

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
AGRONÓMICA Y DEL MEDIO NATURAL**

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

**Obtención de híbridos de maíz y *Tripsacum
dactyloides* y evaluación de su utilidad
potencial en la mejora genética del maíz.**

TESIS DOCTORAL

PRESENTADA POR:

María Dina García

DIRIGIDA POR:

Vicente Moreno Ferrero

Valencia, 2012

Don Vicente Moreno Ferrero Catedrático de Genética del Departamento de Biotecnología de la Universidad Politécnica de Valencia adscrito al Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas (centro mixto UPV - CSIC).

Certifica:

Que la memoria titulada “Obtención de híbridos de maíz y *Tripsacum dactyloides* y evaluación de su utilidad potencial en la mejora genética del maíz” presentada por Dña. María Dina García para optar al grado de Doctor Ingeniero Agrónomo ha sido realizada bajo su dirección.

Y para que así conste a todos los efectos y a petición de la persona interesada se expide el presente certificado en Valencia.

Mayo del año 2012.

Vicente Moreno Ferrero

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis.

A la Universidad Nacional de Lomas de Zamora.

A la Universidad Politécnica de Valencia.

Al Instituto Fitotécnico de Santa Catalina, FCA, UNLP.

A mi familia.

ÍNDICES

1. ÍNDICE TEMÁTICO

Tema	Página
ÍNDICES	IV
1. ÍNDICE TEMÁTICO	IV
2. ÍNDICE DE TABLAS	VII
3. ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	IX
4. ÍNDICE DE FIGURAS	X
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	XIV
TÍTULO Y AUTOR	1
RESUMEN	2
RESUM	5
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN GENERAL Y ANTECEDENTES	11
1. Situación y problemática	11
1.1. Aprovechamiento de la variabilidad interespecífica para el mejoramiento de los cultivos	11
1.2. Características de los suelos salinos de la provincia de Buenos Aires (Argentina)	12
2. Características del género <i>Tripsacum</i>	15
3. Hibridación de los géneros <i>Zea</i> y <i>Tripsacum</i>	20
3.1. Obtención y análisis citogenético de las plantas híbridas	20
3.2. Fertilidad de las plantas híbridas	21
3.3. Evaluación de la utilidad agronómica de los híbridos	22
4. Nivel de tolerancia a la salinidad y/o alcalinidad del maíz, el <i>T. dactyloides</i> y los híbridos entre las dos especies	23
5. Influencia del estadio de crecimiento de la planta sobre la tolerancia a la salinidad en el maíz	27
6. Parámetros fisiológicos afectados por la salinidad en el maíz y otras plantas cultivadas	28
6.1. La salinidad induce una respuesta bifásica en el crecimiento	29
6.2. Mecanismos involucrados en la reducción del crecimiento causada por la salinidad	30
6.2.1. Hojas	30

6.2.2. Raíces	34
6.3. Relación tallo/raíz	35
6.4. Relaciones hídricas	37
6.5. Daño oxidativo, contenido de pigmentos foliares e integridad y funcionalidad de las membranas celulares	39
6.6. Masa foliar seca por unidad de área foliar (MFE)	43
7. Control de la absorción y transporte del Na ⁺ en las plantas	44
7.1. Bombas primarias y transportadores de Na ⁺ de las células vegetales	44
7.2. Termodinámica del transporte de Na ⁺ en la raíz	47
7.2.1. Influjo de Na ⁺	47
7.2.2. Eflujo de Na ⁺	48
7.3. Compartimentalización intracelular de Na ⁺	49
7.4. Efecto de la concentración de Ca ²⁺ en la solución nutritiva sobre el influjo neto de Na ⁺	49
7.5. Papel de la exclusión del Na ⁺ en la tolerancia a la salinidad en el maíz	50
HIPÓTESIS DE TRABAJO	53
OBJETIVOS	54
CAPÍTULO I. Regeneración de plantas a partir de embriones inmaduros de <i>Zea mays</i> ssp. <i>mays</i> x <i>Tripsacum dactyloides</i> (L.) L.	56
1. INTRODUCCIÓN	56
2. MATERIALES Y MÉTODOS	58
3. RESULTADOS	60
4. DISCUSIÓN	68
5. CONCLUSIONES	71
CAPÍTULO II. Respuestas a la salinidad y la alcalinidad de maíz, <i>Tripsacum</i> y generaciones avanzadas del híbrido de maíz x <i>Tripsacum</i>	72
1. INTRODUCCIÓN	72
2. MATERIALES Y MÉTODOS	77
2.1. Obtención y análisis citogenética de los híbridos	77
2.2. Obtención de las plántulas	78
2.3. Pre-tratamiento del sustrato	80
2.4. Tratamientos y condiciones de cultivo	80

