.25	1.00	1.21	0.99	1.52	1.25
Criollo Azul	1.74	1.45	2.09	1.78	1.89	1.67	2.03	1.69
Media general	1.61	1.39	1.92	1.70	2.02	1.72	2.11	1.79
DMS ($P \leq 0.05$)	0.34	0.24	0.24	0.41	0.39	0.23	0.70	0.16

La variación en eficiencia en el uso del agua entre genotipos para producir materia seca en raíces (EUA_{MSR}) también fue significativa; las plantas sometidas a estrés hídrico tuvieron mayor ($P \leq 0.05$) EUA_{MSR} ($S_1=0.32$, $S_2=0.49$ y $S_3=1.03$ g de MSR/kg de H_2O) que las plantas bajo riego (0.2 g de MSR/kg de H_2O); en S_1 , S_2 y S_3 la EUA en la producción de MSR fue 50, 145 y 415 % mayor que en riego (Cuadro 11). La EUA_{MSR} fue mayor ($P \leq 0.05$) en AN que en BN en S_1 (26.1 %), S_2 (6.1 %), S_3 (11.5 %) y R (24.6 %) (Cuadro 11). En riego el criollo blanco y H-48, y sólo el criollo blanco tuvieron mayor EUA_{MSR} ($P \leq 0.05$) que los demás materiales genéticos en AN y BN, respectivamente (Cuadro 11); en S_1 sólo el H-50 produjo mayor EUA_{MSR} ($P \leq 0.05$) que los demás genotipos en AN y BN; en S_2 el H-28 y H-50 con AN, y el criollo blanco y H-50 con BN presentaron mayor EUA_{MSR} ($P \leq 0.05$) que los demás genotipos (Cuadro 11); en S_3 no se observaron diferencias en EUA_{MSR} ($P \leq 0.05$) entre variedades (Cuadro 11). Los datos de EUA_{MSR} para cada genotipo y en cada tratamiento de humedad edáfica y de nitrógeno, utilizado en las mediciones de los potenciales, se presentan en el Cuadro 28AA del Apéndice y los datos para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales, se consignan en el Cuadro 28AB del Apéndice.

Cuadro 11. Eficiencia en el uso del agua en la producción de materia seca de raíces (MSR) en riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego (g de		Sequia 1 (g de		Sequia 2 (g de		Sequia 3 (g de	
	MSR/kg de H_2O)		MSR/kg de H_2O)		MSR/kg de H_2O)		MSR/kg de H_2O)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-50	0.23	0.19	0.39	0.35	0.58	0.56	1.37	0.95
H-48	0.25	0.16	0.37	0.33	0.49	0.47	1.44	0.88
H-30	0.17	0.13	0.24	0.24	0.39	0.37	1.08	0.81
H-28	0.20	0.17	0.31	0.31	0.56	0.41	1.19	0.83
Criollo Blanco	0.27	0.22	0.33	0.31	0.54	0.51	1.11	1.03
Criollo Azul	0.25	0.15	0.34	0.31	0.55	0.46	0.92	0.83
Media general	0.23	0.17	0.33	0.31	0.52	0.46	1.18	0.89
DMS ($P \leq 0.05$)	0.48	0.21	0.36	0.14	0.84	0.77	1.25	0.40

La variabilidad en eficiencia en el uso del agua para producir biomasa total en la planta (EUA_{BM}) fue substancial en los diferentes tratamientos de humedad edáfica; en promedio de

genotipos la EUA_{BM} fue 1.7, 2.1, 2.4 y 3 g de BM/kg de H_2O transpirada en R, S_1 , S_2 y S_3 (Cuadro 12). La EUA_{BM} en S_1 , S_2 y S_3 fue 23.5, 41.2 y 76.5 % mayor ($P \leq 0.05$) que en riego (Cuadro 12). El bajo contenido de nitrógeno en el suelo disminuyó la EUA_{BM} en 14.7, 10.7, 14.2 y 18.5 % en riego, S_1 , S_2 y S_3 , respectivamente (Cuadro 12). El H-28, H-48 y H-50, y H-48 tuvieron mayor EUA_{BM} ($P \leq 0.05$) en R con AN y BN; en S_1 sólo el H-48 con AN y el H-28 y H-48 con BN tuvieron mayor EUA_{BM} ($P \leq 0.05$) que el resto de las variedades; en S_2 el H-28 y H-48 con AN, y el H-28, H-48 y H-50 con BN presentaron mayor EUA_{BM} , y en S_3 el H-28, H-48 y H-50 con AN, y H-48 con BN tuvieron mayor EUA_{BM} que las demás variedades (Cuadro 12). Los datos de EUA_{BM} para cada genotipo y en cada tratamiento de humedad edáfica y de nitrógeno, utilizado en las mediciones de los potenciales, se presentan en el Cuadro 29AA del Apéndice y los datos para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales, se consignan en el Cuadro 29AB del Apéndice.

Cuadro 12. Eficiencia en el uso del agua para la producción de biomasa tota (BM) en riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego		Sequia 1		Sequia 2		Sequia 3	
	(g de BM/Kg H_2O)		(g de BM/Kg H_2O)		(g de BM/Kg H_2O)		(g de BM/Kg H_2O)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-50	2.14	1.90	2.48	2.24	2.92	2.62	3.74	2.94
H-48	2.33	1.98	3.06	2.65	3.40	2.91	4.05	3.11
H-30	1.19	0.95	1.46	1.24	1.57	1.34	2.77	2.30
H-28	1.94	1.80	2.50	2.51	3.14	2.57	3.62	2.92
Criollo Blanco	1.41	1.12	1.58	1.32	1.74	1.49	2.63	2.28
Criollo Azul	1.98	1.60	2.44	2.09	2.44	2.13	2.95	2.52
Media general	1.83	1.56	2.25	2.01	2.54	2.18	3.29	2.68
DMS ($P \leq 0.05$)	0.38	0.34	0.39	0.28	0.37	0.40	0.62	0.93

La eficiencia en el uso de agua para el rendimiento de grano por planta (EUA_{RGP}) fue mayor ($P \leq 0.05$) en las plantas sometidas a sequía ($S_1=1.3$ y $S_2= 1.4$ g de RGP/kg de H_2O) que en las plantas bajo riego (1.1 g de RGP/kg de H_2O); en S_1 y S_2 la EUA_{RGP} fue de 18.2 y 27.3 % mayor que en riego (Cuadro 13). El bajo contenido de nitrógeno en el suelo disminuyó el EUA_{RGP} en 27.8, 20.9 y 19.9 % en riego, S_1 y S_2 , respectivamente (Cuadro 13). En riego, S_1 ,

S₂ y S₃ el H-48 con AN y BN obtuvo mayor ($P \leq 0.05$) EUA_{RGP} que el resto de los materiales genéticos (Cuadro 13); en S₃ no obtuvo rendimiento de grano en ninguno de los materiales genéticos. Los datos de EUA_{RG} para cada genotipo y en cada tratamiento de humedad edáfica y de nitrógeno, utilizado en las mediciones de los potenciales, se presentan en el Cuadro 30AA del Apéndice y los datos para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales, se consignan en el Cuadro 30AB del Apéndice.

Cuadro 13. Eficiencia en el uso del agua en el rendimiento de grano (RGP) en riego, sequía 1 y sequía 2 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego		Sequia 1		Sequia 2	
	(g de RGP/kg de H ₂ O)		(g de RGP/kg de H ₂ O)		(g de RGP/kg de H ₂ O)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-50	1.63	1.21	1.47	1.28	1.74	1.54
H-48	1.72	1.48	2.10	1.93	2.56	2.07
H-30	0.94	0.50	1.10	0.57	0.75	0.56
H-28	1.41	1.06	1.74	1.44	1.66	1.54
Criollo Blanco	0.88	0.68	0.94	0.76	0.85	0.64
Criollo Azul	1.38	0.84	1.55	1.03	1.48	0.94
Media general	1.33	0.96	1.48	1.17	1.51	1.21
DMS ($P \leq 0.05$)	1.38	1.34	1.35	1.64	1.83	1.96

La presentación de resultados y discusión incluyó sólo los datos obtenidos para los seis genotipos en los que se midieron los parámetros fisiológicos de la resistencia a sequía. Sin embargo, los datos de todos los genotipos utilizados en el presente estudio se consignan para cada variable en los cuadros del apéndice. Los cuadros con letra A en el apéndice pertenecen a los genotipos en los que se midieron los potenciales y los cuadros con letra B pertenecen a las variedades en las que no se midieron los potenciales o parámetros fisiológicos de la resistencia a sequía.

5. DISCUSIÓN

5.1 Contenido hídrico del suelo

El contenido hídrico del suelo en el tratamiento de riego se mantuvo cercano a capacidad de campo durante el experimento; en S₁ el contenido de humedad en el suelo disminuyó 75 % de capacidad de campo al finalizar el periodo de sequía (40 dds), en S₂ y S₃ el contenido hídrico del suelo alcanzó un nivel inferior al porcentaje de marchitamiento permanente entre los 60 y 70 dds, y entre los 98 y 105 dds, respectivamente. La cantidad de humedad disponible durante el ciclo de las plantas en riego fue favorable para el crecimiento y desarrollo de las plantas, sin que se observaran síntomas de deficiencias hídricas.

Las deficiencias hídricas edáficas registradas en S₁, S₂ y S₃ modificaron el estado hídrico de las plantas con AN y BN, ocasionando diferentes niveles de marchitamiento a medida que el contenido hídrico del suelo fue descendiendo por debajo del PMP, favoreciendo una reducción en el ψ foliar, valores más negativos para el π , niveles más bajos de P , y más bajo contenido relativo de agua (Barrios-Gómez *et al.*, 2011; Silva-Robledo *et al.*, 2007). Las deficiencias hídricas edáficas disminuyen severamente el contenido hídrico de la planta, causando altos niveles de estrés y fuertes reducciones en el rendimiento de semilla, biomasa aérea, número de vainas y semillas normales, y peso de la semilla, cuando la sequía coincide con la floración y la formación de la semilla (Barrios-Gómez y López-Castañeda, 2009). Galván-Tovar *et al.* (2006) determinaron que el potencial hídrico foliar de las plantas de frijol común bajo estrés hídrico, reflejaron el contenido hídrico del suelo antes del amanecer ($r^2=0.90$), cuando las plantas recuperaron su turgencia durante la noche.

5.2 Relaciones hídricas de la planta

Las relaciones hídricas de las plantas representadas por los potenciales hídrico, osmótico y de turgencia, y el contenido relativo de agua, se redujeron por efecto de la sequía, sobre todo en el tratamiento S₃, donde la suspensión del riego entre los 70 y 100 dds, coincidió con la antesis y la floración femenina. El potencial hídrico foliar, osmótico y de turgencia, y el contenido relativo de agua promedio al término de la sequía en S₁, S₂ y S₃ disminuyeron a -17, -18 y 1 bares, y 42 %; -29, -21 y -8 bares, y 25 %; y -29, -24 y -5 bares, y 19 % cuando las plantas estuvieron sujetas a déficit hídrico durante la etapa vegetativa entre los 30 y 40 dds, antes del inicio de la floración cuando la sequía se aplicó entre los 50 y 70 dds y durante la

floración y el llenado del grano entre los 70 y 100 dds, respectivamente. Resultados similares fueron obtenidos en diferentes variedades de maíz sometidas a sequía durante 10 días después de que el contenido de humedad en el suelo alcanzó el porcentaje de marchitamiento permanente, con niveles de potencial hídrico y osmótico de -20 y -15 bares, y donde la sequía en las plantas durante 20 y 38 días, no permitió la medición del potencial hídrico debido al alto nivel de deshidratación de las plantas (Avendaño *et al.*, 2005).

Los déficits hídricos edáficos se reflejaron en el ψ , π y P , y contenido relativo de agua de los materiales genéticos en S₁, S₂ y S₃, y en su respuesta al riego de recuperación; en S₁ el criollo blanco presentó el más alto ψ con ($\psi=-15.7$ bares) y H-30 ($\psi=-16.1$ bares) con AN y BN ($\psi=-16.2$ bares) y ($\psi=-15.2$ bares), acompañado por el más bajo π ($\pi=-16.0$ bares y $\pi=-16.7$ bares con AN y $\pi=-18.5$ bares y $\pi=-18.30$ bares con BN), parámetros fisiológicos que les permitieron mantener un alto P ($P=0.4$ bares y $P=0.6$ bares con AN y $P=2.3$ bares y $P=3.1$ bares con BN) y un % de contenido relativo de agua (CRA=42 % y CRA=40 % con AN y CRA=39.3 % y CRA=35.6 % con BN). Esta capacidad de mantener la turgencia con valores mayores a cero bares durante la sequía, le permitió a las plantas una rápida recuperación de la turgencia después del riego de recuperación; los niveles de potencial hídrico ($\psi=-3.9$ bares y $\psi=-6.0$ bares), osmótico ($\pi=-13.8$ y $\pi=-14.9$ bares) y de turgencia ($P=9.9$ bares y $P=8.6$ bares) se recuperaron a niveles cercanos a los obtenidos para riego ($\psi=-1.5$ y $\psi=-3.4$, $\pi=-14.2$ y $\pi=-14.2$, $P=12.7$ y $P=10.8$ bares) a las 24 h después de haber aplicado el riego de recuperación.

En el tratamiento de humedad edáfica aplicado a las plantas antes del inicio de la floración (S₂), el H-50 ($\psi=-26.9$ bares) con AN y el criollo azul ($\psi=-28.4$ bares) con BN mantuvieron el más alto ψ , acompañado por el más bajo π ($\pi=-21.4$ bares con AN y $\pi=-21.6$ bares con BN), procesos fisiológicos que les permitieron mantener un P ($P=-5.6$ bares en AN y $P=-6.8$ bares con BN) cercano a cero bares y un CRA alrededor de 40 % para el H-50 con AN y 25 % para el criollo azul con BN, mientras que el genotipo que sufrió mayor nivel de estrés hídrico fue el H-30 con ψ ($\psi=-29.4$ bares con AN y $\psi=-28.5$ bares con BN), π ($\pi=-21.7$ bares con AN y $\pi=-20.0$ bares con BN) y P ($P=-7.7$ bares con AN y $P=-8.4$ con BN), y CRA (CRA=25.6 % con AN y CRA=24.3 % con BN), al estar expuestas a 20 días de sequía y una disminución en el contenido hídrico del suelo por debajo del porcentaje de marchitamiento permanente. El H-50 con AN y el criollo azul con BN tuvieron alta capacidad de respuesta al riego de recuperación; el ψ , π y P para el H-50 con AN y criollo azul con BN tuvieron valores

de -5.9, -15.9 y 10 bares, y -10.8, 14.8 y 4 bares, valores cercanos a los que estos genotipos registraron en condiciones de riego (H-50 con AN; $\psi=-4.9$, $\pi=-16$ y $P=10.3$ bares, y criollo con BN; $\psi=-4.4$, $\pi=-12.1$ y $P=8.7$ bares) en comparación con el H-30 que presentó potenciales más bajos ($\psi=-10.8$, $\pi=-15.7$ y $P=4.9$ bares con AN y $\psi=-10.3$, $\pi=-13.6$ y $P=3.2$ bares con BN) que el H-50 y el criollo azul 24 h después del riego de recuperación.

En las plantas sometidas a sequía durante la antesis y la floración femenina (S_3), el criollo azul ($\psi=-27.9$ y $\pi=-24.5$ bares) y H-50 ($\psi=-28.9$ y $\pi=-22.6$ bares) con AN y el criollo blanco ($\psi=-28.5$ y $\pi=-23.4$ bares) y H-50 ($\psi=-28.4$ y $\pi=-23.1$ bares) con BN, mantuvieron más alto ψ y más bajo π , al finalizar el periodo de estrés hídrico, lo que se reflejó en un valor cercano a cero bares para el P ($P=-3.4$ bares y $P=-6.3$ bares) en el criollo azul y H-50 con AN y $P=-5.1$ bares y $P=-5.3$ bares en el criollo blanco y H-50 con BN, en contraste con el H-28 que presentó valores para el ψ , π y P de -30.9, -24 y -6.9 bares con AN y -30.9, -24.9 y -6.0 bares con BN. El CRA disminuyó drásticamente en todos los genotipos; en el criollo azul con AN fue de 22.8 y 19.11 % en el criollo blanco con BN, y 21.2 % con AN y 20.4 % con BN en el H-28. El H-50 y criollo blanco con AN y BN tuvieron la mayor capacidad de respuesta al riego de recuperación; el H-50 registró valores de ψ , π y P de -15.3, -18.8 y 3.5 bares con AN y -15.2, -19.3 y 4 bares con BN; criollo blanco -14.3, -17.7, 3.4 bares con AN y -13.75, -18.3, 4.6 bares con BN; valores cercanos a los registrados en condiciones de riego en H-50 ($\psi=-3.9$, $\pi=-14.9$ y $P=11.0$ bares con AN, y $\psi=-4.4$, $\pi=-14.8$ y $P=10.4$ bares con BN); criollo blanco ($\psi=-4.4$, $\pi=-14.3$ y $P=9.6$ bares con AN, y $\psi=-3.9$, $\pi=-14.2$, $P=10.3$ bares con BN; valores que fueron más altos que los determinados en el H-30 ($\psi=-19.7$, $\pi=-21.7$ y $P=2$ bares con AN y $\psi=-19.5$, $\pi=-21.9$ y $P=2.8$ bares con BN) a las 24 h después del riego de recuperación. Turner (1974) determinó que genotipos de maíz, sorgo y tabaco sometidos a deficiencias hídricas del suelo cuando las plantas alcanzaron su máximo desarrollo foliar, disminuyeron su ψ a valores de -18, -22 y -15 bares al medio día en las hojas superiores más expuestas a la radiación solar en el dosel del cultivo y que el π también disminuyó al medio día, aunque no al mismo grado que lo hizo el ψ de tal forma que el P tuvo valores de cero en algunas hojas; el más bajo π de las hojas en la parte superior del dosel del cultivo que en las hojas inferiores, dio como resultado que las hojas de la parte superior del dosel del cultivo tuvieran más alto P a un ψ dado que en las hojas inferiores en las tres especies; este estudio también permitió establecer

que la resistencia estomática de las hojas superiores aumentó a valores más negativos del ψ que en las hojas de la base la planta en los tres cultivos utilizados, y además se observó que las hojas superiores en el dosel de las plantas de tabaco se marchitaron a valores más negativos del ψ que las hojas inferiores del dosel del cultivo. Otros estudios en maíz mostraron que plántulas de las variedades VS-22 (tolerante a sequía) y AMCCG-2 (susceptible a sequía) sometidas a estrés hídrico a los seis días después de la emergencia, produjeron incrementos en la acumulación de solutos como prolina, azúcares totales y específicos como glucosa, fructosa y sacarosa, y además se detectó la acumulación del disacárido trialosa, y se observó el mantenimiento de la elongación del ápice de la radícula (Velázquez-Márquez, 2014). Acciaresi *et al.* (2012) al estudiar la variación en el potencial hídrico edáfico y foliar entre la etapa de la hoja-4 y la hoja-7 de un híbrido de maíz y *Sorghum halapense* en plantas sometidas a riego (75 % CC) y déficit hídrico (23.5-25 % CC) durante 24 días, observaron que el *Sorghum halapense* realizó una absorción continua de agua, alcanzando un menor potencial hídrico con respecto a los híbridos de maíz, manteniendo el contenido relativo de agua por encima del 90 % y alcanzando el 70 % sólo en competencia con baja disponibilidad hídrica, y en maíz el contenido relativo de agua disminuyó a valores de 70 % en ambos niveles hídricos del suelo, manteniendo el *Sorghum halapense* un intercambio gaseoso activo y los híbridos de maíz presentando una menor habilidad competitiva que el *Sorghum halapense*, para ambos niveles de humedad edáfica debido a la estrategia conservadora de humedad que mostró *Sorghum halapense*. Avendaño *et al.* (2005) estudiaron el comportamiento de las variedades originales (con selección) Zacatecas 58 y Cafime de maíz, y sus respectivas variedades mejoradas (sin selección), denominadas Zacatecas-58 ciclo de selección masal 19 y Cafime ciclo de selección masal 16, las cuales estuvieron expuestas a porcentaje de marchitamiento permanente del suelo durante 10 días; observaron que el potencial hídrico foliar y osmótico disminuyeron conforme se prolongó la sequía; las variedades mejoradas presentaron menores potenciales hídrico y osmótico que las variedades originales, se observó también que el contenido de prolina aumentó en diferente proporción con el periodo de exposición a la sequía en las cuatro variedades, donde las variedades mejoradas presentaron mayor concentración de prolina que las originales.

