

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



CONTRIBUCIONES TECNOLOGICAS
PRELIMINARES PARA LA PRODUCCION DE
GRANO Y FORRAJE DE AMARANTO
Amaranthus spp. EN EL NORTE Y NORESTE
DE MEXICO

POR:

JESUS GARCIA PEREYRA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS
CON ORIENTACION EN MEJORAMIENTO
DE PLANTAS

MARIN, N. L., MEXICO

ABRIL DE 2004

TD
Z5071
FA
2004
.G3



1020135235

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



CONTRIBUCIONES TECNOLOGICAS
PRELIMINARES PARA LA PRODUCCION DE
GRANO Y FORRAJE DE AMARANTO
Amaranthus spp. EN EL NORTE Y NORESTE
DE MEXICO

POR:

JESUS GARCIA PEREYRA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS
CON ORIENTACION EN MEJORAMIENTO
DE PLANTAS

MARIN, N. L., MEXICO

ABRIL DE 2004

979 20

-TD
25971
FA
2004
.E3



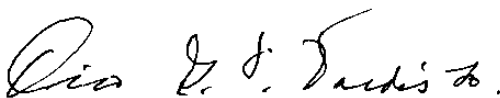
FONDO
TESIS

**CONTRIBUCIONES TECNOLÓGICAS PRELIMINARES PARA LA
PRODUCCIÓN DE GRANO Y FORRAJE DE AMARANTO *Amaranthus spp.*
EN EL NORTE Y NORESTE DE MÉXICO**

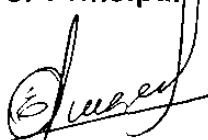
Por
M. C. Jesús García Pereyra

Realizado bajo la dirección del comité de tesis, ha sido aprobado por el mismo y aceptado como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas

Comité de tesis



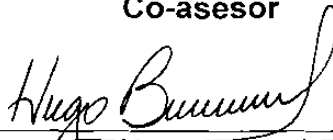
Ph. D. Ciro G. S. Valdés Lozano
Asesor Principal



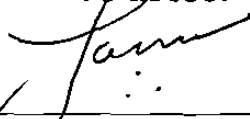
Ph. D. Emilio Olivares Sáenz
Co-asesor



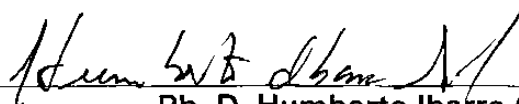
DR. Omar G. Alvarado Gómez
Co-asesor



Dr. sc. agr. Hugo Bernal Barragán
Co-asesor



DR. Hiram Medrano Roldán
Asesor Externo



Ph. D. Humberto Ibarra Gil
Subdirector de la División de Estudios de Posgrado de la
Facultad de Agronomía de la U. A. N. L.

DEDICATORIA

A mi madre, el ser que me dio la vida y que con su sabiduría y paciencia supo encausar todas mis inquietudes.

A mi esposa que en la pobreza y en la abundancia y su inagotable paciencia siempre me impulso a seguir adelante.

A mis hijos parte esencial y motor de mi vida a quien siempre los amare y que este esfuerzo sirva de estimulo para que continúen siempre superándose.

A mis hermanos, tíos, amigos y compañeros a todos ustedes muchas gracias por su apoyo y comprensión.

AGRADECIMIENTOS

A personas

Al C. Lic. Ángel Sergio Guerrero Mier por su apoyo económico y atinada visión para la implementación del programa de formación de 100 doctores.

A mi asesor, maestro y guía Ph. D. Ciro G. S. Valdés Lozano por sus sabios consejos y paciencia en mi preparación académica.

A Ph. D. Emilio Olivares Sáenz por su atinada y valiosa asesoría para que esta tesis fuera posible.

Al Dr. Hiram Medrano Roldán forjador de generaciones y que con su participación hizo posible mi entrenamiento doctoral.

Al Dr. Omar Alvarado Gómez por apoyarme y guiarme en la conclusión de este trabajo.

Al Dr. en sc. agr. Hugo Bernal B. por su participación en este trabajo.

Al Dr. Rubén González Laredo por su apoyo invaluable y que con sus intervenciones hizo posible la culminación de mis estudios.