2.5. Mediciones	84
2.6. Análisis de los datos	88
3. RESULTADOS	89
3.1. Experimento I. Efectos de la salinidad y alcalinidad sobre maíz y <i>T. dactyloides</i>	89
3.1.1. Efectos del tampón Tris	89
3.1.2. Efectos de la alcalinidad y la salinidad	92
3.1.2.1. Evolución del pH en las soluciones nutritivas	92
3.1.2.2. Efecto de la salinidad y la alcalinidad sobre las plantas de maíz y <i>T. dactyloides</i>	94
3.1.2.2.1. Crecimiento	94
3.1.2.2.2. Desarrollo	98
3.1.2.2.3. Contenido Relativo de Agua (CRA), Porcentaje de Pérdida de Electrolitos (PPE) y Masa Foliar Específica (MFE)	103
3.1.2.2.4. Contenido foliar de pigmentos (clorofila a, b y carotenoides) y relación clorofilas a/b	106
3.1.2.2.5. Contenido de cationes	107
3.2. Experimento II: Efectos de la salinidad sobre maíz y generaciones avanzadas de un híbrido de maíz x <i>T. dactyloides</i>	116
3.2.1. Obtención y características de los híbridos	116
3.2.2. Efectos de la salinidad sobre las plantas	122
3.2.2.1. Crecimiento	122
3.2.2.2. Desarrollo	125
3.2.2.3. Contenido relativo de agua (CRA), Masa foliar específica (MFE) y Porcentaje de pérdida de electrolitos foliares (PPE _f)	127
3.2.2.4. Contenido de pigmentos foliares	127
3.2.2.5. Contenido de iones	130
4. DISCUSIÓN	135
4.1. Obtención y evaluación de generaciones avanzadas de un híbrido de maíz x <i>T. dactyloides</i>	135
4.2. Evaluación de la tolerancia a la salinidad de maíz, <i>T. dactyloides</i> y generaciones avanzadas de un híbrido entre ambas especies	136
5. CONCLUSIONES	166
CONSIDERACIONES FINALES	169

CONCLUSIONES GENERALES	174
BIBLIOGRAFÍA	177

2. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla 1. Taxón, nivel de ploidía y número cromosómico de las especies del género <i>Tripsacum</i> (Kindiger y Dewald, 1997; Li <i>et al.</i> , 1999; de Wet <i>et al.</i> , 1981).	17
Tabla 2. Umbral de conductividad eléctrica (CE_u , $dS\ m^{-1}$) y pendiente (b , % de reducción del rendimiento/ $dS\ m^{-1}$) de acuerdo al análisis de regresión de los tratamientos salinos.	25
Tabla 3. Regeneración, porcentajes de supervivencia e incremento diario relativo de peso de callos de un híbrido F1 de maíz x <i>T. dactyloides</i> expuestos a diferentes concentraciones de NaCl (adaptado de Pesqueira <i>et al.</i> , 2003).	26
Tabla 4. Peso fresco y seco del vástago y la raíz de plantas de un híbrido de maíz x <i>T. dactyloides</i> regadas con 250 mM de NaCl y con agua corriente (control) durante 20 días (adaptado de Pesqueira <i>et al.</i> , 2006).	27
Tabla 5. Tamaño promedio de embriones híbridos de maíz y <i>T. dactyloides</i> , cosechados a los 13, 14 y 15 días después de la polinización (DDP).	61
Tabla 6. Regeneración de plantas a partir de embriones híbridos de maíz y <i>T. dactyloides</i> , rescatados entre los 13 y 15 DDP y sembrados en el medio básico de García <i>et al.</i> (1992) con el agregado de $4\ \mu mol.L^{-1}$ de 2,4-D.	63
Tabla 7. Respuestas observadas a los 25-30 DDS en embriones híbridos de maíz y <i>T. dactyloides</i> , sembrados en presencia de $4,6\ \mu mol\ L^{-1}$ de 2,4-D.	65
Tabla 8. Respuestas de los embriones híbridos de maíz (♀) y <i>T. dactyloides</i> (♂), aislados del cariópses a diferentes tiempos después de la polinización y cultivados en el medio nutritivo de García <i>et al.</i> (1992) libre de reguladores del crecimiento.	67
Tabla 9. Contenido de NaCl y valores (mediana \pm mínimo y máximo) de pH y conductividad, medidos en las soluciones nutritivas frescas.	81
Tabla 10. Concentración de sales de la solución nutritiva básica (adaptada de la solución nutritiva N6, Chu <i>et al.</i> , 1978).	82
Tabla 11. Concentración de macro y micronutrientes de la solución nutritiva básica utilizada (adaptada de la solución nutritiva N6, Chu <i>et al.</i> , 1978).	83