5.3 Ajuste osmótico

El ajuste osmótico se manifiesta cuando las plantas disminuyen su potencial osmótico en respuesta al déficit hídrico, manteniendo la turgencia y permitiendo que la planta pueda sobrevivir en condiciones de estrés hídrico; este proceso permite a las plantas, continuar extrayendo agua a bajos potenciales hídricos del suelo y mantener la turgencia de las células (Al-Dakheel, 1989). En el presente estudio el potencial π disminuyó considerablemente más en las plantas que estuvieron sujetas a déficit hídrico edáfico (S_1 , S_2 y S_3) que en las plantas bajo riego con AN y BN. La disminución en el π fue más acentuada en sequía con mayores deficiencias hídricas del suelo, lo que se reflejó en altos niveles de ajuste osmótico; en S_1 cuando las plantas se encontraban en la etapa vegetativa (40-50 dds) el contenido hídrico del suelo presentó valores cercanos al porcentaje de marchitamiento permanente, lo que se reflejó en síntomas de marchitamiento en las hojas de las plantas y un nivel de ajuste osmótico de 2.06 bares con AN y 2.98 bares con BN, en contraste con los altos niveles de ajuste osmótico observados en S_2 (8.57 bares con AN y 7.56 bares con BN) y S_3 (8.97 bares con AN y 9.13 bares con BN) cuando las plantas se sometieron a sequía (50-70 dds) y estaban próximas al inicio de sus procesos de antesis y floración femenina, y cuando la sequía (70-100 dds) coincidió plenamente con las etapas de floración masculina y femenina, y mostraron síntomas severos de marchitamiento foliar, respectivamente. La capacidad de ajuste osmótico entre genotipos parece estar relacionada con la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, sobre todo cuando las plantas desarrollan niveles de estrés hídrico bajos; el ajuste osmótico promedio de todos los genotipos en S_1 fue 2.1 bares con AN y 3.9 bares con BN; en S_2 fue 8.6 bares con AN y 7.6 bares con BN, y en S_3 fue 9 bares con AN y 9.3 bares con BN; los genotipos con mayor capacidad de ajuste osmótico en S_1 fueron el H-50 y el criollo azul con AN, y el criollo blanco y el H-30 con bajo nitrógeno; en S_2 los genotipos con mayor capacidad de ajuste osmótico fueron el H-50 y H-30 con AN, y H-50 y criollo azul con BN, y en S_3 los genotipos con alto ajuste osmótico fueron el H-28, H-30 y criollo azul con AN, y H-28, H-30 y H-48 con BN; la variabilidad en la acumulación activa de solutos en el citoplasma y la capacidad de ajuste osmótico de las células en respuesta al estrés hídrico ha sido observada en otros estudios; Chimenti *et al.* (2006) determinaron valores de ajuste osmótico de 4.7 y 0.6 bares en líneas S_4 seleccionadas por su alta y baja capacidad de ajuste osmótico, al ser sometidas a un periodo de 30 días de sequía antes o durante la floración en suelo debajo de un techo corredizo

para evitar la caída de lluvia en las unidades experimentales; la respuesta en ajuste osmótico fue más evidente en la población seleccionada por alto ajuste osmótico entre los 16-18 días después de haber suspendido el riego; la línea con alto ajuste osmótico extrajo humedad a mayor profundidad en el perfil del suelo durante el periodo de estrés, exhibió mayor duración del área foliar verde y produjo mayor rendimiento de grano, y tuvo mayor índice cosecha que la línea con bajo ajuste osmótico. La presencia de ajuste osmótico se ha observado también en hojas en expansión y hojas completamente expandidas en plantas de girasol sometidas a estrés hídrico severo con valores de 4 bares con respecto al potencial osmótico de plantas irrigadas y a turgencia completa, sin efectos en la elasticidad de la pared celular (Jones y Turner, 1980). El ajuste osmótico depende fuertemente de la tasa de estrés hídrico de la planta; el ajuste osmótico requiere tiempo para expresarse en la planta y una reducción rápida del estado hídrico de la misma no da tiempo para el ajuste (Turner *et al.*, 1986); esto es significativo cuando se comparan diferentes genotipos en su capacidad de ajuste osmótico. Sin embargo, la importancia del tiempo y la tasa de estrés, para el desarrollo del ajuste osmótico implica que el ajuste osmótico puede no ser un mecanismo de resistencia a sequía muy efectivo bajo condiciones donde el desarrollo de la sequía es por naturaleza muy rápido, por ejemplo en suelos arenosos con baja capacidad de retención de humedad (Blum, 1996).

5.4 Expansión del área foliar durante el ciclo biológico

Las plantas responden al déficit hídrico en forma diferente, dependiendo del tiempo que dure el estrés, la intensidad del estrés y la etapa de desarrollo de la planta, en la que ocurren las deficiencias hídricas. Las deficiencias hídricas durante las etapas iniciales del crecimiento del cultivo reducen el establecimiento de las plántulas, el crecimiento de los tallos y el área foliar en el maíz (Fischer *et al.*, 1984). La cantidad y calidad del crecimiento de la planta depende de la división, elongación y diferenciación celular, y la presencia del estrés hídrico que puede afectar a estos procesos (Kramer, 1983). La reducción en las dimensiones del área foliar fue más acentuada en S₂ cuando las plantas estuvieron sujetas a déficit hídrico (50-70 dds) antes del inicio de la antesis y la floración femenina. Otros trabajos de investigación han mostrado que el desarrollo del área foliar y la tasa fotosintética son más sensibles durante el periodo previo a la floración; la sequía además de reducir el área foliar, disminuye la expansión de los estigmas, tallos, raíces y granos (en este orden); en condiciones de alto

potencial de evapotranspiración, la senescencia foliar se acelera y continúa hacia la parte superior de ésta, disminuyendo aún más la interceptación de radiación solar (Bänziger *et al.*, 2012). También, se ha determinado que periodos prolongados de sequía de hasta 48 días, reducen significativamente las dimensiones del área foliar debido a la disminución de la tasa relativa de expansión foliar (Sobrado, 1991).

Por otra parte, las deficiencias de nitrógeno reducen la fotosíntesis, al disminuir el desarrollo del área foliar y la tasa de fotosíntesis, y acelerar la senescencia de las hojas (Bänziger *et al.*, 2012); en el presente trabajo de investigación, la menor disponibilidad de nitrógeno en el suelo disminuyó el crecimiento foliar de los materiales genéticos utilizados tanto en riego como en sequía. Sin embargo, las diferencias en área foliar fueron más evidentes entre genotipos al observar que variedades en riego como el H-50 con AN y H-50 y criollo blanco con BN produjeron mayor área foliar que los demás genotipos desde las etapas iniciales de crecimiento y mantuvieron esta diferencia hasta la madurez, mientras que en sequía las diferencias ocurrieron en diferentes etapas de desarrollo, por ejemplo en S₁ el H-50 y H-48 con AN tuvieron mayor área foliar durante la parte final del llenado de grano y el H-48 y criollo blanco con BN tuvieron mayor área foliar al inicio del crecimiento de las plantas; en S₂ el H-50 y H-48 con AN y BN produjeron mayor área foliar que los otros genotipos al inicio del crecimiento de las plántulas, y en S₃ H-50 y criollo blanco con AN tuvieron más área foliar al inicio del crecimiento de las plántulas y H-50 con BN tuvo mayor área foliar que los otros materiales desde los 70 dds hasta la madurez fisiológica; la respuesta diferencial a la disponibilidad de nitrógeno en el suelo en riego y sequía, pudo deberse a que al hacerse la aplicación del nitrógeno, al principio del ciclo, el suministro de nitrógeno por lo general es mayor que la cantidad que demanda la planta y entonces ocurre agotamiento de nitrógeno hacia el final del ciclo de la planta (Bänziger *et al.*, 2012).

5.5 Expansión foliar durante la sequía

El estrés hídrico afectó la expansión del área foliar de la planta; el efecto del déficit hídrico fue mayor en las plantas en etapa vegetativa (S₁, 30-40 dds) que cuando la sequía ocurrió previo a la floración (50-70 dds) o durante la floración y el llenado del grano (70-100 dds), debido a que el área foliar de las plantas al inicio del ciclo se encuentran en plena expansión (S₁) y entonces la deficiencia de agua tiene mayor efecto al reducir la velocidad de

elongación de las hojas, que cuando las plantas han extendido completamente el área foliar incluyendo la hoja bandera (S_3), donde el efecto de las deficiencias hídricas tiene menor efecto en la elongación de las hojas; Bänziger *et al.* (2012) determinaron que la sequía durante el periodo anterior a la floración disminuye el desarrollo del área foliar y la tasa fotosintética, y éstas reducciones en el tamaño del área fotosintética y la actividad fotosintética de la planta, se reflejan en una drástica reducción de la producción de mazorcas y granos durante las dos semanas de la floración, y disminuye la fotosíntesis e induce la senescencia prematura de las hojas durante el llenado del grano; estos autores indican además que la producción se puede reducir, debido al mayor consumo de energía y nutrientes provocado por la respuesta de adaptación a la sequía que la planta puede desarrollar, por ejemplo al tener un mayor desarrollo del sistema radical. Sobrado (1990) señala también, que la reducción en el tamaño del área foliar en maíz bajo sequía (sin riego entre 30 y 56 dds y sin riego entre 15 y 56 dds) estuvo más relacionada con la disminución en el tamaño de cada hoja que con una reducción en el tamaño de pocas hojas en la planta; este autor señala también que la reducción en el número y tamaño de los granos por efecto de la sequía se debió a que la reducción en el tamaño del área foliar disminuyó la fuente de carbohidratos para el crecimiento del grano. Los genotipos H-48 y H-50 con alto y bajo nitrógeno tuvieron mayor expansión foliar durante los periodos en los que las plantas estuvieron sometidas a sequía S_1 , S_2 y S_3 que los híbridos H-30 y H-28, y los criollos blanco y azul; Vos *et al.* (2005), al someter plantas del híbrido Lincoln de maíz a dosis de nitrógeno que variaron de 0.5 a 6 g por planta en condiciones de invernadero, observaron que el bajo nitrógeno redujo hasta 29 % el área foliar total y 16 % el área final de la hoja más grande de la planta, lo que confirma la importancia del nitrógeno en la expansión del área foliar en maíz con deficiencias de nitrógeno, al tiempo que esto permite la identificación de genotipos que toleran dichas deficiencias en mayor grado que otros.

5.6 Floración

El desarrollo fenológico es uno de los procesos fisiológicos de las plantas más afectados por el estrés; en S_2 el número de días a antesis o floración masculina y floración femenina aumentó siete días en las plantas con BN y ocho días en las plantas con AN, y en S_3 la antesis y la floración femenina se retrasaron 11 y 20 días con AN, y 11 y 22 días con BN. El intervalo antesis-floración femenina también se vio afectado por las deficiencias de nitrógeno, sobre

todo en presencia de estrés hídrico severo (S_3), donde la asincronía entre las floraciones fue mayor (15 días con AN y 17 días con BN) que en riego (seis días con AN y BN), S_1 (seis días con AN y BN) y S_2 (seis días con AN y BN). Otros estudios mostraron que la sequía retrasó 1.5 días la antesis y tres días la floración femenina con respecto a riego y el intervalo antesis-floración femenina aumentó tres días en líneas S_1 de criollo de Ibarrilla, por efecto de la sequía en condiciones de campo (Reyes-Ramones, 2000) y en condiciones de sequía en invernadero, se determinó que la sequía retrasó 19 días la antesis y 18 días la floración femenina en promedio de cuatro variedades de maíz (Cafime original, Zacatecas 58 original, Cafime SM16 y Zacatecas 58 SM19), sin cambios significativos en el intervalo antesis-floración femenina (Avendaño *et al.*, 2008). En riego, S_1 y S_2 el H-48 y H-50 con AN y BN tuvieron menor número de días a antesis y floración femenina que los demás genotipos y en S_3 el criollo azul tuvo menor número de días a floración masculina y femenina que los otros genotipos; diferencias similares entre híbridos y criollos fueron observadas en condiciones de campo con riego, sequía y alto y bajo nitrógeno, donde los criollos bajo sequía tuvieron menor número de días antesis que los híbridos, sin diferencias entre criollos e híbridos para el número de días a floración femenina y el intervalo antesis-floración femenina (Serrem *et al.*, 2009). Los efectos mayores de la deficiencia hídrica, se manifiestan en el desarrollo floral y fallas en la fertilización y aborto de cigotos (Saini y Westgate, 2000), viabilidad del polen (Schoper *et al.*, 1986), receptividad del estigma (Bassetti y Westgate, 1993) y el proceso de polinización (Ekanayake *et al.*, 1990; Sawhney y Shukla, 1994).

5.7 Materia seca en la parte aérea, rendimiento de grano y sus componentes

La acumulación de materia seca en los órganos aéreos de la planta bajo condiciones de estrés hídrico y bajo nitrógeno, se redujo más drásticamente en el tratamiento de sequía aplicado durante la floración (S_3 , 70-100 dds), al extremo que la asincronía entre la antesis y la floración femenina evitó la fecundación y la formación del grano. La floración ha sido reconocida como la etapa fenológica en la que el maíz es más sensible a la sequía (Grant *et al.*, 1989); el maíz es extremadamente sensible a la sequía desde 2 días antes y hasta 22 días después de la emisión de los estigmas con una máxima sensibilidad a los 7 días; las plantas se pueden volver casi completamente estériles si padecen estrés desde justo antes del espigamiento hasta el inicio del llenado de grano (Grant *et al.*, 1989). El maíz se cree es más

susceptible a la sequía durante la floración que otros cultivos de secano, porque todas la florecillas femeninas se desarrollan al mismo tiempo y, por lo general en una sola mazorca de un solo tallo; a diferencia de otros cereales, en el maíz las flores masculinas y femeninas están separadas por una distancia de hasta un metro, y el polen y el tejido estigmático están expuestos a una atmósfera seca que es hostil a la polinización (Bänziger *et al.*, 2012). Además, y lo que es más importante, el crecimiento de los estigmas y el número de granos al parecer dependen directamente del flujo de los productos fotosintéticos durante las tres semanas de la floración, periodo de sensibilidad extrema (Schussler and Westgate 1995).

Por otra parte, cuando las plantas están también sujetas a baja disponibilidad de nitrógeno durante las etapas reproductivas, la emisión de los estigmas se puede retrasar de 3 a 10 días (Bonaparte, 1975) y se puede reducir la tasa de crecimiento del cultivo y los índices de área foliar antes de la floración, a través de una reducción en la expansión de las hojas (Muchow, 1988). Al disminuir la disponibilidad de nitrógeno, se acelera la tasa de senescencia de las hojas a través del ciclo de la planta (Muchow, 1988; Wolfe *et al.*, 1988b), aunque el impacto de las deficiencias de nitrógeno en la senescencia es más obvio durante el llenado de grano (McCullough *et al.*, 1994). La etapa de desarrollo es importante al interpretar los efectos del estrés por nitrógeno en la productividad de los híbridos modernos debido a que la absorción, removilización y translocación de nitrógeno puede estar fuertemente influenciada por las relaciones fuente-demanda; las tasa de senescencia de las hojas puede acelerarse o retrasarse dependiendo en la demanda, aún en condiciones óptimas de nitrógeno en condiciones de campo (Tollenaar y Daynard, 1982; Wolfe *et al.*, 1988a,b).

La respuesta de las plantas a la sequía y las deficiencias de nitrógeno en el rendimiento de grano y sus componentes varió con la etapa fenológica, la duración y la intensidad del estrés hídrico en los diferentes tratamientos de humedad edáfica; en S₁ (30-40 dds) la reducción en el rendimiento de grano y sus componentes número de granos normales/planta y tamaño de grano, por efecto de la sequía y las deficiencias de nitrógeno fue mucho menor que en S₂ (50-70 dds) y sobre todo S₃ (70-100 dds) donde las plantas prácticamente no produjeron grano. El estrés hídrico redujo el rendimiento de grano/planta y sus componentes en mayor grado que las deficiencias de nitrógeno en todos los genotipos; el potencial de rendimiento se reduce totalmente cuando las plantas sufren estrés hídrico severo durante el periodo de floración y llenado de grano (Nielsen, 2013); la disminución en el rendimiento se debe en gran

medida a una reducción en el número de granos y peso o tamaño de los granos (Hall, 1981; Grant *et al.*, 1989); el aborto de granos y mazorcas al inicio del llenado del grano y la reducción en la fotosíntesis y aceleración de la senescencia durante el llenado del grano (Bänziger *et al.*, 2012); el aborto de los granos como resultado de una disminución en el contenido de agua en el ovario que reduce la viabilidad del grano en desarrollo (Otegui *et al.*, 1995); el peso individual del grano se reduce cuando el estrés hídrico se presenta entre la exposición completa de la hoja bandera y la madurez fisiológica (Nielsen, 2013), y una reducción proporcional entre la biomasa acumulada en la parte aérea y el rendimiento de grano (Sinclair *et al.*, 1990). El híbrido moderno H-48 en riego y sequía en la etapa vegetativa (S₁, 30-40 dds) y antes de iniciar la floración (S₂, 50-70 dds) con alto y bajo nitrógeno tuvo mayor acumulación de materia seca parte aérea, rendimiento de grano, número de granos y tamaño de grano que los demás híbridos y criollos, lo que pone de manifiesto la existencia de materiales que pueden tolerar a la sequía y las deficiencias de nitrógeno durante el ciclo.

5.8 Materia seca en el sistema radical

Las raíces de la planta son los órganos que crecen y se desarrollan en contacto con el suelo, y son las primeras partes de la planta que experimentan los cambios en el contenido hídrico del suelo; las plantas bajo sequía produjeron mayor peso seco de raíces (S₁=29, S₂=52 y S₃= 98 %) que en riego y estas diferencias entre tratamientos de humedad edáfica fueron mayores que las observadas entre niveles de nitrógeno (riego con AN=22 %; S₁ con AN=5 %, S₂ con AN=9 % y S₃ con AN=21 %); la elongación de las raíces en suelos que experimentan pérdidas de humedad está limitada por una combinación de impedancia o resistencia mecánica a la penetración por las raíces y el estrés hídrico; se estima que la elongación de las raíces se reduce 50 % en suelos con resistencia a la penetración >0.8-2 MPa en ausencia de estrés hídrico y potencial matricial de -0.5 MPa en ausencia de impedancia mecánica (Bengough *et al.*, 2011). En general se ha determinado que el estrés hídrico aumenta la proporción de peso seco de raíces a parte aérea (cociente raíz/parte aérea) (Brouwer, 1983), debido a un desbalance en la asignación de materia seca entre las raíces y los órganos aéreos (Lambers, 1983); las diferencias en el potencial de turgencia entre las hojas y las raíces pueden causar diferencias en la tasa de alargamiento entre la raíz y la parte aérea como resultado del estrés hídrico y esto a su vez, podría influir en el desbalance en la asignación de materia seca entre la

raíz y la parte aérea (Schildwacht, 1988). Las plantas en condiciones de alto nitrógeno en el suelo produjeron mayor cantidad de materia seca en el sistema radical que en bajo nitrógeno; Bänziger *et al.* (2012) indican que en condiciones de estrés por deficiencia de nitrógeno, las plantas de maíz favorecen el crecimiento radical más que el crecimiento aéreo y, en consecuencia, la proporción raíz/parte aérea aumenta, sin embargo, señalan que la cantidad absoluta de raíces suele ser menor en plantas que padecen estrés por falta de nitrógeno que las que se siembran con una fertilización de nitrógeno normal.

5.9 Eficiencia en el uso de agua

Un uso eficiente del agua es uno de los principales objetivos en los sistemas agrícolas de secano con limitaciones de humedad; la eficacia con la que las plantas producen materia seca en sus órganos aéreos, raíces y biomasa total puede variar con los genotipos; Briggs y Shantz (1913) por primera vez, observaron que las plantas mostraron diferencias en sus requerimientos de agua para producir materia seca, al crecer en el mismo ambiente, lo que les permitió sugerir que se podrían seleccionar líneas que serían más eficientes en su uso del agua que aquellas utilizadas para la producción comercial. La eficiencia en el uso del agua puede estimarse de diferentes formas según el interés que se tenga para estudiar la variabilidad entre genotipos, por ejemplo se puede calcular la eficiencia en el uso del agua para producir materia seca en la parte aérea de la planta, raíces, biomasa total y grano; la eficiencia en el uso del agua se expresa con mayor nitidez en las plantas sujetas a estrés hídrico, donde la menor disponibilidad de humedad y los mecanismos fisiológicos de las plantas, les permiten desarrollar bajos niveles de conductancia estomática conducentes a un menor costo transpiracional por unidad de CO₂ de fijado durante la fotosíntesis (Farquhar, 1991).