Al Maestro Gabriel Alejandro Iturbide amigo sincero y guía en todos los trabajos desarrollados en esta tesis.

A Jesús Pedrosa Flores y José Ibarra Martínez trabajadores del programa de mejoramiento de maíz frijol, sorgo y amaranto de la FAUANL, quienes hicieron posible con sus consejos la conclusión de esta tesis.

A Jacinto, Don Beto y Paz mi más sincero reconocimiento por su trabajo desarrollado en el campo sin el cual este trabajo no hubiera sido posible.

A mi amigo y compañero de estudios José M. Hernández Herrera de quien aprendí mucho y me apoyo en mi preparación académica.

A mi colega Roberto Peña del Instituto Tecnológico Agropecuario de Xocoyucan, Tlaxcala precursor de la investigación del amaranto en los Valles Centrales de México.

A mi gran maestro y amigo M. C. Maurilio Martínez de quien siempre he recibido consejos y apoyo y que con sus conocimientos fueron la base para que esta tesis fuera posible.

A Chelita, Juany y Myrna eficientes secretarias de la división de Estudios de Posgrado de la FAUANL, muchas gracias por su apoyo.

A Instituciones

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme proporcionado el apoyo económico para mi formación académica.

Al Consejo Estatal de Ciencia y tecnología de Durango (COCYTED) por el valioso apoyo económico proporcionado para la culminación de mis estudios doctorales.

A la Dirección General de Educación tecnológica Agropecuaria (DGETA) por proporcionarme el tiempo y apoyo para mi formación doctoral.

A mi Institución el Instituto tecnológico Agropecuario de Durango a quien agradezco todo el apoyo brindado.

A mi querida Facultad de Agronomía de la UANL a quien llevo en mi corazón y nunca defraudare.

VITAE

Jesús García Pereyra

Candidato para el Grado de Doctor en Ciencias Agrícolas con
Orientación en Mejoramiento de Plantas Forrajeras

Tesis de estudios doctorales

**CONTRIBUCIONES TECNOLÓGICAS PRELIMINARES PARA LA
PRODUCCIÓN DE GRANO Y FORRAJE DE AMARANTO
Amaranthus spp. EN EL NORTE Y NORESTE DE MÉXICO**

Áreas de estudio

Uso de recursos filogenéticos en amaranto

Biografía

Nacido el 22 de Abril de 1957 en Durango, Dgo. Hijo del Sr. José García Rangel (+) y de la Sra. Mónica Pereyra Menchaca.

Estudios

Egresado del Centro Nacional de Enseñanza Técnica Industrial de Guadalajara, Jal. (CeNETI) como Ingeniero Industrial con Especialidad en Celulosa y Papel en Junio de 1982.

Egresado de la Universidad de Guadalajara con el Grado de Maestro en Ciencias en Celulosa y Papel en Junio de 1990.

Experiencia Profesional

- Gerente de producción en la fábrica de cartón el Batán en Guadalajara, Jal. de 1979 a 1980.
- Supervisor de producción y laboratorios en Industrias Aténquique en Jalisco, de 1980 a 1981.
- Supervisor de producción en Celulósicos Centauro S. A. de C. V en Durango, Dgo., de 1981 a 1982.
- Profesor Titular C en el Instituto Tecnológico Agropecuario de Durango de 1982 a la Fecha.
- Autor de 23 artículos científicos publicados en memorias en extenso y diversas revistas nacionales.
- Asesor y coasesor de 12 tesis de licenciatura.
- Jefe de Departamento:
 - 1) Planeación y Desarrollo del ITA de Durango
 - 2) Investigación y Desarrollo Tecnológico del ITA de Durango
- Director del Instituto Tecnológico Agropecuario de Durango de 1998 a 2000