Tabla 12. Composición de la solución nutritiva (control) utilizada para el crecimiento de las plantas a partir de los 7 dds (maíz e híbridos MT41 y MT51) ó 14 dds (<i>Tripsacum</i>).	84
Tabla 13. Efecto de la adición de mmol L ⁻¹ de Tris 5 en la solución de crecimiento (manteniendo el pH = 5,8) sobre varios parámetros fisiológicos en maíz y <i>T. dactyloides</i> .	91
Tabla 14. Efecto de la adición de 5 mmol L ⁻¹ de Tris en la solución de crecimiento (pH=5,8) sobre el contenido de cationes de maíz y <i>T. dactyloides</i> .	92
Tabla 15. Peso seco de la parte aérea y la raíz y relación tallo/raíz de maíz y <i>T. dactyloides</i> creciendo en soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de NaCl (1 y 101 mM) pH (5,8 y 8,5).	95
Tabla 16. Pesos secos relativos al control (NaCl 1 mM y pH 5,8) de la parte aérea y la raíz de maíz y <i>T. dactyloides</i> creciendo en soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de NaCl (1 y 101 mM) pH (5,8 y 8,5).	96
Tabla 17. Días desde la siembra a la emergencia de las hojas en plantas de maíz cultivadas en soluciones nutritivas con diferente pH y concentración de NaCl.	199
Tabla 18. Días desde la siembra a la emergencia de las hojas en plantas de <i>T. dactyloides</i> cultivadas en soluciones nutritivas con diferente pH y concentración de NaCl.	100
Tabla 19. Filocrono promedio (\pm EEM) de plantas de maíz y <i>Tripsacum</i> cultivadas con distintos niveles de alcalinidad y salinidad.	102
Tabla 20. Efectos de la concentración de NaCl (1 y 101 mM de NaCl) y el pH (5,8 y 8,5) de la solución nutritiva sobre el contenido relativo de agua (CRA) foliar y la pérdida de electrolitos de las hojas y las raíces de maíz y <i>Tripsacum</i> .	104
Tabla 21. Contenido de pigmentos foliares de plantas de maíz y <i>T. dactyloides</i> cultivadas en soluciones nutritivas con diferente pH y concentración de NaCl.	106
Tabla 22. Comparación de la concentración de Na ⁺ de la parte aérea y la raíz de plantas de maíz y <i>Tripsacum</i> cultivadas con dos niveles de salinidad (1 y 101 mM de NaCl) y alcalinidad (pH 5,8 y 8,5).	113
Tabla 23. Efectos de la salinidad y la alcalinidad de la solución nutritiva sobre las concentraciones foliares de K ⁺ , Na ⁺ y Ca ²⁺ de maíz (línea B73) y <i>T. dactyloides</i> .	115
Tabla 24. Fertilidad (promedio \pm DE) y diámetro del polen de plantas de la segunda progenie de un híbrido de maíz x <i>T. dactyloides</i> .	122
Tabla 25. Efecto del genotipo sobre el peso seco del vástago,	123

la raíz, la biomasa total y la relación vástago/raíz de plantas de maíz (línea B73) y generaciones avanzadas (MT41 y MT51) de un híbrido de maíz x *T. dactyloides*.