Las plantas de maíz sujetas a estrés hídrico en S₁, S₂ y S₃ tuvieron mayor eficiencia en el uso del agua para producir materia seca en la parte aérea, raíces y biomasa total que en riego, y en S₁ y S₂, además de tener mayor eficiencia en el uso del agua para producir materia seca en la parte aérea, raíces y biomasa total, las plantas bajo sequía tuvieron mayor eficiencia en el uso del agua para producir rendimiento de grano que en riego. Las plantas sometidas a sequía con alto y bajo nitrógeno en general produjeron más raíces que en riego con alto y bajo nitrógeno; cuando se incluyeron las raíces en el cálculo de la eficiencia en el uso del agua para producir biomasa total, se observó que los valores de la eficiencia en el uso del agua fueron

mayores que cuando ésta se calculó para la materia seca producida en la parte aérea, raíces o grano. Resultados similares fueron observados en condiciones de campo con dos genotipos de maíz bajo cinco niveles de humedad (0, 25, 50, 75 y 100 % de la capacidad de campo), donde los mayores valores de eficiencia en el uso del agua con respecto a riego, se observaron en el tratamiento de 50 % de CC y los menores valores de eficiencia en el uso de agua se obtuvieron en el tratamiento de 0 % CC para los dos cultivares. Yenesew y Tilahum (2009) determinaron también, que un contenido de humedad en el suelo del 75 % de CC en condiciones de campo durante el ciclo biológico de las plantas, resultó en un alto nivel de estrés hídrico, alta reducción en el rendimiento de grano y mayores valores de eficiencia en el uso del agua que en riego completo (100 % de CC). En sorgo en condiciones de campo en Rutigliano, Italia, se observó que la mayor sensibilidad del cultivo ocurrió cuando las plantas se sometieron a sequía en la etapa vegetativa con una reducción de 30 % en la producción de biomasa y un mayor valor de eficiencia en el uso del agua que en riego (Mastrorilli *et al.*, 1999).

Al considerar que en los ambientes de secano, los cultivos, además de experimentar estrés por sequía también enfrentan limitaciones por nitrógeno, el mejoramiento genético del rendimiento debe de enfocarse a la selección de cultivares con adaptación a estos estreses ambientales simultáneamente; ejemplos en trigo y soya demuestran la existencia de una relación biológica estrecha entre la adaptación a sequía y una mejor nutrición nitrogenada (Sadras y Richards, 2014). También, se puede considerar como importante además de la identificación de las causas del estrés ambiental, algunos caracteres en la planta que puedan utilizarse en la selección de nuevos cultivares de maíz en condiciones de sequía; en el presente estudio se determinó que algunos caracteres agronómicos, morfológicos y fisiológicos, pueden ser útiles para la selección bajo sequía, por ejemplo; alta capacidad de ajuste osmótico, mantenimiento de la expansión y duración del área foliar fotosintéticamente activa, sincronía entre antesis y floración femenina, número y tamaño del grano, materia seca de la parte aérea, materia seca de raíces, biomasa total (parte aérea + raíces), densidad radical y eficiencia en el uso del agua, para producir rendimiento de grano y biomasa. Es importante considerar además, una rápida capacidad de recuperación a la sequía, generalmente los genotipos que conservan mayor hidratación en condiciones de estrés hídrico, tienden a recuperarse más rápido de la sequía.

6. CONCLUSIONES

La disponibilidad de humedad en los tratamientos de sequía se redujo considerablemente con respecto a riego, siendo mayor ésta reducción en los tratamientos de sequía antes de la floración (S_2) y en la floración (S_3) que en la sequía aplicada en la etapa vegetativa (S_1); las plantas experimentaron mayor nivel de estrés hídrico cuando el riego se suspendió en la floración y durante el llenado del grano (S_3), que cuando el riego se suspendió en las etapas vegetativa (S_1) y antes de la floración (S_2), debido a una mayor reducción en el contenido de humedad aprovechable en el suelo; el efecto de la sequía en la floración fue tan severo que las plantas no produjeron grano.

El potencial, hídrico, osmótico y de turgencia, y el contenido relativo de agua alcanzaron niveles más bajos a medida que el estrés hídrico fue más severo en la planta; los más bajos niveles de potenciales hídrico, osmótico y de turgencia, y contenido relativo de agua ocurrieron en las etapas de floración (S_2) y llenado del grano (S_3) cuando la sequía fue más severa, mostrando un comportamiento similar en las plantas con alto y bajo nitrógeno.

Los genotipos que mantuvieron mayor potencial hídrico y de turgencia, contenido relativo de agua, también desarrollaron una mayor capacidad de ajuste osmótico y mayor capacidad de recuperación al estrés hídrico en condiciones de alto y bajo nitrógeno.

Los genotipos que mantuvieron altos potenciales hídrico y de turgencia, y contenido relativo de agua, desarrollaron mayor capacidad de ajuste osmótico y mantuvieron mayor capacidad de expansión del área foliar y crecimiento del sistema radical; las plantas con alto nitrógeno tuvieron mayor capacidad de ajuste osmótico, lo que se reflejó en mayor capacidad expansión foliar y de raíces que en bajo nitrógeno.

La sequía antes de la floración (S_2) y durante la floración (S_3) retrasó la floración masculina y femenina, siendo mayor el retraso en las plantas bajo sequía durante la floración (S_3); las deficiencias hídricas edáficas también alargaron el intervalo antesis-floración femenina, y éste efecto fue mayor cuando la sequía coincidió con la antesis y la floración femenina (S_3); no se observó efecto de las deficiencias de nitrógeno en el número de días a antesis y floración femenina y el intervalo antesis-floración femenina.

La sequía redujo el rendimiento de grano/planta y sus componentes número de granos normales/planta y peso o tamaño del grano en las plantas bajo sequía en etapa vegetativa (S_1) y antes de la floración (S_2), con una mayor reducción en las plantas con deficiencias de

nitrógeno; en sequía durante la floración (S_3) las plantas no produjeron rendimiento de grano en alto o bajo nitrógeno.

En sequía (S_1 , S_2 y S_3) las plantas tuvieron mayor eficiencia en el uso del agua (g de materia seca/kg de agua transpirada), para producir mayor rendimiento de grano (EUA_{RG}), materia seca en la parte aérea (EUA_{MSPA}) y raíces (EUA_{MSR}), y biomasa total (EUA_{BM}) (parte aérea + raíces) por unidad de agua transpirada que en riego; la eficiencia en el uso del agua para producir rendimiento de grano, materia seca en la parte aérea, materia seca en raíces y biomasa total fue mayor en las plantas con alto nitrógeno.

En promedio las variedades híbridas superaron a las variedades criollas en su capacidad de ajuste osmótico y recuperación a la sequía, así como otras características que determinaron su mayor desarrollo del área foliar y raíces, y su mejor comportamiento en rendimiento de grano y sus componentes, y su mayor eficiencia en el uso del agua para producir rendimiento de grano y biomasa en condiciones de sequía y deficiencias de nitrógeno.

7. REFERENCIAS

- Acevedo, E., T.C. Hsiao and D.W. Henderson. 1971. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. *Plant Physiology* 48: 631-636.
- Acciaresi, H.A., M.S. Zuluaga, M.E. Yannicari and J.J. Guiamet. 2012. *Zea mays* and *Sorghum halepense* water competition and their impact on leaf gas exchange. *Ecosistemas* 21: 103-109.
- Al-Dakheel A.J. 1989. Osmotic Adjustment: A selection criterion for drought tolerance. *In*: E. Acevedo, A. P. Conesa, P. Monneveux and J.P. Srivastava (eds). *Physiology-breeding of winter cereals for stressed Mediterranean environments*. Les Colloques No. 55, INRA, Montpellier (France). July 3-6, 1989 Pp. 337-368.
- Aspinall, D. 1986. Metabolic effects of water and salinity stress in relation to expansion of the leaf surface. *Australian Journal of Plant Physiology* 13: 59-73.
- Avendaño-Arrazate, C.H., C. Trejo-López, C. López-Castañeda, J.D. Molina-Galán, A. Santacruz-Varela y F. Castillo-González. 2005. Comparación de la tolerancia a la sequía de cuatro variedades de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con la acumulación de prolina. *Interciencia* 30: 560-564.
- Avendaño-Azarrate, C.H., J.L. Molina-Galán, C. Trejo-López, C. López-Castañeda y I. Cadena-Iñiguez. 2008. Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz. *Agronomía Mesoamericana* 19: 27-37.
- Babu, R.C., M.S. Pathan, A. Blum and H.T. Nguyen. 1999. Comparison of measurement methods of osmotic adjustment in rice cultivars. *Crop Science* 39: 150-158.
- Bänziger, M., G.O. Edmeades, D. Beck y M. Bellon. 2012. Mejoramiento para aumentar la tolerancia a sequía y a deficiencia de nitrógeno en el maíz: De la teoría a la práctica. México, D.F.: CIMMYT. 61 p.
- Barrios-Gómez, E.J. y C. López-Castañeda. 2009. Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. *Agrociencia* 43: 29-35.
- Barrios-Gómez, E.J., C. López-Castañeda y J. Kohashi-Shibata. 2011. Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo “Flor de Mayo”. *Agronomía Costarricense* 35: 131-145.
- Bassetti, P. and M.E. Westgate. 1993. Water deficit affects receptivity of maize silks. *Crop Science* 33: 279-282.

- Biasutti, C.A., y V.A. Galiñanes. 2001. Influencia del ambiente de selección sobre la germinación de semillas de maíz (*Zea mays L.*) bajo estrés hídrico. I. Relaciones entre caracteres de plántula con el rendimiento a campo. *AgriScientia* 18: 37-44.
- Bidinger, F.R., V. Mahalakshmi and G.D.P. Rao. 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet [*Pennisetum americanum (L.)* Leeke]. II. Estimation of genotype response to stress. *Australian Journal of Agricultural Research* 38: 49-59.
- Begg, J.E. and N.C. Turner. 1976. Crop water deficits. *Advances in Agronomy* 28: 161-217.
- Bengough, A.G., B.M. McKenzie, P.D. Hallett and T.A. Valentine. 2011. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: A review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *Journal of Experimental Botany* 62: 59-68.
- Bennett, J.M., L.S.M Mutti, P.S.C. Rao and J.W. Jones. 1989. Interactive effects of nitrogen and water stresses on biomass accumulation, nitrogen uptake, and seed yield of maize. *Field Crops Research* 19: 297-311.
- Blum, A. 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regulation* 20: 135-148.
- Bolaños, J. and G.O. Edmeades. 1993. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. I. Responses in grain yield, biomass, and radiation utilization. *Field Crops Research* 31: 233-252.
- Bolaños, J., G.O. Edmeades and L. Martinez. 1993. Eight cycles of selection for drought tolerance in tropical maize. III. Responses in drought-adaptive physiological and morphological traits. *Field Crops Research* 31: 269-286.
- Bolaños, J. and G.O. Edmeades. 1990. CIMMYTs' strategies in breeding for drought tolerance in tropical maize: *In*: P.W. Unger, W.R. Jordan, T.V. Sneed and R.W. Jensen (eds.). *Challenges in Dryland Agriculture - A global Perspective*. Proceedings of the International Conference on Dryland Farming. Texas Agricultural Experiment Stations, College Station, Texas, U.S.A. Pp. 752- 754.
- Bolaños., J. and G.O. Edmeades. 1996. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Field Crops Research* 48: 65-80.
- Bonaparte, E.E.N.A. 1975. The effects of temperature, daylength, soil fertility and soil moisture on leaf numbers and duration to tassel emergence in *Zea mays L.* *Annals of Botany* 39: 853-861.

- Boyer, J.S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiology* 46: 233-235.
- Boyle, M.G., J.S. Boyer and P.W. Morgan. 1991. Stem infusion of liquid culture medium prevents reproductive failure of maize at low water potential. *Crop Science* 31: 1246-1252.
- Briggs, L.J. and H.L. Shantz. 1913. The water requirements of plants. I. Investigations in the Great Plains in 1910 and 1911. Department of Agriculture, Division of Plant Industry-Bulletin No. 284. Washington, U.S.A 1913. Pp. 3-49.
- Brouwer, R. 1983. Functional equilibrium: sense or nonsense? *Netherlands Journal. Agricultural Sciences* 31: 335-348.
- Chimenti, C.A., M. Marcantonio and A.J. Hall. 2006. Divergent selection for osmotic adjustment results in improved drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) in both early growth and flowering phases. *Field Crops Research* 95: 305-315.
- Chloupek, O. 1972. The relationship between electric capacitance and some other parameters of plant roots. *Biologia Plantarum* 14: 227-230.
- Chloupek, O. 1977. Evaluation of the size of a plant's root system using its electrical capacitance. *Plant and Soil* 48: 525-532.
- Dalcin-Martins, S., R. Carlesso, A.E. Knies, Z.B. de Oliveira, T. Broetto y G.J. Rodríguez. 2010. Potencial hídrico foliar em milhos submetido ao deficit hídrico. *Irriga, Botucatu* 15: 324-334.
- Ding, L., K.J. Wang, G.M. Jiang, D.K. Biswas, H. Xu, L.F. Li, and Y.H. Li. 2005. Effects of nitrogen deficiency on photosynthetic traits of maize hybrids released in different years. *Annals of Botany* 96: 925-930.
- Edmeades, G.O., J. Bolaños, H.R. Lafitte, S. Rajaram, W. Pfeiffer and R.A. Fischer. 1989. Traditional approaches to breeding for drought resistance in cereals. *In: F.W.G. Baker* (ed.). *Drought Resistance in Cereals*. CAB International, U.K. Pp. 27-52.
- Ekanayake, I.J., P.L. Steponkus and S.K. De Datta. 1990. Sensitivity of pollination to water deficits at anthesis in upland rice. *Crop Science* 30: 310-315.
- Farquhar, G.D. 1991. Use of stable isotopes in evaluating plant water use efficiency. *In: Proceedings of an International Symposium on the Use of Stable Isotopes in Plant Nutrition, Soil Fertility and Environmental Studies*. International Atomic Energy

- Agency and the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Vienna Austria. 1-5 October, 1990. Pp. 475-488.
- Fischer, K.S., E.C. Jonson y G.O. Edmeades. 1984. Mejoramiento y selección de maíz tropical para incrementar su resistencia a sequía. CIMMYT, El Batán, México. 20 p.
- Galván-Tovar, M., J. Kohashi-Shibata, C. López-Castañeda, J.A Acosta-Gallegos, A. Martínez-Garza † y A. García-Esteva. 2006. Equilibrio en el potencial hídrico al amanecer entre hojas de frijol común bajo déficit hídrico edáfico. *Ingeniería Hidráulica en México* 21: 69-81.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). México, D.F. 217 p.
- Grant, R.F., B.S. Jackson, J.R. Kiniry and G.F. Arkin. 1989. Water deficit timing effects on yield components in maize. *Agronomy Journal* 81: 61-65.
- Hall, A.E. 1981. Adaptation for annual plants to drought in relation to improvements in cultivars. *HortScience* 16: 37-38.
- Jones, M.M. and N.C. Turner. 1980. Osmotic adjustment in expanding and fully expanded leaves of sunflower in response to water deficits. *Australian Journal of Plant Physiology* 7: 181-192.
- Jensen, S. 1995. Genetic improvement of maize for drought tolerance. *In: D.C. Jewell, S.R. Waddington, J.K. Ransom and K.V. Pixley (eds.) 1995. Maize Research for Stress environments. Proceedings of the Fourth Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference, held at Harare, Zimbabwe, 28 March - 1 April, 1994. Mexico, D.F. CIMMYT, Pp. 67-75.*
- Kim, K.I., D.E. Clay, C.G. Carlson, S.A. Clay and T. Trooien. 2008. Do synergistic relationships between nitrogen and water influence the ability of corn to use nitrogen derived from fertilizer and soil? *Agronomy Journal* 100: 551-556.
- Kramer, P.J. 1983. Water relations of plants. Academic Press, Inc. New York, U.S.A. 489 p.
- Lafitte, H.R. and M. Bänziger. 1994. Strategies that improve maize varietal performance under low N: Progress due to selection. *In: D.C. Jewell, S.R. Waddington, J.K. Ransom and K.V. Pixley (eds.).1995. Maize Research for Stress Environments. Proceedings of the Fourth Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference, held at Harare, Zimbabwe, 28 March - 1 April 1994. México, D.F. CIMMYT, Pp. 57-63.*

- Lambers, H. 1983. "The functional equilibrium", nibbling on the edges of a paradigm. Netherlands Journal of Agricultural Sciences 31: 305-311.
- Mastrorilli, M., N. Katerji and G. Rana. 1999. Productivity and water use efficiency of sweet sorghum as affected by soil water deficit occurring at different vegetative growth stages. European Journal of Agronomy 11: 207-215.
- McCullough, D.E., Ph. Girardin, M. Mihajlovic, A. Aguilera and M. Tollenaar. 1994. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and a new maize hybrid. Canadian Journal of Plant Science 74: 471-477.
- Miles, C.A. 1993. Divergent selection of sweet corn (*Zea mays L.* var. *Saccharata*) under low and conventional nitrogen environments. *PhD*. Dissertation, Cornell University. 290 p.
- Morgan, J.M. 1995. Growth and yield of wheat lines with different osmoregulative capacity at high soil water deficit in seasons of varying evaporative demand. Field Crops Research 40: 143-152.
- Moser, S.B., B. Feil, S. Jampatong and P. Stamp. 2006. Effects of pre-anthesis drought, nitrogen fertilizer rate, and variety on grain yield, yield components, and harvest index of tropical maize. Agricultural Water Management 81: 41-58.
- Moss, G.I. and L.A. Downey. 1971. Influence of drought stress on female gametophyte development in corn (*Zea mays L.*) and subsequent grain yield. Crop Science 11: 368-372.
- Muchow, R. C. 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment III: Grain yield and nitrogen accumulation. Fields Crops Research 18: 31-43.
- Ngure M. 1995. Strategies for increasing maize production in moisture stress areas of eastern Kenya. *In*: D.C. Jewell, S.R. Waddington, J.K. Ransom and K.V. Pixley (eds.). 1995. Maize Research for Stress Environments. Proceedings of the Fourth Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference, held at Harare, Zimbabwe, 28 March - 1 April 1994. México, D.F. CIMMYT, Pp. 76-80.
- Nielsen, R.L. 2013. Effects of stress during grain filling in corn. Corny News Network Articles Department of agronomy, Purdue University.
- Norwood, C.A. 2000. Water use and yield of limited-irrigated and dryland corn. Soil Science Society of America Journal 64: 365-370.

- Ogola, J.B.O., T.R. Wheeler and P.M. Harris. 2002. Effects of nitrogen and irrigation on water use of maize crops. *Field Crops Research* 78: 105-117.
- O'Neill, P.M., J.F. Shanahan, J.S. Schepers and B. Caldwell. 2004. Agronomic responses of corn hybrids from different eras to deficit and adequate levels of water and nitrogen. *Agronomy Journal* 96: 1660-1667.
- Otegui M.E., F.H. Andrade and E.E. Suero. 1995. Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Research* 40: 87-94.
- Reyes-Ramones R.E., J.L. Rodríguez-Ontiveros † y C. López-Castañeda. 2000. Resistencia a sequía de líneas S₁ derivadas de la variedad de maíz criollo de Ibarilla. *Agricultura Técnica en México* 26: 159-172.
- Rhoads, F.M. and J.M. Bennett. 1990. Corn. *In*: B.A. Stewart and D.R. Nielsen (Co-eds.). *Irrigation of Agricultural Crops*. American Society of Agronomy. Madison, WI, U.S.A. Pp. 569-596.
- Sadras V.O and R.A Richards. 2014. Improvement of crop yield in dry environments: benchmarks, levels of organisation and the role of nitrogen. *Journal of Experimental Botany* 65: 1981-1995.
- SAGARPA. 2012. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. (<http://www.siap.org/Anuarios/Agricolas.DDR>, consultado; Agosto, 2014).
- Saini, H.S and M.E. Westgate. 2000. Reproductive development in grain crops during drought. *Advances in Agronomy* 68: 59-96.
- SAS. 2002. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Sawhney, V.K and A. Shukla. 1994. Male sterility in flowering plants: Are plant growth substances involved? *American Journal of Botany* 81: 1640-1647.
- Sayed, H.I and A.M. Gadallah. 1983. Variation in dry matter and grain filling characteristics in wheat cultivars. *Field Crops Research* 7: 61-71.
- Schussler, J.R. and M.E. Westgate. 1991. Maize kernel set at low water potential: I. Sensitivity to reduced assimilates during early kernel growth. *Crop Science* 31: 1189-1195.
- Schussler, J.R and M.E. Westgate. 1995. Assimilate flux determines kernel set at low water potential in maize. *Crop Science* 35: 1074-1080.