ÍNDICE GENERAL

	Página
INDICE DE CUADROS.....	xiv
INDICE DE FIGURAS.....	xx
INDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE.....	xxi
RESUMEN.....	xxiii
SUMMARY.....	xxvi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general.....	3
1.2. Hipótesis general.....	4
II REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1. Antecedentes del cultivo.....	5
2.1.1. Historia.....	7
2.1.2. Estudios actuales en México.....	8
2.1.3. Botánica del cultivo.....	12
2.1.4. Regiones productoras de México.....	18
2.1.5 Primeras variedades desarrolladas y niveles de rendimiento en México.....	20
2.1.5.1. Primeras variedades.....	20
2.1.5.2. Potencial del rendimiento de grano.....	21
2.1.6 Valor nutritivo y utilización del grano y forraje.....	22
2.1.6.1. Proteína y aminoácidos.....	22
2.1.6.2. Contenido de minerales (grano de amaranto).....	29
2.1.6.3. Amaranto como forraje.....	31
2.1.7. Manejo del cultivo antes y al momento de la siembra.....	35
2.1.7.1. Fechas de siembra.....	35
2.1.7.2. Preparación de suelo en riego y seco.....	35
2.1.7.3. Densidad de población y método de siembra.....	37
2.1.7.4. Siembra.....	39
2.1.8 Manejo durante el crecimiento del cultivo y a la cosecha.....	40
2.1.8.1. Requerimientos hídricos en temporal y riego.....	40

2.1.8.2. Fertilización.....	41
2.1.8.3. Malezas plagas y enfermedades.....	43
2.1.8.4. Floración, madurez fisiológica y madurez comercial.....	49
2.1.8.5. Cosecha, humedad de la semilla, métodos tradicionales y modernos de cosecha.....	53
2.1.8.6. Ventajas y desventajas del cultivo del amaranto.....	58
2.2. Interacción genotipo X ambiente en amaranto.....	59
2.2.1. Ambientes y rendimiento.....	61
2.2.2. Precipitación.....	62
2.2.3. Fotoperíodo.....	62
2.3. Variabilidad genética en las poblaciones de amaranto y selección.....	63
2.3.1. Tipo de polinización.....	64
2.3.2. Métodos de selección.....	67
2.3.2.1. Selección masal.....	68
2.3.2.2. Selección individual (panícula por surco).....	70
2.3.2.3. Cruzamiento y selección.....	71
2.3.3. Conservación de las poblaciones mejoradas de amaranto.....	74
2.4. Objetivos particulares.....	77
2.4.1. Hipótesis asociadas a los objetivos particulares.....	78
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	80
3.1. Localidades de estudio.....	81
3.1.1. Marín, Nuevo León.....	81
3.1.1.1. Localización y geografía.....	81
3.1.1.2. Clima, suelo y vegetación.....	81
3.1.1.2.1. Temperatura y precipitación PV 2000.....	84
3.1.1.2.2. Temperatura y precipitación OI 2001.....	85
3.1.1.2.3. Temperatura y precipitación OI 2002.....	86
3.1.2. El Valle del Guadiana, Durango.....	87
3.1.2.1. Localización y geografía.....	87
3.1.2.2. Clima, suelo y vegetación.....	88
3.1.2.2.1. Temperatura y precipitación PV 2001.....	88

3.1.2.2 2. Temperatura y precipitación PV 2002.....	89
3 2. Ciclo agrícola PV 2000, Marín N. L. Experimento 1: Siembra directa...	90
3.2.1. Material genético.....	90
3.2.2. Material de trabajo de campo.....	90
3.2.3. Diseño experimental y modelo estadístico empleado.....	91
3.2.4. Manejo del experimento y cosecha	95
3.2.5. Variables estudiadas.....	96
3.2.6. Hipótesis estadísticas y comparación de medias.....	99
3.2.7. Diseño experimental y modelo estadístico empleado para el % de germinación cuando se incluyó desecante.....	100
3.2.8. Hipótesis estadísticas y comparación de medias para % de germinación con y sin desecante.....	102
3.3. Ciclos agrícolas OI 2001, Marín N. L; PV 2001, Valle del Guadiana Dgo. OI 2002, Marín. N. L. y PV 2002 Valle del Guadiana, Dgo.....	103
3.3. 1. Material genético para cuatro ciclos agrícolas.....	103
3.3.2. Material de trabajo de campo para cuatro ciclos agrícolas.....	105
3.3.3. Diseño experimental y modelo estadístico para el análisis de c/u de los cuatro ciclos agrícolas.....	105
3.3.4. Manejo agronómico del experimento.....	109
3.3.5. Variables estudiadas.....	113
3.3.6. Hipótesis estadísticas y comparación de medias para cuatro ciclos agrícolas.....	114
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	115
4.1. Ciclo agrícola PV del año 2000, Marín N. L.....	115
4.1.1. Análisis de covarianza y comparación de medias en la siembra directa.....	115
4.1.2. Germinación de la semilla cosechada con y sin uso de desecante foliar.....	118
4.1.2.1. Análisis de varianza y comparación de medias.....	118
4.1.3. Unidades calor en PV 2000 en Marín, N. L.....	120