Tabla 26. Peso seco relativo al control (%) del vástago, la raíz y la biomasa total de plantas de maíz (línea B73) y generaciones avanzadas (MT41 y MT51) de un híbrido de maíz x *T. dactyloides* cultivadas con NaCl 101 mM. 124

Tabla 27. Días desde la siembra a la emergencia de las hojas en plantas de maíz (línea B73) y generaciones avanzadas (MT41 y MT51) de un híbrido de maíz x *T. dactyloides* cultivadas con 1 y 101 mM. 126

Tabla 28. Filocrono promedio (\pm EEM) entre la aparición de la tercera y la quinta hoja de plantas del maíz (línea B73) y generaciones avanzadas (MT41 y MT51) de un híbrido de maíz x *T. dactyloides*. 127

Tabla 29. Contenido de clorofila foliar total en plantas de maíz (línea B73) y generaciones avanzadas (MT41 y MT51) de un híbrido de maíz x *T. dactyloides* cultivadas con dos niveles de NaCl (1 y 101 mM). 130

4. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. <i>T. dactyloides</i> (L.) L. (2n=72). a) Cultivo en Santa Catalina (provincia de Buenos Aires, Argentina) 1 año después de la siembra. b) Detalle de la inflorescencia.	19
Figura 2. Clasificación realizada por Maas y Hoffman (1977) que establece rangos de tolerancia relativa a la salinidad para varias especies cultivadas.	24
Figura 3. Modelo simplificado de los sistemas de percepción y extrusión en respuesta a un estrés salino y bombas primarias de las membranas de células vegetales.	45
Figura 4. Proteínas de las membranas celulares involucradas en el mantenimiento de la homeostasis celular en condiciones de salinidad.	46
Figura 5. Transporte de Na ⁺ y Cl ⁻ en las interfases suelo-raíz y células de la estela-vasos xilemáticos de la raíz.	47
Figura 6. Tamaño de los embriones híbridos de distintos genotipos de maíz y <i>T. dactyloides</i> en el momento del rescate de los mismos: a) ZchxT; b) CKxT.	62
Figura 7. Tamaño inicial de los embriones híbridos de maíz y <i>T. dactyloides</i> , sembrados en el medio básico de García <i>et al.</i> (1992) con el agregado de 4,6 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ de 2,4-D.	63

Figura 8. Rescate de embriones de híbridos de <i>Z. mays</i> ssp. <i>mays</i> cv. Zapalote chico y <i>T. dactyloides</i> .	66
Figura 9. Híbrido de maíz x <i>T. dactyloides</i> : a) célula somática en metafase, b) Planta adulta.	67
Figura 10. Plantas de maíz (línea B73) y de la progenie de un híbrido de maíz x <i>T. dactyloides</i> (MT41 y MT51) el día 7 después de la siembra.	79
Figura 11. Extracción de la cúpula y las glumas de las unidades de dispersión <i>T. dactyloides</i> .	80
Figura 12. Efecto de la adición de Tris sobre la evolución del pH en el transcurso del tiempo de la solución nutritiva de crecimiento sin plantas, con 1 ó 101 mM de NaCl.	90
Figura 13. Evolución de los valores de pH en las soluciones nutritivas sin plantas. Todas las soluciones contenían 5 mM de Tris.	93
Figura 14. Valores de pH en las soluciones nutritivas con plantas de maíz o <i>Tripsacum</i> entre los 6 y los 13 días desde el inicio de los tratamientos.	94
Figura 15. Plantas de maíz (línea B73) cultivadas en hidroponía a los 22 DDS (15 días después del comienzo de los tratamientos): a- control (1 mM NaCl, pH=5,8); b- Alcalinidad (1 mM NaCl, pH=8,5); c- Salinidad (101 mM NaCl, pH=5,8); d- Alc+sal (101 mM NaCl, pH=8,5).	97
Figura 16. Plantas de <i>Tripsacum dactyloides</i> cultivadas en hidroponía a los 38 DDS y 24 días después del comienzo de los tratamientos.	98
Figura 17. Tiempo térmico acumulado (base 10 °C) desde la siembra hasta la cosecha de las plantas.	99
Figura 18. Número de hojas emergidas en función del Tiempo Térmico en plantas de maíz creciendo en soluciones nutritivas con dos niveles de NaCl (mM) y pH: 1NaCl-pH 5,8; 1NaCl-pH=8,5; 101NaCl-pH=5,8-; 101NaCl-pH=8,5.	101
Figura 19. Número de hojas emergidas en función del Tiempo Térmico en plantas de <i>T. dactyloides</i> creciendo en soluciones nutritivas con dos niveles de NaCl (mM) y pH: 1NaCl-pH 5,8; 1NaCl-pH=8,5; 101NaCl-pH=5,8-; 101NaCl-pH=8,5.	102
Figura 20. Efectos de la concentración de NaCl (1 y 101 mM de NaCl) y el pH (5,8 y 8,5) sobre la masa foliar específica de maíz y <i>Tripsacum</i> .	105
Figura 21. Raíces de plantas de maíz (línea B73) cultivadas en hidroponía a los 22 DDS y 15 días después del comienzo de los tratamientos.	105
Figura 22. Contenido de pigmentos foliares de plantas de maíz y <i>T. dactyloides</i> cultivadas en soluciones nutritivas con	107