- Schoper, J.B., R.J. Lambert, B.L. Vasilas. 1986. Maize pollen viability and ear receptivity under water and high temperature stress. *Crop Science* 26: 1029-1033.
- Schildwacht, G. 1988. Changes in the osmotic potential of the roots as factor in the decrease in the root-shoot ratio of *Zea mays* plants under water stress. *Plant and Soil* 111: 271-275.
- Serrem, C.K., C. López-Castañeda y J. Kohashi-Shibata. 2009. Efecto del nivel de humedad y nitrógeno en el suelo en el comportamiento de maíces híbridos y criollos de los Valles Altos de México. *Agronomía Costarricense* 33: 103-120.
- Sharp, R.E. and W.J. Davies. 1979. Solute regulation and growth by roots and shoots of water-stressed maize plants. *Planta* 147: 43-49.
- Silva-Robledo, H., M. Ortiz-Lizana y E. Acevedo-Hinojosa. 2007. Relaciones hídricas y ajuste osmótico en trigo. *Agrociencia* 41: 23-34.
- Sinclair, T.R. 1990. Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field-grown maize. *Crop Science* 30: 690-693.
- Smith, M.E. and R.W. Zobel. 1991. Plant genetic interactions in alternative cropping systems: Considerations for breeding methods. *In: D.A. Sleper et al.* (eds.), *Plant Breeding and Sustainable Agriculture: Considerations for Objectives and Methods*. CSSA Special Publication No. 18. Madison, WI. U.S.A. Pp. 57-81.
- Smith M.E., C.A. Miles and van J. Been. 1995. Genetic improvement of maize for nitrogen use efficiency. *In: D.C. Jewell, S.R. Waddington, J.K. Ransom and K.V. Pixley* (eds.). 1995. *Maize Research for Stress Environments*. Proceedings of the Fourth Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference, held at Harare, Zimbabwe, 28 March - 1 April 1994. México, D.F. CIMMYT, Pp. 76-80.
- Sobrado, M.A. 1990. Drought responses of tropical corn. I. Leaf area and yield components in the field. *Maydica* 35: 221-226.
- Sobrado, M.A. 1991. Aspectos fisiológicos de las respuestas de dos cultivares de maíz tropical al déficit hídrico. *Agronomía Tropical* 41: 23-42.
- Tollenaar, M. and T.B. Daynard. 1982. Effect of source-sink ratio on dry matter accumulation and leaf senescence of maize. *Canadian Journal Plant Science* 62: 855-860.
- Tollenaar, M. and T.B. Daynard. 1978. Kernel growth and development at two positions on the ear of maize (*Zea mays*). *Canadian Journal Plant Science* 58: 189-197.

- Turner, N.C. 1974. Stomatal behavior and water status of maize, sorghum, and tobacco under field conditions. II. At low soil water potential. *Plant Physiology* 53: 360-365.
- Turner, N.C., A.B. Heam, J.E. Begg, and G.A. Constable. 1986. Cotton (*Gossypium hirsutum* L.): Physiological and morphological responses to water deficits and their relationship to yield. *Field Crops Research* 14: 153-170.
- Velázquez-Márquez, S., 2014. Expresión de proteínas y determinación de carbohidratos en maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de estrés hídrico. Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 156 p.
- Vos, J., P.E.L. van der Putten and C.J. Birch. 2005. Effect of nitrogen supply on leaf appearance, leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in maize (*Zea mays* L.). *Field Crops Research* 93: 64-73.
- Westgate, M.E. and J.S. Boyer. 1986. Reproduction at low silk and pollen water potentials in maize. *Crop Science* 26: 951-956.
- Wolfe, D.W., D.W. Henderson, T.C. Hsiao and A. Alvino. 1988a. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. I. Leaf area duration, nitrogen distribution and yield. *Agronomy Journal* 80: 859-864.
- Wolfe, D.W., D.W. Henderson, T.C. Hsiao, and A. Alvino. 1988b. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. II. Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. *Agronomy Journal* 80: 865-870.
- Yenesew, M. and K. Tilahun. 2009. Yield and water use efficiency of deficit-irrigated maize in a semi-arid region of Ethiopia. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development* 9: 1635-1651.
- Zobel, R.W. 1975. The genetics of root development. *In*: J.G. Torrey and D.F. Clarkson (eds.). *The Development and Function of Roots*. Academic Press, London. Pp. 261-275.
- Zobel, R.W. 1989. Steady-state control and investigation of root system morphology. *In*: J.G. Torrey and L. Winship (eds.). *Steady-State and Continuous Control of Root Growth*. Kluwer Academic Publishers, Amsterdam. Pp. 165-182.
- Zobel, R.W. 1991. Genetic control of root systems. *In*: Y. Waisel, A. Eshel and U. Kafhafi (eds.). *Plant Roots: The Hidden Half*. Marcel Dekker, New York. Pp. 27-38.

8. APÉNDICE

8.1 Cuadros del apéndice

Cuadro 1A. Potencial hídrico (ψ , bares) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S₁), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.

Tratamientos de humedad edáfica y nitrógeno/ genotipos	Días después de la siembra			
	30	35	40	41
Riego				
Alto nitrógeno				
H-50	-3.9	-4.9	-3.9	-2.9
H-48	-2.9	-3.9	-3.4	-3.4
H-30	-1.9	-1.4	-2.4	-3.4
H-28	-2.4	-1.4	-2.4	-2.9
Criollo Blanco	-1.4	-1.9	-2.4	-1.4
Criollo Azul	-1.4	-1.4	-1.9	-2.9
Media	-2.3	-2.5	-2.7	-2.8
DMS (P≤0.05)	3.5	7.2	5.3	3.1
Bajo nitrógeno				
H-50	-1.9	-1.9	-3.4	-3.9
H-48	-2.4	-2.9	-2.9	-3.9
H-30	-2.4	-2.4	-3.1	-3.9
H-28	-1.9	-2.4	-1.9	-2.9
Criollo Blanco	-0.9	-1.4	-2.4	-1.9
Criollo Azul	-1.9	-1.4	-1.4	-1.9
Media	-1.9	-2.1	-2.1	-3.1
DMS (P≤0.05)	1.5	5.2	5.3	3.9
Sequia 1				
Alto nitrógeno				
H-50	-4.4	-10.7	-16.6	-5.8
H-48	-3.4	-10.7	-17.1	-5.8
H-30	-1.9	-13.3	-16.1	-6.3
H-28	-1.9	-14.2	-17.1	-6.8
Criollo Blanco	-2.9	-13.9	-15.6	-3.9
Criollo Azul	-1.9	-11.2	-17.1	-6.3
Media	-2.7	-12.4	-16.6	-5.8
DMS (P≤0.05)	4.4	8.6	4.9	3.2
Bajo nitrógeno				
H-50	-4.9	-16.2	-17.6	-4.9
H-48	-3.4	-12.6	-17.6	-5.8
H-30	-2.9	-11.7	-15.2	-5.8
H-28	-2.9	-13.2	-15.1	-6.3
Criollo Blanco	-4.4	-14.2	-16.1	-4.4
Criollo Azul	-2.9	-12.7	-15.7	-4.9
Media	-3.6	-13.4	-16.5	-5.4
Media general	-2.6	-13.4	-16.5	-5.4
DMS (P≤0.05)	2.6	7.3	5.7	1.5

Cuadro 2A. Potencial hídrico (ψ , bares) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S₂), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.

Tratamientos de humedad edáfica y nitrógeno/ genotipos	Días después de la siembra					
	50	55	60	65	70	71
Riego						
Alto nitrógeno						
H-50	-4.4	-3.4	-5.4	-5.9	-6.4	-4.9
H-48	-2.9	-2.9	-6.4	-5.9	-6.4	-5.4
H-30	-2.9	-2.9	-5.4	-5.9	-6.4	-5.4
H-28	-2.9	-2.5	-4.9	-6.4	-5.9	-5.9
Criollo Blanco	-2.9	-2.9	-5.9	-6.9	-7.4	-5.9
Criollo Azul	-2.0	-2.9	-4.9	-5.4	-7.4	-6.9
Media	-3.0	-2.9	-5.5	-6.1	-6.6	-5.7
DMS (P≤0.05)	3.7	3.1	4.1	4.5	4.5	3.6
Bajo nitrógeno						
H-50	-3.4	-2.9	-4.9	-5.4	-6.4	-5.4
H-48	-3.9	-2.9	-4.4	-5.4	-5.4	-4.9
H-30	-3.4	-2.0	-4.4	-5.4	-5.4	-4.4
H-28	-2.9	-2.9	-4.4	-5.9	-5.4	-4.9
Criollo Blanco	-3.4	-3.9	-5.4	-5.9	-4.9	-5.4
Criollo Azul	-2.5	-2.9	-3.9	-5.9	-5.9	-4.4
Media	-3.3	-2.9	-4.6	-5.6	-5.6	-4.9
DMS (P≤0.05)	3.6	2.4	2.7	3.5	2.4	1.5
Sequia 2						
Alto nitrógeno						
H-50	-5.4	-17.2	-19.8	-24.0	-27.0	-5.9
H-48	-4.9	-17.2	-23.1	-24.5	-28.0	-11.3
H-30	-3.9	-16.7	-20.5	-25.5	-29.4	-10.8
H-28	-3.9	-16.7	-24.0	-26.5	-31.9	-7.4
Criollo Blanco	-3.9	-17.7	-23.1	-25.0	-28.0	-9.8
Criollo Azul	-4.4	-17.7	-24.5	-26.0	-28.9	-10.8
Media	-4.4	-17.2	-22.5	-25.3	-28.9	-9.3
DMS (P≤0.05)	3.1	3.6	5.6	2.2	2.9	7.9
Bajo nitrógeno						
H-50	-4.4	-17.7	-21.1	-22.6	-27.5	-4.9
H-48	-5.4	-18.2	-24.0	-24.5	-28.5	-8.3
H-30	-2.9	-18.2	-24.5	-25.5	-28.5	-10.3
H-28	-3.9	-19.1	-23.1	-24.5	-28.5	-6.9
Criollo Blanco	-3.4	-17.7	-20.6	-24.5	-28.9	-10.3
Criollo Azul	-3.4	-18.6	-20.5	-25.0	-28.5	-10.8
Media	-3.9	-18.2	-22.3	-24.4	-28.4	-8.6
Media general	-3.7	-10.3	-14.2	-15.4	-17.4	-7.1
DMS (P≤0.05)	2.4	6.1	4.4	4.8	5.4	10.8

Cuadro 3A. Potencial hídrico (ψ , bares) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S₃), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.

Tratamientos de humedad edáfica y nitrógeno/ genotipos	Días después de la siembra							
	70	75	80	85	90	95	100	101
Riego								
Alto nitrógeno								
H-50	-4.4	-4.4	-4.4	-3.4	-3.9	-4.9	-3.9	-3.9
H-48	-4.9	-3.9	-4.9	-3.9	-4.4	-4.4	-5.4	-5.4
H-30	-4.9	-4.9	-5.9	-5.4	-4.9	-4.9	-4.9	-4.9
H-28	-2.9	-4.4	-4.4	-3.9	-4.4	-4.9	-5.4	-5.9
Criollo Blanco	-3.9	-3.6	-4.4	-3.9	-4.4	-4.4	-3.9	-4.4
Criollo Azul	-4.4	-5.0	-5.4	-4.4	-4.9	-4.9	-4.9	-4.9
Media	-4.3	-4.4	-4.9	-4.2	-4.5	-4.7	-4.7	-4.9
DMS (P≤0.05)	5.8	1.8	4.6	4.4	2.3	4.1	1.9	1.5
Bajo nitrógeno								
H-50	-4.9	-3.4	-4.4	-3.4	-4.4	-3.9	-4.9	-4.4
H-48	-3.9	-4.0	-3.9	-3.4	-4.4	-5.4	-4.9	-5.4
H-30	-3.4	-3.9	-4.9	-3.4	-4.4	-4.9	-4.9	-4.9
H-28	-2.5	-4.9	-5.9	-5.4	-5.9	-5.4	-5.4	-5.9
Criollo Blanco	-4.4	-3.9	-4.4	-4.9	-4.4	-3.9	-4.9	-3.9
Criollo Azul	-3.4	-4.4	-5.4	-4.4	-5.4	-4.9	-4.9	-5.4
Media	-3.8	-4.0	-4.8	-4.2	-4.8	-4.7	-5.0	-5.0
DMS (P≤0.05)	1.6	1.2	5.1	2.9	2.5	4.1	2.9	1.6
Sequia 3								
Alto nitrógeno								
H-50	-6.4	-14.2	-17.2	-24.0	-25.0	-26.5	-28.9	-15.3
H-48	-8.3	-15.7	-18.7	-23.1	-24.0	-26.5	-29.4	-18.2
H-30	-7.9	-14.7	-17.7	-20.6	-23.5	-26.0	-29.4	-19.7
H-28	-4.4	-15.7	-18.7	-24.7	-25.5	-28.5	-30.9	-18.7
Criollo Blanco	-7.4	-14.2	-18.2	-23.5	-25.5	-28.0	-28.5	-14.3
Criollo Azul	-3.9	-11.7	-16.7	-23.0	-25.0	-26.5	-28.0	-18.2
Media	-6.4	-14.4	-17.9	-23.2	-24.8	-27.0	-29.2	-17.4
DMS (P≤0.05)	12.4	6.0	5.8	6.5	4.1	3.1	5.7	1.3
Bajo nitrógeno								
H-50	-7.4	-13.7	-17.7	-24.0	-25.0	-26.5	-28.5	-15.3
H-48	-6.9	-10.7	-17.7	-23.0	-25.0	-28.0	-30.9	-18.2
H-30	-9.3	-13.1	-18.1	-21.2	-25.0	-28.5	-29.9	-19.2
H-28	-5.9	-11.7	-16.7	-21.3	-25.5	-27.5	-30.9	-19.7
Criollo Blanco	-6.9	-11.2	-18.2	-22.0	-25.5	-26.5	-28.5	-13.8
Criollo Azul	-5.4	-12.7	-16.7	-20.5	-25.0	-27.0	-28.9	-17.2
Media	-7.0	-12.2	-17.5	-22.0	-25.2	-27.3	-29.6	-17.2
Media general	-5.3	-8.7	-11.3	-13.4	-25.2	-27.3	-29.6	-15.7
DMS (P≤0.05)	3.4	1.5	0.8	2.6	2.6	1.9	1.5	2.3

Cuadro 4A. Potencial osmótico (π , bares) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S₁), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.

Tratamientos de humedad edáfica y nitrógeno/ genotipos	Días después de la siembra			
	30	35	40	41
Riego				
Alto nitrógeno				
H-50	-13.1	-15.2	-14.6	-14.7
H-48	-13.9	-14.5	-15.9	-15.5
H-30	-13.1	-13.6	-15.4	-14.2
H-28	-13.6	-14.4	-15.1	-15.0
Criollo Blanco	-13.8	-14.6	-14.8	-14.3
Criollo Azul	-13.7	-14.9	-15.2	-15.0
Media	-13.5	-14.5	-16.5	-14.8
DMS (P≤0.05)	7.5	10.1	4.4	5.3
Bajo nitrógeno				
H-50	-13.3	-14.6	-15.1	-15.3
H-48	-12.4	-17.0	-14.7	-15.3
H-30	-12.2	-14.3	-13.8	-14.4
H-28	-12.6	-15.6	-14.7	-15.2
Criollo Blanco	-12.5	-14.8	-13.7	-13.9
Criollo Azul	-15.1	-17.8	-16.2	-15.2
Media	-13.0	-15.7	-14.7	-14.9
DMS (P≤0.05)	6.4	9.8	2.7	4.5
Sequia 1				
Alto nitrógeno				
H-50	-14.1	-15.1	-20.5	-15.0
H-48	-14.5	-15.5	-19.1	-16.5
H-30	-13.4	-15.2	-16.7	-15.0
H-28	-14.9	-16.1	-17.6	-15.8
Criollo Blanco	-14.0	-14.7	-16.0	-13.8
Criollo Azul	-14.3	-15.1	-20.9	-15.2
Media	-14.2	-15.1	-18.3	-15.2
DMS (P≤0.05)	8.2	11.2	9.6	4.7
Bajo nitrógeno				
H-50	-15.3	-17.8	-18.8	-15.7
H-48	-13.0	-14.8	-19.2	-14.2
H-30	-14.4	-15.4	-18.3	-15.6
H-28	-14.0	-14.9	-16.9	-14.6
Criollo Blanco	-15.0	-16.5	-18.5	-15.5
Criollo Azul	-15.2	-17.0	-19.9	-15.8
Media	-14.5	-16.1	-18.6	-15.2
Media general	-13.8	-15.4	-17.0	-15.0
DMS (P≤0.05)	7.8	9.5	2.9	4.2

Cuadro 5A. Potencial osmótico (π , bares) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S₂), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.

Tratamientos de humedad edáfica y nitrógeno/ genotipos	Días después de la siembra					
	50	55	60	65	70	71
Riego						
Alto nitrógeno						
H-50	-12.5	-12.8	-13.4	-12.3	-11.1	-16.0
H-48	-12.5	-11.8	-13.1	-16.2	-15.0	-15.2
H-30	-11.6	-11.1	-13.7	-12.7	-10.9	-11.0
H-28	-13.6	-10.1	-11.7	-11.6	-12.9	-14.4
Criollo Blanco	-12.4	-11.9	-12.1	-14.3	-11.4	-12.9
Criollo Azul	-12.8	-14.4	-12.8	-15.1	-13.3	-12.1
Media	-12.6	-12.0	-12.8	-13.7	-12.4	-13.6
DMS (P \leq 0.05)	5.5	7.3	7.6	12.6	4.5	8.4
Bajo nitrógeno						
H-50	-12.1	-13.4	-13.0	-15.2	-12.0	-14.1
H-48	-11.9	-11.5	-12.4	-14.2	-11.2	-11.7
H-30	-13.2	-13.1	-13.8	-13.4	-12.0	-13.6
H-28	-11.3	-10.7	-11.2	-13.5	-13.1	-14.2
Criollo Blanco	-11.8	-12.9	-12.8	-14.9	-12.7	-13.2
Criollo Azul	-13.3	-12.0	-12.1	-15.5	-13.1	-12.1
Media	-12.3	-12.3	-12.5	-14.5	-12.4	-13.1
DMS (P \leq 0.05)	4.2	9.2	5.6	6.6	6.4	5.5
Sequia 2						
Alto nitrógeno						
H-50	-13.3	-14.7	-17.1	-20.2	-21.4	-15.9
H-48	-14.6	-16.4	-18.8	-20.1	-21.0	-16.3
H-30	-13.1	-15.4	-15.6	-19.6	-21.7	-15.7
H-28	-12.5	-15.3	-15.3	-17.2	-20.2	-15.8
Criollo Blanco	-14.0	-16.6	-17.1	-18.9	-21.6	-14.6
Criollo Azul	-13.0	-16.5	-17.1	-17.6	-20.0	-13.8
Media	-13.4	-15.8	-16.8	-19.0	-21.0	-15.3
DMS (P \leq 0.05)	1.7	6.6	11.2	13.1	12.2	10.4
Bajo nitrógeno						
H-50	-12.7	-16.6	-18.8	-19.2	-22.4	-14.8
H-48	-9.7	-16.1	-17.4	-17.9	-18.3	-15.9
H-30	-11.7	-15.1	-18.5	-19.6	-20.0	-13.6
H-28	-11.4	-13.9	-16.5	-16.6	-17.2	-11.5
Criollo Blanco	-13.7	-15.0	-16.6	-20.0	-21.2	-16.5
Criollo Azul	-14.4	-16.3	-16.7	-19.5	-21.6	-14.8
Media	-12.3	-15.5	-17.4	-18.8	-20.1	-14.5
Media general	-12.6	-13.9	-14.9	-16.5	-16.47	-14.1
DMS (P \leq 0.05)	7.7	5.2	2.9	7.9	5.9	7.6

Cuadro 6A. Potencial osmótico (π , bares) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S₃), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.