4.1.4. Consideraciones generales para el ciclo PV 2000 en Marín, N. L.....	122
4.2. Ciclo agrícola OI 2001, Marín N. L.....	123
4.2.1. Experimento 1: Siembra de transplante.....	123
4.2.2. Experimento 2: Siembra directa.....	123
4.2.2.1. Análisis de varianza para las variables evaluadas.....	123
4.2.2.2. Rendimiento de grano.....	125
4.2.2.3. Rendimiento de forraje verde.....	127
4.2.2.4. Rendimiento de forraje seco.....	127
4.2.2.5. Longitud de panícula.....	130
4.2.2.6. Altura de planta.....	130
4.2.2.7. Diámetro del tallo.....	132
4.2.2.8. Plagas y enfermedades.....	132
4.2.2.9. Unidades calor.....	132
4.2.2.10. Consideraciones generales para el ciclo OI 2001 Marín, N. L.....	134
4.3. Ciclo agrícola PV 2001, Valle del Guadiana, Durango.....	135
4.3.1. Experimento 1: Análisis bajo densidades de población.....	135
4.3.1.1. Análisis de varianza para las variables evaluadas.....	135
4.3.1.2. Rendimiento de grano.....	135
4.3.1.3. Rendimiento de forraje seco.....	137
4.3.1.4. Longitud de panícula.....	137
4.3.1.5. Altura de planta.....	139
4.3.1.6. Diámetro del tallo.....	139
4.3.1.7. Consideraciones generales para el ciclo PV 2001 Valle del Guadiana, Dgo.....	139
4.4. Ciclo agrícola OI 2002, Marín, N. L.....	141
4.4.1. Experimento 1: Siembra Directa 15 de febrero.....	141
4.4.2. Experimento 2. Siembra Directa 22 de febrero.....	141

4.4.3. Experimento 3: Siembra Directa 15 de marzo.....	141
4.4.3.1. Análisis de varianza para las variables evaluadas.....	141
4.4.3.2. Rendimiento de grano (RG).....	143
4.4.3.3. Rendimiento de forraje seco (FS).....	143
4.4.3.4. Longitud de panícula.....	145
4.4.3.5. Altura de planta.....	145
4.4.3.6. Diámetro del tallo.....	147
4.4.3.7. Unidades calor.....	147
4.4.3.8. Consideraciones generales para el ciclo OI 2002, Marín, N. L.....	149
4.5. Ciclo agrícola PV 2002, Valle del Guadiana, Durango.....	150
4.5.1. Experimento 1: Análisis bajo densidades de población.....	150
4.5.1.1. Análisis de varianza.....	150
4.5.1.2. Rendimiento de grano.....	150
4.5.1.3. Rendimiento de forraje seco.....	152
4.5.1.4. Longitud de panícula.....	152
4.5.1.5. Altura de planta.....	154
4.5.1.6. Diámetro del tallo.....	154
4.5.1.7. Unidades calor.....	156
4.5.1.8. Consideraciones generales para el ciclo PV 2002, Valle del Guadiana, Dgo.....	156
4.6. Análisis conjunto de los ciclos de siembra de PV 2000, OI 2001, PV 2001, OI 2002, PV 2002 en dos localidades contrastantes del norte de México.....	158
4.6.1. Análisis de varianza.....	158
4.6.2. Comparación de medias.....	161
4.6.2.1. Rendimiento de grano.....	161
4.6.2.2. Interacción genotipo x ambiente (A x C).....	161
4.6.2.3. Interacción densidad de población x ambiente (B x C).....	166