diferente pH y concentración de NaCl.	
Figura 23. Efectos de la salinidad y la alcalinidad sobre el contenido de K^+ y Na^+ en la parte aérea y en la raíz de del maíz (línea B73) y <i>T. dactyloides</i> .	108
Figura 24. Efectos de la salinidad y la alcalinidad sobre el contenido de Ca^{2+} y la relación Ca^{2+}/Na^+ foliar de maíz (línea B73) y <i>T. dactyloides</i> .	110
Figura 25. Efectos de la salinidad (1 y 101 mM de NaCl) y la alcalinidad (pH 5,8 y 8,5) de la solución de cultivo sobre la relación K^+/Na^+ en la parte aérea de maíz (línea B73) y <i>T. dactyloides</i> .	111
Figura 26. Absorción (mmol Na^+ total en la planta/g PS de raíz) y translocación a la parte aérea (contenido de Na^+ /contenido de Na^+ en la raíz) de Na^+ en plantas de maíz y <i>T. dactyloides</i> cultivadas con dos niveles de salinidad (1 y 101 mM de NaCl) y alcalinidad (pH 5,8 y 8,5).	114
Figura 27. Plantas macolladoras de la tercera progenie de un híbrido de maíz x <i>T. dactyloides</i> en estado vegetativo: a) MT41, b) MT51.	116
Figura 28. Plantas de segunda progenie de un híbrido entre maíz ($2n = 40$) y <i>T. dactyloides</i> .	117
Figura 29. Espigas y cariopses de <i>T. dactyloides</i> (a) e híbridos de maíz x <i>T. dactyloides</i> (b, c y d).	118
Figura 30. Cuarta progenie de un híbrido de maíz x <i>T. dactyloides</i> : a y b) Plantas; c, d y e) Espigas obtenidas a partir de la autofecundación de las plantas; d) MT41 y e) MT51.	119
Figura 31. Meiosis en plantas de la segunda progenie de un híbrido entre maíz ($2n = 40$) y <i>T. dactyloides</i> .	120
Figura 32. Células en Anafase I de plantas segunda progenie de un híbrido entre maíz ($2n = 40$) y <i>T. dactyloides</i> .	121
Figura 33. Frecuencia de plantas según la fertilidad del polen en las progenies 4 (P4) y 5 (P5) de un híbrido de maíz x <i>T. dactyloides</i> . El número de plantas analizadas fue de 12 y 40, para las progenies 4 y 5, respectivamente.	121
Figura 34. Efecto de la salinidad sobre el PS de la parte aérea, la raíz y la biomasa total y relación parte aérea/raíz del maíz (línea B73) y los híbridos MT41 y MT51.	124
Figura 35. Plantas de maíz (B73) y generaciones avanzadas (MT51 y MT41) de un híbrido de maíz x <i>T. dactyloides</i> , 22 DDS.	125
Figura 36. Tiempo térmico acumulado (base 10 °C) entre el inicio de los tratamientos y la aparición de la quinta hoja de las plantas.	126
Figura 37. Efecto de la salinidad sobre el CRA, el PPE y la MFE del maíz línea B73) y los híbridos MT41 y MT51.	128