Tratamientos de humedad edáfica y nitrógeno/ genotipos	Días después de la siembra							
	70	75	80	85	90	95	100	101
Riego								
Alto nitrógeno								
H-50	-11.6	-13.5	-14.5	-16.1	-14.3	-14.9	-14.6	-14.9
H-48	-14.5	-14.1	-15.1	-15.2	-15.3	-15.0	-15.0	-15.0
H-30	-12.1	-12.7	-13.7	-14.5	-15.2	-13.7	-14.8	-13.5
H-28	-12.9	-12.7	-13.7	-13.5	-14.4	-14.4	-14.6	-13.9
Criollo Blanco	-13.5	-14.1	-17.1	-13.7	-14.9	-14.0	-14.4	-14.0
Criollo Azul	-13.7	-14.6	-15.6	-16.1	-15.1	-14.7	-15.3	-15.0
Media	-13.0	-13.6	-15.4	-14.8	-14.9	-14.4	-14.8	-14.4
DMS (P \leq 0.05)	7.3	3.7	10.1	4.1	5.3	2.9	2.6	0.9
Bajo nitrógeno								
H-50	-9.0	-12.2	-14.2	-12.4	-14.7	-15.1	-14.8	-14.8
H-48	-14.6	-14.1	-15.1	-15.6	-15.0	-15.3	-14.8	-15.2
H-30	-9.8	-14.2	-15.2	-15.6	-15.4	-14.3	-14.5	-14.7
H-28	-12.0	-14.8	-15.8	-13.3	-14.6	-14.3	-14.8	-14.8
Criollo Blanco	-12.9	-13.2	-15.2	-13.8	-14.5	-14.6	-14.4	-14.2
Criollo Azul	-12.8	-13.9	-14.9	-14.7	-14.6	-15.3	-15.0	-15.1
Media	-11.9	-13.7	-15.6	-14.7	-15.1	-14.8	-14.9	-15.0
DMS (P \leq 0.05)	3.0	1.8	3.6	10.3	4.0	2.9	3.1	2.8
Sequia 3								
Alto nitrógeno								
H-50	-12.1	-15.3	-17.3	-19.8	-20.8	-21.7	-22.6	-18.9
H-48	-13.2	-16.0	-19.0	-20.9	-21.8	-23.0	-24.0	-21.2
H-30	-10.3	-13.3	-16.3	-18.8	-21.3	-22.9	-24.2	-21.7
H-28	-10.2	-12.8	-15.8	-21.8	-22.5	-23.9	-24.0	-21.1
Criollo Blanco	-12.6	-15.3	-19.3	-20.2	-21.5	-22.4	-22.6	-17.8
Criollo Azul	-12.6	-13.8	-17.8	-21.4	-23.2	-24.3	-24.5	-19.3
Media	-11.8	-14.4	-17.6	-20.5	-21.8	-23.0	-23.7	-20.0
DMS (P \leq 0.05)	8.9	3.2	5.6	5.4	4.9	6.0	5.3	5.8
Bajo nitrógeno								
H-50	-15.3	-16.2	-18.2	-20.0	-20.8	-21.8	-23.1	-19.3
H-48	-14.3	-15.0	-16.0	-21.3	-23.3	-23.8	-24.3	-21.5
H-30	-13.1	-14.3	-15.3	-18.3	-21.3	-22.6	-24.4	-21.9
H-28	-9.5	-13.8	-17.8	-19.1	-22.8	-24.0	-24.9	-22.7
Criollo Blanco	-13.3	-15.8	-18.8	-20.0	-21.3	-22.3	-23.4	-18.4
Criollo Azul	-13.2	-14.9	-15.9	-19.7	-23.1	-23.9	-24.7	-19.9
Media	-13.1	-14.9	-17.0	-19.7	-22.1	-23.1	-24.1	-20.6
Media general	-12.5	-14.2	-16.4	-17.4	-18.5	-18.8	-19.4	-17.5
DMS (P \leq 0.05)	14.0	2.8	10.6	11.1	4.7	5.8	3.6	6.4

Cuadro 7A. Potencial de turgencia (*P*, bares) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S₁), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.

Tratamientos de humedad edáfica y nitrógeno/ genotipos	Días después de la siembra			
	30	35	40	41
Riego				
Alto nitrógeno				
H-50	9.2	10.2	10.7	11.8
H-48	10.9	10.6	12.5	12.0
H-30	11.1	12.1	12.9	10.8
H-28	11.2	12.9	12.6	12.0
Criollo Blanco	12.3	12.6	12.4	12.8
Criollo Azul	12.2	13.5	13.2	12.1
Media	11.2	12.0	12.4	11.9
DMS ($P \leq 0.05$)	6.0	11.0	3.5	4.0
Bajo nitrógeno				
H-50	11.4	12.7	11.7	11.3
H-48	10.0	12.1	11.8	11.4
H-30	9.7	11.8	10.6	10.5
H-28	10.7	13.1	12.7	12.3
Criollo Blanco	11.5	13.3	11.3	11.9
Criollo Azul	13.1	14.4	13.7	13.3
Media	11.1	12.9	12.0	11.8
DMS ($P \leq 0.05$)	6.7	11.6	6.4	5.6
Sequia 1				
Alto nitrógeno				
H-50	9.7	4.4	3.8	9.1
H-48	11.1	4.8	2.0	10.6
H-30	11.4	1.9	0.6	8.6
H-28	13.0	1.9	0.4	9.0
Criollo Blanco	11.1	0.8	0.4	9.9
Criollo Azul	12.3	3.9	3.7	8.8
Media	11.4	2.9	1.8	9.3
DMS ($P \leq 0.05$)	8.2	3.4	0.9	5.7
Bajo nitrógeno				
H-50	10.4	1.5	1.2	10.8
H-48	9.6	2.2	1.5	8.4
H-30	11.4	3.7	3.1	9.7
H-28	11.1	1.7	1.7	8.2
Criollo Blanco	10.6	2.3	2.3	11.1
Criollo Azul	12.3	4.3	4.2	10.9
Media	10.9	2.6	2.3	9.8
Media general	11.1	7.6	7.1	10.7
DMS ($P \leq 0.05$)	10.3	1.9	1.0	1.1

Cuadro 8A. Potencial de turgencia (*P*, bares) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (*S*₂), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.

Tratamientos de humedad edáfica y nitrógeno/ genotipos	Días después de la siembra					
	50	55	60	65	70	71
Riego						
Alto nitrógeno						
H-50	11.1	9.4	10.2	10.3	10.2	10.4
H-48	11.4	10.0	10.1	9.6	9.3	9.2
H-30	10.5	9.5	9.4	9.0	8.8	8.6
H-28	10.7	8.6	8.4	8.4	8.3	8.2
Criollo Blanco	10.3	9.0	8.5	8.2	8.2	8.2
Criollo Azul	11.5	10.9	10.7	10.7	9.9	9.8
Media	10.9	9.5	9.6	9.4	9.1	9.1
DMS ($P \leq 0.05$)	1.2	1.6	0.6	0.8	1.7	1.7
Bajo nitrógeno						
H-50	10.4	9.8	9.7	10.0	9.2	9.5
H-48	8.8	8.5	8.0	8.5	8.2	8.1
H-30	11.2	9.8	9.4	9.2	8.5	8.3
H-28	9.3	8.4	8.7	8.7	8.6	8.0
Criollo Blanco	9.0	9.0	8.4	8.8	8.8	8.1
Criollo Azul	10.9	9.6	9.0	10.2	9.9	8.7
Media	9.9	9.2	8.9	9.2	8.9	8.5
DMS ($P \leq 0.05$)	3.0	2.0	1.4	2.0	1.9	1.0
Sequia 2						
Alto nitrógeno						
H-50	7.9	-2.5	-2.7	-3.9	-5.6	10.0
H-48	9.7	-0.7	-4.2	-4.4	-7.0	5.1
H-30	9.1	-1.3	-4.9	-5.9	-7.7	4.9
H-28	8.6	-1.4	-8.8	-9.3	-11.6	8.4
Criollo Blanco	10.1	-1.0	-5.9	-6.1	-6.3	4.8
Criollo Azul	8.5	-1.2	-7.5	-8.4	-9.0	3.0
Media	9.0	-1.4	-5.7	-6.3	-7.9	6.0
DMS ($P \leq 0.05$)	4.7	5.1	10.0	9.9	13.3	12.5
Bajo nitrógeno						
H-50	8.3	-1.1	-2.3	-3.4	-5.1	9.9
H-48	4.3	-2.1	-6.6	-6.7	-10.2	7.6
H-30	8.7	-3.1	-6.0	-6.0	-8.4	3.3
H-28	7.5	-5.2	-6.6	-8.0	-11.2	4.7
Criollo Blanco	10.2	-2.7	-4.0	-4.5	-7.8	6.2
Criollo Azul	10.9	-2.4	-3.8	-5.6	-6.9	4.0
Media	8.3	-2.7	-4.9	-5.7	-8.3	5.9
Media general	9.8	5.3	3.7	3.5	2.7	7.7
DMS ($P \leq 0.05$)	7.9	9.0	5.3	6.1	4.6	4.1

Cuadro 9A. Potencial de turgencia (*P*, bares) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (*S*₃), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.

Tratamientos de humedad edáfica y nitrógeno/ genotipos	Días después de la siembra							
	70	75	80	85	90	95	100	101
Riego								
Alto nitrógeno								
H-50	7.2	9.1	10.1	12.7	10.4	10.0	10.7	11.0
H-48	9.6	10.2	10.2	11.3	10.9	10.6	9.6	9.6
H-30	7.2	7.9	7.9	9.1	10.3	8.7	9.9	8.6
H-28	9.9	8.3	9.3	9.6	10.0	9.5	9.2	8.0
Criollo Blanco	9.6	10.6	12.7	9.8	10.5	9.6	10.4	9.6
Criollo Azul	9.2	9.6	10.2	11.7	10.2	9.8	10.4	10.1
Media	8.7	9.2	10.0	10.6	10.3	9.7	10.0	9.4
DMS ($P \leq 0.05$)	2.7	1.2	0.4	2.9	1.9	4.9	1.7	4.9
Bajo nitrógeno								
H-50	4.1	8.8	9.8	8.9	10.3	11.2	9.9	10.4
H-48	10.7	10.1	11.2	12.1	10.6	9.9	9.9	9.8
H-30	6.4	10.3	10.3	12.2	11.0	9.4	9.6	9.8
H-28	9.5	9.9	9.9	7.9	8.7	8.9	9.4	8.9
Criollo Blanco	8.5	9.3	10.8	8.9	10.1	10.7	9.5	10.3
Criollo Azul	9.4	9.5	9.5	10.3	9.2	10.3	10.1	9.7
Media	8.1	9.6	10.2	10.1	10.0	10.1	9.7	9.8
DMS ($P \leq 0.05$)	1.3	1.3	2.5	2.3	2.8	1.1	2.4	1.0
Sequia 3								
Alto nitrógeno								
H-50	5.7	1.1	0.1	-4.2	-4.2	-4.8	-6.3	3.5
H-48	4.9	0.3	0.3	-2.2	-2.2	-3.5	-5.4	3.0
H-30	2.4	-1.4	-1.4	-1.8	-2.3	-3.2	-5.2	2.0
H-28	5.8	-2.9	-2.9	-3.0	-3.0	-4.6	-6.9	2.4
Criollo Blanco	5.3	-1.2	1.2	-3.3	-4.0	-5.6	-5.8	3.5
Criollo Azul	8.7	2.1	1.1	-1.7	-1.9	-2.2	-3.5	1.1
Media	5.5	-0.4	-0.3	-2.7	-2.9	-4.0	-5.5	2.6
DMS ($P \leq 0.05$)	4.0	4.1	1.7	1.7	0.7	3.0	8.6	1.7
Bajo nitrógeno								
H-50	8.0	2.5	0.5	-4.0	-4.2	-4.7	-5.3	4.0
H-48	7.4	4.4	-1.7	-1.7	-1.8	-4.2	-6.6	3.4
H-30	3.8	1.1	-2.9	-2.9	-3.7	-5.8	-5.5	2.8
H-28	3.6	2.1	1.1	-2.2	-2.8	-3.5	-6.0	3.0
Criollo Blanco	6.4	4.7	0.7	-2.1	-4.2	-4.2	-5.1	4.6
Criollo Azul	7.8	2.2	-0.8	-0.9	-1.9	-3.1	-4.2	2.8
Media	6.2	2.8	-0.5	-2.3	-3.1	-4.3	-5.5	3.4
Media general	7.1	5.3	4.9	3.9	3.6	2.9	2.2	6.3
DMS ($P \leq 0.05$)	4.0	2.4	2.0	2.5	2.2	0.8	3.2	0.2

Cuadro 10A. Contenido relativo del agua (CRA, %) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S₁), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.

Tratamientos de humedad edáfica y nitrógeno/ genotipos	Días después de la siembra			
	30	35	40	41
Riego				
Alto nitrógeno				
H-50	81.8	80.3	81.0	80.1
H-48	80.7	83.3	81.1	80.4
H-30	83.5	84.1	80.2	82.3
H-28	82.2	80.2	81.1	80.7
Criollo Blanco	86.7	84.8	85.7	86.2
Criollo Azul	85.1	84.7	83.5	86.3
Media	83.3	82.9	82.1	82.7
DMS (P≤0.05)	3.0	3.0	3.8	6.0
Bajo nitrógeno				
H-50	80.1	81.0	80.8	81.0
H-48	80.1	82.7	82.3	80.2
H-30	82.2	85.1	80.7	80.1
H-28	83.0	82.6	82.3	80.0
Criollo Blanco	87.0	85.7	84.2	84.6
Criollo Azul	85.6	85.9	83.4	83.0
Media	83.0	83.8	82.3	81.5
DMS (P≤0.05)	6.6	11.9	8.2	10.6
Sequia 1				
Alto nitrógeno				
H-50	81.3	66.3	45.3	67.9
H-48	83.1	62.6	44.7	65.7
H-30	80.5	61.1	40.2	61.1
H-28	82.5	59.8	40.8	60.0
Criollo Blanco	85.2	62.8	42.1	66.5
Criollo Azul	84.6	60.8	41.2	64.2
Media	82.9	62.2	42.4	64.2
DMS (P≤0.05)	4.9	0.1	0.1	0.1
Bajo nitrógeno				
H-50	82.0	60.5	47.5	60.4
H-48	82.1	58.6	38.2	54.1
H-30	80.2	52.2	35.6	50.3
H-28	80.1	50.7	33.1	51.5
Criollo Blanco	83.5	60.2	39.3	58.3
Criollo Azul	82.6	58.7	36.4	53.1
Media	81.8	56.8	38.4	54.6
Media general	82.8	71.4	61.3	70.8
DMS (P≤0.05)	0.1	0.3	0.7	0.2

Cuadro 11A. Contenido relativo del agua (CRA, %) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S₂), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.

Tratamientos de humedad edáfica y nitrógeno/ genotipos	Días después de la siembra					
	50	55	60	65	70	71
Riego						
Alto nitrógeno						
H-50	84.8	85.5	80.2	79.5	81.8	82.3
H-48	81.3	83.1	81.2	80.6	80.7	83.2
H-30	81.5	83.2	80.3	79.7	83.5	80.2
H-28	82.3	84.8	83.7	81.3	82.2	81.0
Criollo Blanco	85.8	83.2	84.1	82.6	85.3	83.2
Criollo Azul	86.4	86.3	82.3	80.4	85.1	84.3
Media	83.7	84.4	82.0	80.7	83.1	82.4
DMS (P≤0.05)	6.5	3.8	4.9	3.5	6.2	4.4
Bajo nitrógeno						
H-50	82.5	81.8	79.6	83.7	79.9	80.1
H-48	79.9	84.5	79.0	83.2	80.6	81.3
H-30	83.1	86.3	79.8	82.1	78.9	82.3
H-28	80.7	83.2	80.3	79.0	83.2	80.2
Criollo Blanco	83.3	84.6	81.2	84.6	81.2	83.2
Criollo Azul	83.7	86.7	82.2	80.4	80.3	83.4
Media	82.2	84.5	80.3	82.2	80.7	81.8
DMS (P≤0.05)	5.3	5.7	4.4	6.8	5.2	4.2
Sequia 2						
Alto nitrógeno						
H-50	81.0	63.2	44.6	33.0	31.0	53.2
H-48	81.5	60.1	42.1	30.1	23.6	45.7
H-30	80.8	58.9	40.7	30.9	25.6	41.7
H-28	84.3	59.0	45.7	32.4	25.8	40.9
Criollo Blanco	83.1	58.6	47.3	28.7	21.6	50.3
Criollo Azul	85.7	60.7	42.1	27.2	25.3	43.6
Media	82.7	60.1	43.7	30.4	25.5	45.9
DMS (P≤0.05)	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
Bajo nitrógeno						
H-50	82.3	60.1	42.8	31.2	29.8	51.6
H-48	83.4	58.7	41.7	31.3	22.3	42.2
H-30	84.2	55.7	41.2	32.1	24.3	40.1
H-28	82.3	56.2	43.4	29.5	25.1	41.1
Criollo Blanco	82.1	57.2	45.7	28.0	22.8	51.2
Criollo Azul	84.2	58.8	41.4	26.5	25.0	42.1
Media	83.1	57.8	42.7	29.8	24.9	44.7
Media general	82.9	71.7	62.2	55.8	53.5	63.7
DMS (P≤0.05)	0.0	0.2	0.3	0.1	0.2	0.1

Cuadro 12A. Contenido relativo del agua (CRA, %) promedio determinado en riego y sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S₃), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.

Tratamientos de humedad edáfica y nitrógeno/ genotipos	Días después de la siembra							
	70	75	80	85	90	95	100	101
Riego								
Alto nitrógeno								
H-50	79.9	82.3	80.3	78.9	80.1	78.6	78.7	80.2
H-48	80.1	81.6	79.6	81.1	82.2	77.3	79.6	79.0
H-30	78.9	82.1	81.1	80.1	81.2	78.5	80.1	77.8
H-28	79.3	82.8	79.8	80.1	82.2	80.0	78.9	79.0
Criollo Blanco	80.2	81.0	79.0	78.1	80.1	78.7	80.0	77.9
Criollo Azul	80.1	82.0	79.0	80.1	78.9	79.1	80.3	78.8
Media	79.8	82.0	79.8	79.8	80.8	78.7	79.6	78.8
DMS (P≤0.05)	2.5	4.2	3.5	3.7	4.6	3.1	3.0	3.5
Bajo nitrógeno								
H-50	78.8	78.9	77.9	80.2	82.3	80.2	79.8	81.5
H-48	79.5	79.7	78.7	79.2	82.1	78.5	80.5	80.3
H-30	78.8	82.1	80.1	82.1	83.4	77.9	81.6	79.6
H-28	80.2	80.5	78.5	84.1	79.8	79.3	82.5	78.7
Criollo Blanco	80.1	81.5	78.5	80.4	80.1	78.7	81.3	79.1
Criollo Azul	82.3	83.2	82.2	78.9	80.2	79.2	83.2	80.8
Media	79.9	81.0	79.3	80.8	81.3	79.0	81.5	80.0
DMS (P≤0.05)	4.6	2.3	5.5	6.5	4.7	3.2	4.3	3.2
Sequia 3								
Alto nitrógeno								
H-50	82.5	65.1	60.1	45.3	32.3	28.8	15.9	21.3
H-48	84.2	67.8	59.8	40.7	28.5	22.3	17.6	22.1
H-30	83.3	68.2	61.2	40.0	27.7	21.2	18.1	21.2
H-28	82.8	63.8	56.8	43.2	30.2	24.7	21.2	23.5
Criollo Blanco	84.6	68.2	60.2	45.7	27.1	21.3	20.4	24.7
Criollo Azul	83.5	62.7	57.7	41.1	26.6	24.2	22.8	23.4
Media	83.5	66.0	59.3	42.7	28.7	23.7	19.3	22.7
DMS (P≤0.05)	0.1	6.8	0.1	0.2	0.1	0.4	0.2	1.4
Bajo nitrógeno								
H-50	83.2	65.1	59.1	42.3	30.1	26.7	15.2	19.1
H-48	82.3	66.2	58.2	39.8	26.8	20.2	16.8	21.5
H-30	81.2	68.7	59.7	38.7	25.5	20.1	17.2	21.4
H-28	83.2	62.7	55.7	40.2	26.7	21.3	20.4	23.5
Criollo Blanco	84.2	67.8	58.8	42.1	26.3	20.8	19.1	23.4
Criollo Azul	82.6	63.7	56.7	39.5	25.8	23.2	20.3	23.6
Media	82.8	65.7	58.0	40.4	26.9	22.1	18.2	22.1
Media general	81.5	73.7	69.1	60.9	54.4	50.9	49.7	50.9
DMS (P≤0.05)	0.2	2.8	0.2	0.2	0.1	0.1	0.4	0.9

Cuadro 13A. Ajuste osmótico (AO, bares) promedio determinado en sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S₁), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.

Tratamientos de humedad edáfica y nitrógeno/ genotipos	Días después de la siembra			
	30	35	40	41
Sequia 1				
Alto nitrógeno				
H-50	0.01	0.99	2.83	0.24
H-48	0.65	0.99	2.19	0.99
H-30	0.27	1.35	1.64	0.73
H-28	1.30	1.53	1.74	0.85
Criollo Blanco	0.13	0.19	1.23	0.45
Criollo Azul	0.21	0.59	2.73	0.18
Media	0.43	0.94	2.06	0.57
DMS (P≤0.05)	2.29	3.56	10.92	2.19
Bajo nitrógeno				
H-50	1.95	3.19	3.75	0.54
H-48	0.59	2.20	4.45	1.49
H-30	1.18	2.21	4.53	2.12
H-28	0.62	1.38	2.22	0.23
Criollo Blanco	1.72	2.50	4.75	2.88
Criollo Azul	0.13	0.82	3.67	1.20
Media	1.03	2.05	3.90	1.41
Media general	0.73	1.50	2.98	0.99
DMS (P≤0.05)	5.88	8.21	1.86	3.89

Cuadro 14A. Ajuste osmótico (AO, bares) promedio determinado en sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S₂), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.

Tratamientos de humedad edáfica y nitrógeno/ genotipos	Días después de la siembra					
	50	55	60	65	70	71
Sequia 2						
Alto nitrógeno						
H-50	0.82	1.91	3.68	7.99	10.29	0.14
H-48	0.85	3.90	4.64	5.73	5.99	1.19
H-30	0.06	1.95	4.30	6.94	10.84	4.70
H-28	0.11	3.43	5.21	5.57	7.35	1.34
Criollo Blanco	0.23	4.59	4.71	5.05	10.24	1.69
Criollo Azul	0.14	2.06	2.57	4.25	6.73	1.77
Media	0.37	2.97	4.19	5.92	8.57	1.81
DMS (P≤0.05)	1.16	9.95	13.11	19.48	10.13	7.30
Bajo nitrógeno						
H-50	0.37	3.20	5.08	5.81	10.37	0.76
H-48	0.03	4.13	4.62	5.02	6.66	4.24
H-30	0.55	1.95	4.73	6.46	7.80	0.00
H-28	0.08	3.28	3.34	3.84	5.30	2.70
Criollo Blanco	0.45	2.11	3.78	6.27	7.35	3.38
Criollo Azul	0.73	4.32	4.51	4.58	7.89	2.73
Media	0.37	3.17	4.34	5.33	7.56	2.30
Media general	0.37	3.07	4.27	5.63	8.07	2.06
DMS (P≤0.05)	0.66	10.41	9.66	5.70	9.01	5.54

Cuadro 15A. Ajuste osmótico (AO, bares) promedio determinado en sequía con alto y bajo nitrógeno, durante el tratamiento de sequía (S₃), para cada genotipo en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. México.

Tratamientos de humedad edáfica y nitrógeno/ genotipos	Días después de la siembra							
	70	75	80	85	90	95	100	101
Sequia 3								
Alto nitrógeno								
H-50	0.51	2.52	2.82	3.71	6.49	6.89	7.99	3.94
H-48	0.74	0.90	1.31	5.65	6.51	8.02	8.96	6.15
H-30	0.04	1.80	2.61	4.30	6.07	9.20	9.42	8.22
H-28	0.58	2.64	2.72	8.10	8.31	9.44	9.47	6.04
Criollo Blanco	0.38	0.80	2.25	6.56	6.65	8.27	8.36	3.76
Criollo Azul	0.18	1.09	2.18	5.32	8.03	9.18	9.60	4.33
Media	0.41	1.63	2.32	5.61	7.01	8.50	8.97	5.41
DMS (P≤0.05)	1.41	4.68	9.56	8.27	6.45	3.04	4.15	6.10
Bajo nitrógeno								
H-50	0.21	4.01	6.11	6.27	6.72	7.66	8.38	4.49
H-48	0.35	0.47	0.89	5.77	8.26	8.56	9.51	6.36
H-30	0.04	0.64	1.66	3.31	5.87	8.29	9.95	7.23
H-28	0.52	1.99	2.45	5.83	8.18	9.66	10.12	5.01
Criollo Blanco	0.31	2.65	3.65	6.20	6.82	7.65	9.02	4.14
Criollo Azul	0.05	0.94	0.94	2.98	6.47	8.64	8.72	3.86
Media	0.25	1.78	2.62	5.06	7.05	8.41	9.28	5.18
Media general	0.33	1.71	2.47	5.34	7.03	8.46	9.13	5.30
DMS (P≤0.05)	1.09	5.37	6.31	7.27	6.07	6.08	3.39	3.10

Cuadro 16AA. Crecimiento del área foliar total acumulada por planta durante el ciclo biológico (AFTADCB, cm²) promedio en riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego		Sequia 1		Sequia 2		Sequia 3	
	(cm ² /planta)		(cm ² /planta)		(cm ² /planta)		(cm ² /planta)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-50	1240.0	1050.0	992.6	902.0	977.9	895.4	1066.6	986.0
H-48	1015.3	954.6	976.7	909.5	949.8	856.9	961.1	911.6
H-30	1049.4	890.1	882.5	852.0	837.8	774.8	885.5	846.4
H-28	1073.1	958.9	924.2	889.9	825.1	780.2	897.3	807.3
Criollo Blanco	1107.7	965.8	953.9	923.0	902.9	823.5	946.1	893.3
Criollo Azul	999.3	926.4	879.1	873.0	848.2	771.6	872.2	850.9
Media general	1080.8	957.6	934.8	891.6	890.3	817.1	938.1	882.6
DMS (P≤0.05)	9.8	2.9	2.7	10.2	13.1	12.7	5.0	8.4

Cuadro 16AB. Crecimiento del área foliar total acumulada por planta durante el ciclo biológico (AFTADCB, cm²) promedio en riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego		Sequia 1		Sequia 2		Sequia 3	
	(cm ² /planta)		(cm ² /planta)		(cm ² /planta)		(cm ² /planta)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-49	992.4	925.1	962.3	918.7	925.6	875.0	873.1	815.1
H-44	979.8	962.9	960.8	891.5	899.6	864.3	865.4	843.5
H-40	1157.1	997.0	986.8	954.4	932.3	845.0	890.0	824.7
H-34	1174.9	954.8	950.8	916.6	917.5	847.1	856.4	832.4
H-33	1072.5	850.1	844.6	815.4	812.2	760.4	807.1	741.5
H-32	865.0	812.1	780.4	763.6	757.5	684.4	711.6	636.3
Criollo Rojo	1159.0	994.9	960.9	843.8	780.6	731.5	715.7	669.0
Media general	1057.2	928.1	920.9	872.0	860.8	801.1	817.0	766.1
DMS (P≤0.05)	1.05	0.48	0.60	10.7	15.9	26.7	21.3	10.9

Cuadro 17AA. Expansión del área foliar de la planta durante los tratamientos de riego (EAFPDTR, cm²) promedio con alto y bajo nitrógeno, determinado en los genotipos utilizados, para las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Tratamiento	Días después de la siembra																						
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
Alto nitrógeno																							
H-50	3.4	9.4	25.8	69.5	120.0	197.5	287.9	448.3	568.6	705.7	843.0	935.0	1000.0	1054.2	1097.3	1142.8	1178.3	1191.2	1209.1	1210.0	1220.0	1230.0	1240.0
H-48	1.9	5.5	15.6	59.2	108.6	173.1	255.2	321.6	427.8	533.8	635.8	737.0	768.5	808.5	843.0	877.5	904.9	915.7	932.4	972.0	1000.2	1007.7	1015.3
H-30	1.4	3.5	9.1	34.6	71.8	122.9	139.3	255.6	351.1	485.8	597.9	717.5	769.5	822.4	867.5	912.7	944.5	976.3	996.1	1016.0	1039.1	1044.2	1049.4
H-28	1.7	4.5	11.7	28.0	59.0	112.1	187.5	279.1	369.5	469.5	570.4	654.4	764.5	803.2	864.6	910.1	943.9	977.7	1000.0	1022.3	1052.5	1062.8	1073.1
Criollo Blanco	3.7	11.1	29.4	56.0	104.0	169.4	223.8	295.7	400.4	517.5	642.1	760.4	813.0	865.7	909.8	953.9	989.5	1025.1	1050.9	1076.8	1101.9	1104.3	1107.7
Criollo Azul	2.4	7.0	17.8	36.3	65.8	118.4	215.2	296.9	404.5	516.1	626.8	729.3	772.5	815.8	851.9	880.1	907.7	945.4	961.0	976.5	991.0	995.1	999.3
Media	2.4	6.8	18.2	47.3	88.2	148.9	218.1	316.2	420.3	538.1	652.7	755.6	814.7	861.6	905.7	946.2	978.1	1005.2	1024.9	1045.6	1067.4	1074.0	1080.8
DMS (P≤0.05)	1.7	6.0	18.5	11.4	11.5	12.1	13.4	9.9	8.8	7.6	9.6	8.4	6.4	7.6	5.4	7.5	6.2	8.4	2.2	8.4	8.3	7.9	8.3
Bajo nitrógeno																							
H-50	2.8	6.4	16.2	34.9	66.0	143.6	250.3	329.9	465.8	610.8	743.5	876.6	886.6	895.5	936.0	970.6	985.1	1004.5	1020.9	1022.2	1023.5	1045.0	1050.0
H-48	2.3	6.1	16.5	56.2	101.7	157.1	246.1	299.1	394.6	490.0	580.6	662.2	743.5	784.7	788.6	792.4	815.8	839.1	856.8	874.5	896.4	925.5	954.6
H-30	0.5	1.5	4.0	24.0	52.3	99.4	166.0	249.8	346.9	456.0	563.2	663.2	708.5	753.7	776.7	799.7	815.8	832.0	845.6	859.3	881.1	885.6	890.1
H-28	1.9	4.6	11.2	26.1	53.7	102.1	171.2	241.6	310.5	385.1	489.8	599.6	651.0	702.4	746.0	789.6	825.6	861.6	886.1	914.5	945.6	952.2	958.9
Criollo Blanco	3.6	8.8	20.4	42.6	83.0	142.7	251.7	349.8	458.1	566.0	664.5	749.2	784.5	819.8	833.7	847.7	882.1	916.5	935.9	955.3	965.8	965.8	965.8
Criollo Azul	2.8	6.9	17.3	38.4	69.4	115.9	125.9	265.1	365.0	471.1	576.6	672.9	756.9	764.9	791.2	825.5	851.9	878.3	896.2	914.1	926.4	926.4	926.4
Media	2.3	5.7	14.2	37.0	71.0	126.8	201.8	289.2	390.1	496.5	603.0	704.0	755.2	786.8	812.0	837.6	862.7	888.7	906.9	923.3	939.8	950.1	957.6
Media general	2.4	6.3	16.2	42.2	79.6	137.9	210.0	302.7	405.2	517.3	627.9	729.8	785.0	824.2	858.9	891.9	920.4	947.0	965.9	984.5	1003.6	1012.1	1019.2
DMS (P≤0.05)	2.2	6.2	17.4	34.5	31.4	14.2	5.8	6.3	8.7	10.6	9.8	9.9	5.4	7.4	2.8	1.8	0.5	0.3	4.0	3.9	3.5	3.2	2.9

Cuadro 17AB. Expansión del área foliar de la planta durante los tratamientos de riego (EAFPDTR, cm²) promedio con alto y bajo nitrógeno, determinado en los genotipos no utilizados, para las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Tratamiento	Días después de la siembra																						
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
Alto nitrógeno																							
H-49	0.7	3.0	7.9	19.9	27.2	47.1	91.1	160.3	253.4	282.5	307.5	400.5	512.2	619.2	678.6	713.6	793.0	863.3	923.1	939.8	964.8	986.8	992.4
H-44	0.3	1.2	3.0	8.1	17.8	26.0	57.7	111.8	189.1	240.8	265.8	374.3	491.4	605.5	671.4	706.4	796.4	874.0	933.0	943.6	968.6	979.8	979.8
H-40	0.5	2.2	6.5	18.6	27.0	45.6	93.0	162.8	273.9	337.6	362.6	487.6	619.2	744.3	823.2	858.2	957.7	1040.1	1099.8	1111.7	1136.7	1153.8	1157.1
H-34	0.1	0.8	3.7	10.7	17.2	27.9	62.4	116.3	191.9	265.4	290.4	392.9	503.8	630.1	714.3	749.3	857.8	953.6	1032.7	1070.8	1095.8	1144.0	1174.9
H-33	0.3	1.3	3.9	11.2	16.8	28.0	58.7	113.6	195.4	272.1	297.1	411.9	533.8	651.9	724.4	759.4	856.0	935.8	995.8	1007.7	1032.7	1054.9	1072.5
H-32	0.4	1.4	3.5	8.3	11.6	19.9	43.6	82.9	159.7	190.2	215.2	308.2	410.1	510.9	572.1	607.1	695.1	769.8	824.7	830.6	855.6	865.0	865.0
Criollo Rojo	0.9	3.3	7.7	19.2	26.0	45.1	91.8	159.8	252.2	348.9	373.9	509.8	639.5	757.1	826.8	861.8	953.5	1030.8	1090.7	1107.3	1132.3	1153.9	1159.0
Media	0.5	1.9	5.2	13.7	20.5	34.2	71.2	129.7	216.5	276.8	301.8	412.2	530.0	645.6	715.8	750.8	844.2	923.9	985.7	1001.6	1026.6	1048.3	1057.2
DMS (P≤0.05)	1.2	1.4	4.2	8.5	11.5	16.0	15.0	6.7	4.3	10.6	4.4	2.6	1.6	2.1	1.7	1.4	1.7	1.5	0.8	1.4	0.7	1.1	1.0
Bajo nitrógeno																							
H-49	0.7	2.6	6.8	18.1	25.2	43.4	83.3	139.8	249.0	275.2	300.2	390.1	479.4	562.0	596.6	631.6	721.9	785.8	873.2	877.8	892.8	898.6	925.1
H-44	0.5	1.9	4.9	12.9	18.4	31.3	68.4	134.4	181.2	311.9	336.9	449.3	555.2	654.2	708.0	743.0	778.6	881.4	929.3	931.1	956.1	962.9	962.9
H-40	0.5	2.1	5.6	15.8	23.4	39.2	79.7	142.0	267.3	305.8	330.8	440.1	554.0	669.3	736.9	771.9	858.1	925.7	975.7	962.5	987.5	994.9	997.0
H-34	0.3	1.2	3.5	10.9	17.1	27.9	61.4	113.8	184.7	254.1	279.1	371.0	449.4	635.3	689.2	724.2	811.6	828.9	845.1	829.6	854.6	869.4	954.8
H-33	0.2	0.9	2.9	8.3	13.6	21.8	48.6	94.4	180.3	299.9	324.9	420.0	517.0	616.9	671.5	706.5	783.2	791.4	802.9	784.9	809.9	815.1	850.1
H-32	0.4	1.5	3.3	8.3	11.7	19.9	44.2	86.5	150.8	213.9	238.9	346.6	461.7	572.4	634.9	669.9	742.7	784.0	804.3	787.1	812.1	812.1	812.1
Criollo Rojo	0.8	3.4	8.9	21.6	25.8	47.3	89.1	148.3	225.6	292.3	317.3	419.0	526.2	626.5	680.6	715.6	797.5	867.6	923.1	936.7	961.7	983.4	994.9
Media	0.5	2.0	5.1	13.7	19.3	33.0	67.8	122.7	205.6	279.0	304.0	405.2	506.1	619.5	674.0	709.0	784.8	837.8	879.1	871.4	896.4	905.2	928.1
Media general	0.5	1.9	5.2	13.7	19.9	33.6	69.5	126.2	211.0	277.9	302.9	408.7	518.1	632.5	694.9	729.9	814.5	880.9	932.4	936.5	961.5	976.7	992.7
DMS (P≤0.05)	0.9	1.4	3.3	8.1	7.2	10.4	13.0	8.5	3.1	2.2	2.1	2.2	2.5	2.3	0.9	1.6	0.9	0.6	1.0	0.8	.1.1	0.5	0.8

Cuadro 18AA. Expansión del área foliar de la planta durante los tratamientos de sequía (EAFPDTs, cm²) promedio con alto y bajo nitrógeno, determinado durante el tratamiento de sequía (S₁), para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Tratamiento	Días después de la siembra																						
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
Alto nitrógeno																							
H-50	2.7	7.0	17.3	39.4	77.5	142.9	258.9	313.4	419.1	534.9	649.4	757.2	853.6	893.4	914.3	935.2	943.2	951.2	964.1	977.1	981.0	984.8	992.6
H-48	2.5	7.0	21.2	36.3	74.1	132.3	242.0	346.9	453.1	559.6	657.7	743.5	779.3	815.1	843.5	871.9	894.4	916.8	933.3	949.8	968.7	972.7	976.7
H-30	1.5	4.0	10.6	19.2	39.1	65.6	160.6	264.2	365.5	481.0	600.3	710.2	759.7	809.2	816.4	823.5	828.5	833.5	838.2	843.0	853.5	868.0	882.5
H-28	1.5	4.7	13.0	28.4	56.4	99.1	168.5	308.1	412.0	526.5	643.6	757.0	780.9	804.8	810.8	816.7	827.5	838.2	848.3	858.5	872.1	898.2	924.2
Criollo Blanco	3.6	9.5	24.7	55.2	91.4	129.5	181.0	323.5	434.9	545.4	645.2	730.9	767.6	804.4	835.5	866.7	871.7	876.7	880.5	884.3	929.6	941.7	953.9
Criollo Azul	2.6	5.9	14.9	35.1	68.1	115.9	189.5	277.5	374.9	474.3	567.1	650.8	686.1	721.6	751.5	781.4	805.6	829.7	845.4	861.1	876.0	877.6	879.1
Media	2.4	6.4	17.0	35.6	67.8	112.6	200.1	305.6	409.9	520.3	627.2	724.9	771.2	808.1	828.7	849.2	861.8	874.3	885.0	895.6	913.5	923.8	934.8
DMS (P≤0.05)	2.7	6.0	15.7	29.9	17.1	17.7	15.6	13.1	12.7	11.9	10.2	8.8	7.0	5.5	4.9	4.6	4.0	4.9	3.97	3.7	3.0	2.6	2.7
Bajo nitrógeno																							
H-50	1.4	4.4	12.5	28.3	57.3	104.6	236.2	261.1	328.1	409.2	486.9	657.5	702.3	747.0	784.4	821.8	847.3	872.7	884.6	896.4	902.0	902.0	902.0
H-48	1.9	4.8	12.7	31.7	67.6	121.9	232.8	291.4	391.5	492.0	588.1	674.0	727.4	780.7	792.0	803.4	825.7	848.1	864.7	881.3	901.0	905.3	909.5
H-30	1.3	3.6	9.6	11.1	27.1	60.9	149.4	227.1	304.5	412.2	517.2	615.7	660.8	705.8	712.5	719.3	728.1	737.0	747.0	757.0	776.0	814.0	852.0
H-28	1.2	3.3	9.7	28.1	65.3	97.1	157.2	298.0	410.8	532.9	654.0	766.4	779.0	791.6	810.0	828.3	835.8	843.3	851.5	859.6	874.2	882.1	889.9
Criollo Blanco	2.5	6.9	18.2	36.0	66.7	113.3	192.0	269.5	357.0	453.8	558.1	662.3	711.5	760.6	772.4	784.1	789.9	795.6	804.6	813.5	853.0	888.0	923.0
Criollo Azul	2.1	5.8	15.0	33.9	66.2	113.8	181.3	275.6	372.3	471.0	570.8	664.5	703.3	742.1	771.9	801.8	823.2	844.6	855.8	867.0	873.0	873.0	873.0
Media	1.8	4.8	12.9	28.2	58.4	101.9	191.5	270.4	360.7	461.9	562.5	673.4	714.0	754.6	773.9	793.1	808.3	823.6	834.7	845.8	863.2	877.4	891.6
Media general	2.1	5.6	15.0	31.9	63.1	107.3	195.8	288.0	385.3	491.1	594.9	699.2	742.6	781.4	801.3	821.2	835.1	849.0	859.9	870.7	888.4	900.6	913.2
DMS (P≤0.05)	1.0	2.7	7.6	27.1	23.0	19.3	10.5	11.8	12.6	11.4	10.4	8.5	2.9	6.7	6.8	6.9	7.3	8.5	8.6	8.7	8.0	8.5	10.2