Figura 38. Efectos de la salinidad sobre el contenido foliar de clorofila a, clorofila b, carotenoides y la relación clorofila a/b de la línea de maíz B73 y los híbridos MT41 y MT51 (generaciones avanzadas de maíz x <i>T. dactyloides</i>).	129
Figura 39. Efectos de la salinidad sobre el contenido de K ⁺ y Na ⁺ en la parte aérea y en la raíz de la línea de maíz (línea B73) y los híbridos MT41 y MT51 (generaciones avanzadas de maíz x <i>T. dactyloides</i>).	131
Figura 40. Efectos de la salinidad sobre el contenido de Ca ²⁺ en la parte aérea de maíz (línea B73) y los híbridos MT41 y MT51 (generaciones avanzadas de maíz x <i>T. dactyloides</i>).	132
Figura 41. Efectos de la salinidad sobre la relación K ⁺ /Na ⁺ en la parte aérea y en la raíz de la línea de maíz B73 y los híbridos MT41 y MT51 (generaciones avanzadas de maíz x <i>T. dactyloides</i>).	133
Figura 42. Efectos de la salinidad sobre la absorción de Na ⁺ y su translocación hacia la parte aérea en el maíz (línea B73) y los híbridos MT41 y MT51 (generaciones avanzadas de maíz x <i>T. dactyloides</i>).	134

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

2,4-D	ácido 2,4-diclorofenoxiacético
μM	Micromolar
μmol	Micromol
ψ_a	potencial hídrico
ψ_s	potencial de soluto
ABA	ácido abscísico
$\text{abs}_{(470)}$	absorción en 470 nm de longitud de onda
$\text{abs}_{(647)}$	absorción en 647 nm de longitud de onda
$\text{abs}_{(663)}$	absorción en 663 nm de longitud de onda
ANVA	análisis de la varianza
atm	Atmósfera
atNHX	atiportador Na^+/H^+ de las endomembranas
B73	<i>Zea mays</i> ssp <i>mays</i> línea comercial B73 ($2n = 20$)
B73xT	<i>Zea mays</i> ssp <i>mays</i> línea comercial B73 x <i>T. dactyloides</i>
CE_a	conductividad eléctrica del agua
CE_e	conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo
CE_u	umbral de conductividad eléctrica
C_i	conductividad inicial
CK	<i>Zea mays</i> ssp <i>mays</i> cv. Colorado Kevin ($2n = 20$)
CKxT	<i>Zea mays</i> ssp <i>mays</i> cv. Colorado Kevin x <i>Tripsacum dactyloides</i>
Cl _a	clorofila a
Cl _b	clorofila b
CM	configuración meiótica
C_m	conductividad máxima

cm	Centímetro
CRA	contenido relativo de agua
DAF	desviación asociada a la frecuencia
DDP	días después de la polinización
DDS	días después de la siembra
DFFF	Densidad de flujo fotónico fotosintético
dS	deci Siemens
EEM	error estándar de la media
F_v/F_m	relación fluorescencia variable/fluorescencia máxima de la clorofila
g	Gramo
GD	grados día (°C día)
h	Hora
ha	Hectárea
HKT	transportadores de K ⁺ de alta afinidad (del inglés <i>high affinity K⁺ transporter</i>)
KIs	<i>Zea mays</i> ssp <i>mays</i> línea Knobless (2n = 20)
KIsxT	<i>Zea mays</i> ssp <i>mays</i> línea Knobless x <i>T. dactyloides</i>
L	Litro
<i>L</i>	conductividad hidráulica
LSD-test	(del inglés <i>least significance difference test</i>)
<i>m</i>	extensibilidad de la pared celular
mc	meristema caulinar
MDS	meses después de la siembra
MFE	masa foliar específica
mg	Miligramo
ml	Mililitro

mM	Milimolar
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
MT41	híbrido de maíz x <i>Tripsacum dactyloides</i> (cuarta generación)
MT51	híbrido de maíz x <i>Tripsacum dactyloides</i> (cuarta generación)
N107A	<i>Zea mays</i> ssp <i>mays</i> líneaN107A (2n = 40)
N107AxT	<i>Zea mays</i> ssp <i>mays</i> líneaN107A x <i>T. dactyloides</i>
NSCC	canal catiónico no selectivo (del inglés <i>non-selective cation channel</i>)
°C	grado centígrado
P2	progenie 2
Pf	peso fresco
P-H ⁺ -ATPasa	H ⁺ -ATPasa del plasmalema
pH _i	pH inicial
PM	peso molecular