Cuadro 18AB. Expansión del área foliar de la planta durante los tratamientos de sequía (EAFPDTs, cm²) promedio con alto y bajo nitrógeno, determinado durante el tratamiento de sequía (S₁), para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Tratamiento	Días después de la siembra																							
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	
Alto nitrógeno																								
H-49	1.0	4.3	12.0	27.4	33.7	43.7	80.3	126.7	245.4	258.0	263.7	337.3	430.2	526.8	588.4	623.4	714.7	796.0	861.9	885.5	910.5	942.7	962.3	
H-44	0.3	1.2	3.0	7.5	9.5	19.5	42.3	81.2	160.8	202.0	227.0	329.2	437.4	543.5	610.5	645.5	737.8	818.9	888.5	915.6	940.6	960.8	960.8	
H-40	0.7	2.9	8.1	22.3	29.4	39.4	80.0	141.1	259.0	358.8	383.8	505.5	631.8	726.6	774.3	809.3	905.1	936.1	969.3	950.3	975.3	978.5	986.8	
H-34	0.3	1.2	2.9	6.7	8.7	18.7	43.2	84.7	176.5	202.4	227.4	328.7	440.5	555.3	635.1	670.1	782.0	881.7	887.3	880.6	905.6	940.0	950.8	
H-33	0.2	1.1	3.5	10.4	15.7	25.7	49.3	87.9	174.9	192.5	217.5	307.4	409.3	518.8	593.5	628.5	724.4	798.2	818.8	797.5	822.5	836.5	844.6	
H-32	0.3	1.4	3.5	8.3	9.9	19.9	43.6	82.9	159.7	190.2	215.2	308.2	410.1	510.9	572.1	607.1	695.1	769.8	824.7	830.6	855.6	865.0	865.0	
Criollo Rojo	0.6	2.1	4.8	13.8	17.7	27.7	51.9	91.8	170.3	237.0	262.0	342.0	433.4	545.4	624.4	659.4	766.5	815.0	873.9	894.1	919.1	946.3	960.9	
Media	0.5	2.0	5.4	13.8	17.8	27.8	55.8	99.5	192.4	231.7	256.7	351.2	456.1	561.0	628.3	663.3	760.8	830.8	874.9	879.2	904.2	924.2	933.0	
DMS (P≤0.05)	0.1	2.5	2.2	8.0	7.0	5.0	6.2	3.1	0.5	5.8	0.9	13.6	0.7	18.2	16.8	7.2	10.3	1.1	0.7	11.5	8.6	0.5	0.6	
Bajo nitrógeno																								
H-49	0.6	2.4	6.1	15.4	21.7	31.7	60.5	114.4	239.6	261.9	286.9	382.5	476.1	559.9	594.5	629.5	702.5	741.1	828.9	829.5	854.5	868.3	918.7	
H-44	0.4	1.4	3.2	7.7	8.3	18.3	40.7	82.8	153.3	212.3	237.3	340.2	447.2	552.4	613.0	648.0	731.2	799.2	844.0	846.2	871.2	887.2	891.5	
H-40	0.5	2.2	6.2	17.2	30.8	40.8	80.2	137.6	250.4	293.2	318.2	431.9	548.9	660.2	722.0	757.0	838.2	906.3	913.6	894.5	919.5	926.3	954.4	
H-34	0.2	0.9	2.5	6.6	7.0	17.0	39.8	79.7	170.0	208.7	233.7	341.3	454.3	566.9	638.5	673.5	770.7	781.1	804.5	810.0	835.0	859.1	916.6	
H-33	0.3	1.3	3.4	9.2	13.6	23.6	50.6	101.6	165.1	236.9	261.9	354.8	451.1	543.4	596.0	631.0	710.3	755.7	779.5	760.4	785.4	795.4	815.4	
H-32	0.3	1.2	2.9	7.1	7.6	17.6	39.1	77.8	135.6	187.4	212.4	303.5	400.7	499.4	559.1	594.1	677.4	739.2	763.6	738.6	763.6	763.6	763.6	
Criollo Rojo	0.7	2.6	6.1	14.0	18.5	28.5	52.9	86.0	152.6	173.5	198.5	283.8	384.5	482.9	534.6	569.6	641.9	701.9	753.7	770.8	795.8	826.6	843.8	
Media	0.4	1.7	4.3	11.0	15.3	25.3	52.0	97.1	180.9	224.8	249.8	348.3	451.8	552.1	608.2	643.2	724.6	774.9	812.5	807.1	832.1	846.6	872.0	
Media general	0.5	1.9	4.9	12.4	16.6	26.6	53.9	98.3	186.7	228.2	253.2	349.7	454.0	556.6	618.3	653.3	742.7	802.9	843.7	843.1	868.1	885.4	902.5	
DMS (P≤0.05)	0.4	1.2	2.1	7.0	6.8	7.0	11.5	6.9	4.9	3.2	2.3	1.7	1.5	1.0	11.5	1.1	0.7	0.4	0.3	12.3	0.6	0.3	0.4	

Cuadro 19AA. Expansión del área foliar de la planta durante los tratamientos de sequía (EAFPDTs, cm²) promedio con alto y bajo nitrógeno, determinado durante el tratamiento de sequía (S₂), para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Tratamiento	Días después de la siembra																						
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
Alto nitrógeno																							
H-50	1.6	5.2	15.1	38.0	76.4	136.6	257.0	301.6	335.9	439.4	548.8	702.9	773.5	797.1	868.0	904.5	921.1	929.1	937.1	947.5	957.9	967.4	977.9
H-48	5.3	10.8	26.5	39.0	77.9	137.6	248.3	316.6	426.2	537.5	642.7	727.2	812.4	841.4	870.3	892.1	913.9	926.5	939.1	944.0	949.0	949.8	949.8
H-30	0.9	2.5	7.1	23.7	52.8	98.6	180.1	191.0	281.9	388.0	503.1	530.6	669.4	698.2	713.2	726.8	755.5	768.6	781.7	800.2	818.6	828.2	837.8
H-28	2.2	5.5	13.0	29.5	60.4	108.8	182.4	259.2	349.4	445.9	549.3	642.4	683.1	699.7	716.3	721.5	726.7	732.9	739.1	754.0	768.8	797.0	825.1
Criollo Blanco	3.0	7.0	16.3	43.9	78.3	128.6	207.5	265.7	352.4	448.6	558.9	672.0	777.9	784.4	790.8	794.8	798.9	804.9	810.8	847.0	883.2	893.1	902.9
Criollo Azul	3.0	7.9	19.6	44.3	84.9	144.2	217.6	272.1	360.0	449.0	535.7	612.8	673.0	726.3	779.7	798.0	816.3	828.3	840.3	844.3	848.2	847.3	848.2
Media	2.7	6.5	16.3	36.4	71.8	125.8	215.5	267.7	351.0	451.4	556.4	648.0	731.5	757.8	789.7	806.3	822.1	831.7	841.4	856.2	871.0	880.4	890.3
DMS (P≤0.05)	2.2	8.1	8.3	18.0	14.7	13.4	8.4	23.8	29.6	29.8	23.2	15.8	18.4	16.4	14.4	14.8	14.0	14.2	14.4	13.6	13.0	13.1	13.0
Bajo nitrógeno																							
H-50	2.0	5.0	12.6	29.8	62.0	112.1	254.5	283.9	395.5	510.8	614.1	663.6	766.8	800.4	834.0	851.0	868.0	876.5	885.1	889.2	893.3	894.3	895.4
H-48	5.4	15.6	27.8	39.5	77.6	134.3	245.4	344.9	433.0	515.4	589.8	657.3	715.4	737.4	759.3	774.4	789.5	798.3	807.1	810.0	812.9	834.9	856.9
H-30	1.5	4.5	12.3	27.4	53.1	97.2	165.7	194.3	279.1	376.8	481.4	582.3	653.9	655.9	657.9	664.8	671.7	707.5	743.3	749.3	755.3	765.0	774.8
H-28	2.5	6.2	14.9	33.3	59.9	93.1	166.9	219.9	300.9	392.7	496.7	592.6	680.0	693.2	706.4	718.5	730.6	748.3	765.9	771.8	777.7	779.0	780.2
Criollo Blanco	2.9	8.3	19.9	42.2	78.2	127.8	192.0	269.2	360.4	460.8	556.6	640.0	709.2	727.1	745.0	764.6	784.1	790.6	797.1	805.0	812.9	818.2	823.5
Criollo Azul	2.5	6.6	16.7	36.8	70.8	122.3	196.3	274.2	363.1	449.8	531.7	606.2	670.8	697.1	723.5	739.6	755.8	762.2	768.6	770.0	771.6	771.6	771.6
Media	2.8	7.7	17.4	34.8	66.9	114.5	203.5	264.4	355.3	451.0	545.1	623.7	699.4	718.5	737.7	752.1	766.6	780.6	794.5	799.2	803.9	810.5	817.1
Media general	2.8	7.1	16.9	35.6	69.4	120.2	209.5	266.1	353.2	451.2	550.8	635.9	715.5	738.2	763.7	779.2	794.4	806.2	818.0	827.7	837.5	845.5	853.7
DMS (P≤0.05)	2.9	10.8	20.9	36.9	29.0	21.0	16.4	19.9	19.5	18.6	17.9	21.6	15.2	12.6	14.0	12.8	12.3	12.7	13.9	13.2	13.0	12.7	12.6

Cuadro 19AB. Expansión del área foliar de la planta durante los tratamientos de sequía (EAFPDTs, cm²) promedio con alto y bajo nitrógeno, determinado durante el tratamiento de sequía (S₂), para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Tratamiento	Días después de la siembra																						
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
Alto nitrógeno																							
H-49	0.8	2.9	7.8	20.5	38.2	48.2	75.5	116.5	250.4	254.3	279.3	374.4	467.4	557.9	604.5	639.5	708.3	838.5	882.0	888.1	913.1	925.6	925.6
H-44	0.4	1.6	3.9	10.3	11.4	21.4	49.3	99.0	178.9	221.5	246.5	339.9	439.5	542.1	603.6	638.6	721.5	832.5	870.6	867.9	892.9	899.6	899.6
H-40	0.5	2.4	8.2	23.3	41.9	51.9	96.1	158.6	271.3	311.7	336.7	437.1	542.4	648.6	716.9	751.9	823.8	903.5	911.2	898.3	923.3	926.9	932.3
H-34	0.4	1.4	3.8	10.6	17.8	27.8	62.0	112.1	189.8	226.4	251.4	342.1	444.9	557.3	634.1	669.1	776.1	827.8	849.3	838.0	863.0	902.1	917.5
H-33	0.5	1.9	4.6	12.3	19.9	29.9	62.0	109.0	193.7	226.7	251.7	349.4	458.3	572.6	649.6	684.6	740.8	760.3	783.4	763.7	788.7	797.7	812.2
H-32	0.4	1.3	3.3	9.9	14.4	24.4	50.0	92.4	151.1	202.3	227.3	303.6	384.1	467.5	517.8	552.8	615.8	681.9	693.6	724.0	749.0	755.5	757.5
Criollo Rojo	0.8	3.2	7.6	16.8	26.8	36.8	72.4	120.0	198.0	237.0	262.0	360.7	465.3	569.4	569.5	604.5	642.0	714.6	732.8	720.1	745.1	763.1	780.6
Media	0.5	2.1	5.6	14.8	24.3	34.3	66.8	115.4	204.7	240.0	265.0	358.2	457.4	559.3	613.7	648.7	718.3	794.2	817.5	814.3	839.3	852.9	860.8
DMS (P≤0.05)	0.2	1.6	1.2	5.6	10.3	12.0	4.9	9.0	11.4	18.6	1.8	1.3	0.8	0.6	0.5	0.6	0.7	1.2	4.5	0.5	10.5	13.5	13.5
Bajo nitrógeno																							
H-49	0.9	3.2	7.5	17.4	27.7	37.7	70.6	123.8	247.8	274.5	299.5	400.8	498.8	586.5	629.6	664.6	702.6	780.6	810.5	802.8	827.8	834.1	875.0
H-44	0.4	1.8	4.2	9.7	12.0	22.0	47.0	90.2	170.2	209.2	234.2	325.0	425.8	527.4	589.8	624.8	713.7	789.4	836.9	832.8	857.8	864.3	864.3
H-40	0.5	2.1	5.9	15.5	26.0	36.0	72.9	129.8	266.5	285.2	310.2	421.1	530.2	630.0	679.2	714.2	777.3	802.0	826.4	809.6	834.6	840.4	845.0
H-34	0.2	1.0	3.6	11.5	19.3	29.3	62.4	110.9	187.9	262.5	287.5	391.1	498.5	595.9	627.9	662.9	747.0	800.9	823.0	814.4	839.4	842.1	847.1
H-33	0.4	1.9	6.3	18.4	34.1	44.1	89.1	151.3	181.0	219.1	244.1	342.8	448.3	554.5	607.9	642.9	681.5	692.1	697.8	699.9	724.9	741.9	760.4
H-32	0.3	1.4	3.6	8.7	11.0	21.0	45.8	84.6	133.6	167.1	192.1	269.4	363.8	460.8	519.2	554.2	638.7	681.0	684.4	659.4	684.4	684.4	684.4
Criollo Rojo	0.7	3.2	9.0	20.5	29.4	39.4	68.3	112.2	184.3	243.9	268.9	368.5	472.9	579.6	585.0	620.0	628.1	690.8	702.8	683.9	708.9	715.2	731.5
Media	0.5	2.1	5.7	14.5	22.8	32.8	65.1	114.7	195.9	237.3	262.3	359.8	462.6	562.1	605.5	640.5	698.4	748.1	768.8	757.5	782.5	788.9	801.1
Media general	0.5	2.1	5.7	14.7	23.6	33.6	65.9	115.0	200.3	238.7	263.7	359.0	460.0	560.7	609.6	644.6	708.3	771.1	793.2	785.9	810.9	820.9	830.9
DMS (P≤0.05)	0.4	1.7	0.7	1.3	0.8	2.1	4.6	0.6	1.4	1.1	1.4	4.8	14.6	4.8	1.0	2.2	2.1	2.8	3.3	6.8	2.3	2.0	0.7

Cuadro 20AA. Expansión del área foliar de la planta durante los tratamientos de sequía (EAFPDTs, cm²) promedio con alto y bajo nitrógeno, determinado durante el tratamiento de sequía (S₃), para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Tratamiento	Días después de la siembra																						
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
Alto nitrógeno																							
H-50	2.8	6.8	21.8	58.6	117.5	185.8	286.3	415.9	576.4	695.5	763.0	869.4	915.2	960.9	997.5	1034.0	1046.3	1058.7	1061.5	1062.8	1064.1	1065.4	1066.6
H-48	2.0	5.3	19.6	58.4	117.0	186.9	269.2	410.6	548.6	656.6	714.2	805.4	832.7	860.0	875.0	890.0	906.3	922.5	946.5	948.8	951.1	956.1	961.1
H-30	1.9	5.1	18.7	45.8	96.1	157.7	203.8	370.8	515.8	615.6	663.6	757.8	793.7	829.6	839.3	849.0	853.5	858.1	867.0	871.0	875.0	880.3	885.5
H-28	1.7	3.9	12.5	42.1	85.3	152.9	195.6	318.9	465.9	574.4	632.9	734.3	781.1	828.0	831.2	834.5	838.4	842.3	854.4	863.3	872.3	884.8	897.3
Criollo Blanco	3.7	13.0	25.6	63.8	121.6	186.9	230.7	403.0	559.2	669.2	726.1	824.0	866.4	908.7	911.3	913.9	917.4	920.9	928.9	934.0	939.1	942.6	946.1
Criollo Azul	2.5	7.9	24.2	58.1	109.7	168.1	233.6	418.2	568.4	663.7	698.8	769.3	799.9	830.6	833.8	837.1	843.7	850.3	860.3	863.2	866.2	869.2	872.2
Media	2.4	7.0	20.4	54.5	107.9	173.0	236.5	389.6	539.1	645.8	699.8	793.4	831.5	869.6	881.4	893.1	900.9	908.8	919.7	923.9	928.0	933.0	938.1
DMS (P≤0.05)	2.0	7.2	7.0	30.6	28.6	25.8	19.9	14.7	13.9	10.3	7.1	4.8	4.9	3.7	3.2	3.9	3.7	3.4	3.4	3.2	34.4	4.5	5.0
Bajo nitrógeno																							
H-50	1.9	4.8	11.9	30.5	62.4	130.9	257.1	295.2	441.4	541.5	641.2	792.8	826.8	860.8	873.7	886.7	905.9	925.0	941.2	962.3	983.5	984.7	986.0
H-48	2.0	4.8	12.1	28.2	55.1	169.4	244.4	270.9	422.2	511.7	597.3	675.2	710.8	746.3	787.2	828.2	850.7	872.3	900.4	906.0	911.6	911.6	911.6
H-30	1.2	3.1	8.2	21.0	43.7	104.2	175.6	243.7	415.0	522.5	629.8	725.3	752.8	780.3	792.2	804.1	810.1	816.1	825.7	829.8	833.9	840.2	846.4
H-28	1.9	4.7	11.1	24.8	46.7	95.9	167.9	197.8	342.0	419.7	500.7	578.8	642.8	706.8	722.9	739.0	763.8	788.6	807.3	807.3	807.3	807.3	807.3
Criollo Blanco	3.1	7.4	16.4	33.6	57.7	111.6	140.9	215.6	357.7	437.2	528.4	623.3	667.9	712.6	746.0	779.5	807.7	835.9	858.0	868.2	878.3	885.8	893.3
Criollo Azul	2.2	5.6	14.3	31.8	59.4	117.6	198.7	221.5	364.5	446.3	528.9	635.7	657.1	678.5	720.8	763.1	786.7	810.2	833.1	835.8	838.4	844.6	850.9
Media	2.1	5.1	12.3	28.3	54.2	121.6	197.4	240.8	390.5	479.8	571.0	671.8	709.7	747.5	773.8	800.1	820.8	841.4	861.0	868.2	875.5	879.0	882.6
Media general	2.3	6.1	16.4	41.4	81.1	147.3	217.0	315.2	464.8	562.8	635.4	732.6	770.6	808.5	827.6	846.6	860.8	875.1	890.3	896.0	901.7	906.0	910.3
DMS (P≤0.05)	1.1	3.6	7.9	21.3	14.3	27.6	6.3	9.9	8.7	8.4	8.8	6.9	8.5	11.4	10.2	12.0	11.7	12.2	11.9	10.7	10.3	9.4	8.3

Cuadro 20AB. Expansión del área foliar de la planta durante los tratamientos de sequía (EAFPDTs, cm²) promedio con alto y bajo nitrógeno, determinado durante el tratamiento de sequía (S₃), para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Tratamiento	Días después de la siembra																						
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
Alto nitrógeno																							
H-49	0.7	2.8	8.1	20.0	28.7	38.7	63.6	115.0	251.8	331.2	356.2	460.4	560.3	647.7	684.1	719.1	782.4	767.1	813.3	821.2	846.2	864.7	873.1
H-44	0.2	0.9	2.1	5.4	8.2	14.1	33.1	76.8	182.0	260.1	285.1	393.1	506.6	617.7	678.2	713.2	782.6	787.8	833.2	832.6	857.6	865.4	865.4
H-40	0.5	2.1	6.2	16.8	41.8	51.8	99.3	174.5	272.9	302.0	327.0	445.0	562.1	646.0	720.7	755.7	862.3	864.4	870.8	851.9	876.9	883.0	890.0
H-34	0.2	1.0	2.8	8.4	13.1	23.1	52.9	103.3	185.5	240.5	265.5	377.4	501.6	625.8	705.4	740.4	825.7	837.7	843.7	821.9	846.9	850.9	856.4
H-33	0.2	0.9	2.7	7.9	11.6	21.6	48.5	93.9	188.0	222.8	247.8	340.8	435.0	524.8	649.5	684.5	781.1	785.0	788.1	776.2	801.2	803.8	807.1
H-32	0.4	1.5	3.6	9.7	14.5	24.5	51.8	96.8	158.3	201.5	226.5	314.5	406.0	499.2	552.9	587.9	665.5	677.3	704.5	686.6	711.6	711.6	711.6
Criollo Rojo	0.8	3.0	7.6	19.5	33.2	43.2	80.0	133.1	204.5	265.7	290.7	387.2	486.6	580.9	582.5	617.5	660.6	668.0	676.1	660.7	685.7	701.7	715.7
Media	0.4	1.7	4.7	12.5	21.6	31.0	61.3	113.3	206.1	260.5	285.5	388.3	494.0	591.7	653.3	688.3	765.7	769.6	790.0	778.7	803.7	811.6	817.0
DMS (P≤0.05)	0.4	1.3	1.4	4.5	13.6	10.8	13.9	4.4	2.8	2.3	1.9	2.1	6.9	0.8	0.5	11.1	9.0	0.5	7.1	6.2	0.5	9.5	6.9
Bajo nitrógeno																							
H-49	0.5	1.9	5.1	13.6	26.2	36.2	73.3	127.3	248.2	251.4	276.4	327.0	416.0	503.4	584.2	619.2	713.8	739.7	764.8	770.5	776.2	779.1	815.1
H-44	0.3	1.3	3.4	8.3	11.2	17.3	38.5	79.6	173.2	184.8	209.8	284.5	362.3	443.2	580.9	615.9	758.0	766.0	798.5	790.4	815.4	821.0	843.5
H-40	0.6	2.3	6.5	17.4	29.8	39.8	74.8	127.9	267.3	265.9	290.9	386.4	482.5	578.2	680.5	715.5	800.6	803.1	807.8	794.7	819.7	823.2	824.7
H-34	0.2	1.0	3.0	8.4	11.1	21.1	44.2	81.0	184.7	212.6	237.6	305.3	451.9	577.4	682.1	717.1	776.6	778.2	782.6	779.0	804.0	815.9	832.4
H-33	0.4	1.7	4.6	11.2	17.6	27.6	59.4	110.2	178.6	237.5	262.5	353.4	444.8	537.4	594.3	629.3	719.5	722.2	733.3	713.1	738.1	740.5	741.5
H-32	0.2	0.9	2.9	9.0	12.2	22.2	46.1	90.7	158.8	211.9	236.9	320.0	407.1	486.8	517.0	552.0	592.1	598.3	596.3	585.8	610.8	621.8	636.3
Criollo Rojo	0.7	2.7	6.4	14.0	24.4	34.4	65.3	110.2	186.0	208.3	233.3	317.7	414.6	515.5	531.3	566.3	573.3	576.1	580.6	596.3	621.3	658.5	669.0
Media	0.4	1.7	4.6	11.7	18.9	28.4	57.3	103.9	199.5	224.6	249.6	327.8	425.6	520.3	595.8	630.8	704.8	711.9	723.4	715.8	740.8	751.4	766.1
Media general	0.4	1.7	4.7	12.1	20.3	29.7	59.3	108.6	202.8	242.6	267.6	358.1	459.8	556.0	624.5	659.5	735.3	740.8	756.7	747.2	772.2	781.5	791.6
DMS (P≤0.05)	0.3	0.9	1.1	4.9	9.1	12.6	7.1	9.5	1.9	2.6	2.1	1.1	1.2	0.9	0.8	0.7	0.6	0.4	8.6	4.2	4.9	5.7	0.5

Cuadro 21AA. Días a floración masculina (FM) y femenina (FF) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego		Sequia 1				Sequia 2				Sequia 3					
	AN		BN		AN		BN		AN		BN		AN		BN	
	FM	FF	FM	FF												
H-50	74	77	75	78	76	79	75	78	77	83	78	83	80	115	81	116
H-48	71	74	72	75	72	75	72	76	84	88	85	89	85	99	84	98
H-30	80	84	81	85	81	85	82	86	84	88	83	87	90	-	89	-
H-28	76	81	76	82	75	81	76	83	78	85	77	84	79	91	81	-
Criollo Blanco	73	82	72	83	73	83	74	83	85	90	86	94	93	-	92	-
Criollo Azul	70	81	70	79	71	82	71	83	81	92	82	91	83	93	83	92
Media general	74	80	74	80	74	80	75	81	81	87	82	88	85	100	85	102
DMS (P≤0.05)	7.1	10.2	7.5	7.9	5.2	5.9	8.5	3.2	7.1	3.8	5.9	4.0	9.6	2.0	7.0	2.4

Cuadro 21AB. Días a floración masculina (FM) y femenina (FF) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego		Sequia 1				Sequia 2				Sequia 3					
	AN		BN		AN		BN		AN		BN		AN		BN	
	FM	FF														
H-49	71	75	72	75	72	83	72	83	74	87	75	87	77	89	77	90
H-44	76	80	75	80	76	81	77	82	78	83	78	84	81	-	82	-
H-40	71	75	72	75	72	76	72	76	74	82	74	83	78	101	78	-
H-34	79	82	79	82	80	83	80	84	83	88	83	89	85	-	87	-
H-33	69	72	69	72	70	73	70	73	73	76	73	77	76	-	77	-
H-32	68	71	68	71	69	71	68	72	72	79	73	80	75	90	76	95
Criollo Rojo	75	80	75	82	76	83	76	84	79	88	80	89	81	117	82	119
Media general	73	76	73	77	74	79	74	79	76	83	77	84	79	99	80	101
DMS (P≤0.05)	2.2	2.2	3.3	2.2	2.2	4.5	2.2	3.3	2.2	2.2	2.2	2.2	4.5	2.2	2.2	2.2

Cuadro 22AA. Acumulación de materia seca de la parte aérea (AMSPA) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego (g)		Sequia 1 (g)		Sequia 2 (g)		Sequia 3 (g)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-50	79.3	73.5	75.7	70.5	62.9	57.4	37.7	33.8
H-48	93.2	87.0	90.2	81.9	74.5	64.7	39.6	36.0
H-30	48.5	38.9	47.0	37.0	31.7	27.2	26.6	23.5
H-28	63.7	61.3	60.6	59.1	56.3	48.8	36.3	31.5
Criollo Blanco	47.9	38.9	46.0	37.4	32.9	26.8	24.3	21.0
Criollo Azul	69.1	61.0	68.3	58.9	51.4	45.1	36.5	31.9
Media general	66.9	60.1	64.6	57.5	51.6	45.0	33.5	29.6
DMS (P≤0.05)	11.4	9.7	6.1	13.9	9.5	6.0	11.3	2.9

Cuadro 22AB. Acumulación de materia seca de la parte aérea (AMSPA) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego (g)		Sequia 1 (g)		Sequia 2 (g)		Sequia 3 (g)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-49	76.4	60.0	72.4	56.3	56.6	52.5	34.6	32.2
H-44	69.1	58.5	66.4	57.8	53.1	48.3	29.0	27.2
H-40	71.2	65.0	69.7	63.1	58.0	50.8	36.6	33.8
H-34	71.0	48.0	68.8	46.7	41.0	34.6	33.0	31.0
H-33	76.7	57.3	73.6	54.4	46.6	45.0	21.0	19.5
H-32	84.4	62.9	80.6	61.4	34.6	30.5	30.9	28.1
Criollo Rojo	55.4	37.3	54.8	31.2	26.6	20.2	28.5	26.7
Media general	72.0	55.6	69.5	53.0	45.2	40.3	30.5	28.3
DMS (P≤0.05)	11.4	8.4	9.3	6.9	9.5	4.1	7.5	4.5

Cuadro 23AA. Rendimiento de grano por planta (RGPP) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego (g/planta)		Sequia 1 (g/planta)		Sequia 2 (g/planta)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-50	67.2	52.3	53.4	47.7	46.8	42.7
H-48	76.9	70.3	70.4	68.2	65.6	55.1
H-30	45.0	23.6	42.6	21.1	20.4	15.7
H-28	51.6	40.0	48.1	38.7	36.3	34.7
Criollo Blanco	36.8	29.5	34.4	28.3	23.1	17.4
Criollo Azul	55.1	35.4	50.6	34.1	40.4	25.3
Media general	55.4	41.8	49.9	39.7	38.8	31.8
DMS (P≤0.05)	53.9	54.5	40.1	47.9	40.9	46.3

Cuadro 23AB. Rendimiento de grano por planta (RGPP) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego (g/planta)		Sequia 1 (g/planta)		Sequia 2 (g/planta)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-49	60.3	51.8	57.1	48.7	41.4	40.6
H-44	54.6	48.1	49.2	46.7	40.9	37.3
H-40	57.2	46.9	53.1	44.8	37.4	36.5
H-34	60.3	45.3	55.3	40.3	35.9	32.1
H-33	53.3	50.7	50.1	48.7	39.9	36.1
H-32	53.8	43.6	44.2	41.2	42.8	31.0
Criollo Rojo	41.2	40.2	37.0	32.9	33.1	25.5
Media general	54.4	46.7	49.4	43.3	38.8	34.2
DMS (P≤0.05)	9.4	8.1	9.6	10.8	6.1	5.5

Cuadro 24AA. Número de granos normales (GN) y abortados (GA) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego				Sequia 1				Sequia 2			
	AN		BN		AN		BN		AN		BN	
	GN	GA	GN	GA	GN	GA	GN	GA	GN	GA	GN	GA
H-50	218	0	216	0	210	2	181	2	178	17	167	19
H-48	215	0	210	0	204	3	195	2	183	16	180	22
H-30	135	0	130	0	118	2	116	4	112	18	108	19
H-28	169	0	160	0	163	3	155	5	152	16	141	18
Criollo Blanco	142	0	140	0	139	3	137	3	128	13	125	17
Criollo Azul	128	0	125	0	113	2	112	4	106	12	104	16
Media general	168	0	164	0	158	2.5	149	3.3	143	15.3	138	18.5
DMS (P<0.05)	18.7	0	13.2	0	26.3	3.3	15.9	2.4	17.6	3.3	27.6	3.1

Cuadro 24AB. Número de granos normales (GN) y abortados (GA) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego				Sequia 1				Sequia 2			
	AN		BN		AN		BN		AN		BN	
	GN	GA	GN	GA								
H-49	174	0	170	0	166	4	162	5	154	12	138	16
H-44	134	0	131	0	128	3	122	4	113	17	105	21
H-40	162	0	158	0	155	5	148	6	136	18	118	23
H-34	144	0	140	0	137	2	133	2	122	16	113	18
H-33	132	0	127	0	124	3	117	4	111	11	103	16
H-32	122	0	117	0	114	5	110	6	106	17	102	20
Criollo Rojo	120	0	116	0	112	2	108	3	105	15	101	18
Media general	141	0	137	0	134	3	129	4	121	15	111	19
DMS (P<0.05)	24.5	0	11.1	0	24.5	2.2	25.6	4.4	24.5	4.4	8.9	4.4

Cuadro 25AA. Peso de 100 granos en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego (g)		Sequia 1 (g)		Sequia 2 (g)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-50	31.8	28.4	25.2	22.2	21.3	19.7
H-48	37.3	33.1	33.7	32.2	30.2	24.8
H-30	37.5	17.5	31.0	15.2	14.1	10.1
H-28	30.5	26.1	27.5	21.4	19.6	18.3
Criollo Blanco	25.8	16.2	22.6	15.3	12.1	9.0
Criollo Azul	48.5	28.2	41.4	26.2	25.1	15.1
Media general	35.0	25.0	30.0	22.0	20.0	16.0
DMS (P≤0.05)	5.3	4.9	8.2	4.6	6.5	5.2

Cuadro 25AB. Peso de 100 granos en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego (g)		Sequia 1 (g)		Sequia 2 (g)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-49	29.4	27.5	24.4	24.3	23.9	18.6
H-44	31.6	22.8	14.6	14.5	12.1	11.5
H-40	29.9	29.0	28.6	23.3	13.6	12.9
H-34	39.1	33.8	28.4	26.9	23.9	21.1
H-33	34.3	33.2	29.2	25.4	25.2	18.1
H-32	29.6	28.2	20.7	20.4	19.9	16.7
Criollo Rojo	38.0	35.7	34.9	34.9	34.9	22.6
Media general	33.0	30.0	26.0	24.0	22.0	17.0
DMS (P≤0.05)	8.5	11.3	4.4	3.7	3.8	7.3

Cuadro 26AA. Acumulación de materia seca en raíces (AMSR) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego (g)		Sequia 1(g)		Sequia 2 (g)		Sequia 3 (g)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-50	9.3	8.3	14.3	13.1	15.6	15.4	21.7	16.3
H-48	11.2	7.4	12.3	11.7	12.6	12.6	21.8	14.3
H-30	8.1	6.3	9.4	9.0	10.6	10.4	17.2	12.8
H-28	7.2	6.5	8.6	8.5	12.1	9.2	17.8	12.5
Criollo Blanco	11.2	9.4	12.0	11.6	14.6	13.8	17.9	17.4
Criollo Azul	9.8	6.4	11.2	10.3	15.0	12.4	16.4	15.7
Media general	9.5	7.4	11.3	10.7	13.4	12.3	18.8	14.8
DMS (P≤0.05)	1.5	1.0	1.0	1.0	1.6	1.5	1.3	1.5

Cuadro 26AB. Acumulación de materia seca en raíces (AMSR) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego (g)		Sequia 1(g)		Sequia 2 (g)		Sequia 3 (g)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-49	10.4	7.8	13.6	12.6	14.8	14.0	20.8	16.3
H-44	6.5	5.5	8.9	7.1	12.9	11.4	16.8	15.1
H-40	10.1	8.8	11.6	10.8	14.4	11.7	19.9	18.9
H-34	5.9	4.7	6.9	6.8	9.0	8.1	17.7	12.4
H-33	7.8	7.3	10.8	8.5	13.5	12.6	15.0	14.5
H-32	5.7	4.9	6.9	6.0	7.7	7.6	15.2	12.5
Criollo Rojo	10.1	8.4	13.5	11.7	14.3	13.5	16.7	15.2
Media general	8.1	6.8	10.3	9.1	12.4	11.3	17.4	15.0
DMS (P≤0.05)	2.3	1.3	7.1	4.7	2.5	3.3	4.0	6.9

Cuadro 27AA. Eficiencia en el uso del agua para la producción de materia seca parte aérea (EUA_{MSPA}) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego (g de MSPA/kg de H ₂ O)		Sequia 1 (g de MSPA/kg de H ₂ O)		Sequia 2 (g de MSPA/kg de H ₂ O)		Sequia 3 (g de MSPA/kg de H ₂ O)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
	H-50	1.92	1.70	2.09	1.89	2.34	2.07	2.37
H-48	2.08	1.83	2.69	2.32	2.91	2.43	2.61	2.23
H-30	1.01	0.82	1.21	1.00	1.17	0.97	1.68	1.49
H-28	1.74	1.63	2.19	2.20	2.59	2.16	2.43	2.09
Criollo Blanco	1.14	0.90	1.25	1.00	1.21	0.99	1.52	1.25
Criollo Azul	1.74	1.45	2.09	1.78	1.89	1.67	2.03	1.69
Media general	1.61	1.39	1.92	1.70	2.02	1.72	2.11	1.79
DMS (P≤0.05)	0.34	0.24	0.24	0.41	0.39	0.23	0.70	0.16

Cuadro 27AB. Eficiencia en el uso del agua para la producción de materia seca parte aérea (EUA_{MSPA}) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego (g de MSPA/kg de H ₂ O)		Sequia 1 (g de MSPA/kg de H ₂ O)		Sequia 2 (g de MSPA/kg de H ₂ O)		Sequia 3 (g de MSPA/kg de H ₂ O)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
	H-49	1.61	1.31	1.62	1.45	1.89	1.86	2.38
H-44	1.81	1.46	2.04	1.90	2.25	2.11	2.67	2.13
H-40	1.42	1.27	1.52	1.67	1.93	1.69	1.94	1.74
H-34	1.54	1.00	1.58	1.45	1.61	1.45	2.25	1.67
H-33	1.78	1.26	1.80	1.55	1.83	1.76	1.93	1.84
H-32	1.85	1.33	1.97	1.88	2.10	1.92	2.27	1.96
Criollo Rojo	1.06	0.68	1.21	0.72	1.26	0.77	2.38	0.89
Media general	1.58	1.19	1.68	1.52	1.84	1.65	2.26	1.73
DMS (P≤0.05)	0.61	0.23	0.13	0.22	0.14	0.22	0.16	0.43

Cuadro 28AA. Eficiencia en el uso del agua en la producción de materia seca de raíces (EU_{MSR}) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego (g de		Sequia 1 (g de		Sequia 2 (g de		Sequia 3 (g de	
	<u>MSR/kg de H₂O</u>)		<u>MSR/kg de H₂O</u>)		<u>MSR/kg de H₂O</u>)		<u>MSR/kg de H₂O</u>)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-50	0.23	0.19	0.39	0.35	0.58	0.56	1.37	0.95
H-48	0.25	0.16	0.37	0.33	0.49	0.47	1.44	0.88
H-30	0.17	0.13	0.24	0.24	0.39	0.37	1.08	0.81
H-28	0.20	0.17	0.31	0.31	0.56	0.41	1.19	0.83
Criollo Blanco	0.27	0.22	0.33	0.31	0.54	0.51	1.11	1.03
Criollo Azul	0.25	0.15	0.34	0.31	0.55	0.46	0.92	0.83
Media general	0.23	0.17	0.33	0.31	0.52	0.46	1.18	0.89
DMS (P≤0.05)	0.48	0.21	0.36	0.14	0.84	0.77	1.25	0.40

Cuadro 28AB. Eficiencia en el uso del agua en la producción de materia seca de raíces (EU_{MSR}) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos no utilizados en las mediciones de los parámetros en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego (g de		Sequia 1 (g de		Sequia 2 (g de		Sequia 3 (g de	
	<u>MSR/kg de H₂O</u>)		<u>MSR/kg de H₂O</u>)		<u>MSR/kg de H₂O</u>)		<u>MSR/kg de H₂O</u>)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-49	0.22	0.17	0.33	0.30	0.49	0.49	1.43	0.81
H-44	0.17	0.14	0.27	0.23	0.55	0.50	1.09	0.82
H-40	0.20	0.17	0.25	0.29	0.48	0.39	1.05	0.97
H-34	0.13	0.10	0.16	0.21	0.35	0.34	1.21	0.67
H-33	0.18	0.16	0.28	0.24	0.49	0.49	1.29	0.87
H-32	0.13	0.10	0.19	0.18	0.32	0.38	1.12	0.74
Criollo Rojo	0.19	0.15	0.30	0.27	0.42	0.41	1.06	0.51
Media general	0.17	0.14	0.25	0.25	0.44	0.43	1.18	0.77
DMS (P≤0.05)	0.11	0.06	0.10	0.11	0.10	0.10	0.33	0.22

Cuadro 29AA. Eficiencia en el uso del agua en la producción de biomasa total (EUA_{BM}) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego		Sequia 1		Sequia 2		Sequia 3	
	(g de BM/Kg H ₂ O)		(g de BM/Kg H ₂ O)		(g de BM/Kg H ₂ O)		(g de BM/Kg H ₂ O)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-50	2.14	1.90	2.48	2.24	2.92	2.62	3.74	2.94
H-48	2.33	1.98	3.06	2.65	3.40	2.91	4.05	3.11
H-30	1.19	0.95	1.46	1.24	1.57	1.34	2.77	2.30
H-28	1.94	1.80	2.50	2.51	3.14	2.57	3.62	2.92
Criollo Blanco	1.41	1.12	1.58	1.32	1.74	1.49	2.63	2.28
Criollo Azul	1.98	1.60	2.44	2.09	2.44	2.13	2.95	2.52
Media general	1.83	1.56	2.25	2.01	2.54	2.18	3.29	2.68
DMS (P≤0.05)	0.38	0.34	0.39	0.28	0.37	0.40	0.62	0.93

Cuadro 29AB. Eficiencia en el uso del agua en la producción de biomasa total (EUA_{BM}) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego		Sequia 1		Sequia 2		Sequia 3	
	(g de BM/Kg H ₂ O)		(g de BM/Kg H ₂ O)		(g de BM/Kg H ₂ O)		(g de BM/Kg H ₂ O)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-49	1.83	1.48	1.93	1.78	2.39	2.35	4.26	2.72
H-44	1.98	1.59	2.31	2.13	2.79	2.60	2.98	2.95
H-40	1.63	1.44	1.78	1.96	2.40	2.08	2.99	2.71
H-34	1.67	1.10	1.73	1.66	1.96	1.79	3.46	2.35
H-33	1.96	1.42	2.08	1.80	2.31	2.25	2.73	2.66
H-32	1.98	1.44	2.15	2.06	2.42	2.30	3.39	2.80
Criollo Rojo	1.25	0.83	1.51	0.99	1.80	1.18	2.87	1.40
Media general	1.76	1.33	1.93	1.77	2.30	2.08	3.24	2.51
DMS (P≤0.05)	0.31	0.07	0.83	0.22	0.20	0.27	0.17	0.44

Cuadro 30AA. Eficiencia en el uso del agua en rendimiento de grano (EU_{RGP}) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego		Sequia 1		Sequia 2	
	(g de RGP/kg de H ₂ O)		(g de RGP/kg de H ₂ O)		(g de RGP/kg de H ₂ O)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-50	1.63	1.21	1.47	1.28	1.74	1.54
H-48	1.72	1.48	2.10	1.93	2.56	2.07
H-30	0.94	0.50	1.10	0.57	0.75	0.56
H-28	1.41	1.06	1.74	1.44	1.66	1.54
Criollo Blanco	0.88	0.68	0.94	0.76	0.85	0.64
Criollo Azul	1.38	0.84	1.55	1.03	1.48	0.94
Media general	1.33	0.96	1.48	1.17	1.51	1.21
DMS (P≤0.05)	1.38	1.34	1.35	1.64	1.83	1.96

Cuadro 30AB. Eficiencia en el uso del agua en rendimiento de grano (EU_{RGP}) en promedio de riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) para los genotipos no utilizados en las mediciones de los potenciales en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Variedades	Riego		Sequia 1		Sequia 2	
	(g de RGP/kg de H ₂ O)		(g de RGP/kg de H ₂ O)		(g de RGP/kg de H ₂ O)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-49	1.27	1.13	1.28	1.26	1.38	1.44
H-44	1.43	1.20	1.51	1.54	1.73	1.63
H-40	1.14	0.92	1.16	1.19	1.24	1.22
H-34	1.31	0.95	1.32	1.25	1.41	1.34
H-33	1.24	1.12	1.30	1.39	1.46	1.41
H-32	1.18	0.92	1.23	1.26	1.80	1.55
Criollo Rojo	0.79	0.73	0.82	0.76	0.98	0.78
Media general	1.19	1.0	1.23	1.24	1.43	1.34
DMS (P≤0.05)	0.12	0.10	0.17	0.14	0.22	0.17