4.6.3. Rendimiento de forraje seco (FS).....	168
4.6.3.1. Interacción genotipo x densidad de población x ambiente (A x B x C).....	168
4.6.4. Longitud de panícula.....	173
4.6.4.1. Interacción genotipo x densidades de población (A x B).....	173
4.6.4.2. Interacción genotipo x ambiente (A x C).....	173
4.6.4.3. Interacción densidades de población x ambientes (B x C).....	176
4.6.5. Altura de planta.....	178
4.6.5.1. Interacción genotipo x densidad de población x ambiente (A x B x C).....	178
4.6.6. Diámetro del tallo.....	181
4.6.6.1. Interacción genotipo x ambiente (A x C).....	181
4.6.6.2. Interacción densidades de población x ambientes (B x C).....	181
4.7. Conclusiones.....	183
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....	184
VI. LITERATURA CITADA.....	186
VII. APÉNDICE.....	201

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Clasificación botánica de la semilla de <i>Amaranthus spp.</i>	15
2	Principales estados productores de amaranto en México.....	19
3	Resultado del análisis bromatológico de la semilla de alegría.....	24
4	Composición de las semillas de dos especies mexicanas de amaranto.....	26
5	Comparación de aminoácidos del amaranto con otros cereales.....	28
6	Comparación del valor alimenticio del amaranto con relación a otros cereales.....	28
7	Contenido de minerales en grano de amaranto (<i>Amaranthus hypochondriacus</i>) y otros cereales de uso común.....	30
8	Principales malezas presentes en amaranto.....	44
9	Principales Plagas que atacan al amaranto.....	48
10	Diferencia entre la cosecha manual y con maquina combinada en el rendimiento de grano y el % de germinación de la semilla de amaranto.....	57
11	Especies vegetales típicos en el ecosistema del noreste de México..	83
12	Fuentes de variación y grados de libertad para un diseño de bloques completos al azar.....	94
13	Genotipos utilizados y su origen.....	104
14	Niveles de los factores A y B utilizados como tratamientos.....	106
15	Análisis de varianza para el diseño en parcelas sub-divididas.....	108
16	Análisis de covarianza para rendimiento de grano de amaranto y sus componentes en siembra directa PV 2000 en Marín, N. L.....	117
17	Comparación de medias para algunas características agronómicas en cinco genotipos de amaranto, experimento 1: siembra directa PV 2000 en Marín N. L.....	117
18	Análisis de varianza para la eficiencia en la germinación de genotipos de amaranto cosechados: con y sin desecado foliar PV 2000.....	119

19	Comparación de la germinación de amaranto, promedio de semilla cosechada con y sin desecante foliar: PV 2000.....	119
20	Comparación de medias entre métodos para la eficiencia en la germinación de amaranto: con y sin desecado foliar: PV 2000.....	119
21	Unidades calor en las distintas etapas de crecimiento del cultivo de amaranto experimento 1: siembra directa PV 2000 en Marín, N. L.....	121
22	Significancia estadística de los cuadrados medios y coeficientes de variación para ocho características evaluadas en cinco genotipos de amaranto establecidos en cuatro densidades de siembra, bajo el arreglo de parcelas divididas, ciclo OI 2001 en Marín N. L.....	124
23	Comparación de medias en el rendimiento de grano (kg ha ¹) en cinco genotipos de amaranto a diferente densidad de población, ciclo de siembra de OI 2001, en Marín, N. L.....	126
24	Comparación de medias en la producción de forraje verde en cinco genotipos de amaranto a diferente densidad de población, ciclo de siembra de OI 2001, en Marín N. L.....	129
25	Comparación de medias en la producción de forraje seco en cinco genotipos de amaranto a diferente densidad de población, ciclo de siembra OI en Marín, N. L. 2001.....	129
26	Comparación de medias para LP (cm), OI 2001 en Marín, N. L.....	131
27	Comparación de medias para AP (cm) en cinco genotipos de amaranto, a diferente densidad de población ciclo de siembra de OI 2001, en Marín, N. L.....	131
28	Comparación de medias para DT en mm. en cinco genotipos de amaranto en las distintas etapas de crecimiento del cultivo con diferente distancia entre plantas en el ciclo de siembra OI 2001 en Marín, N. L.....	133
29	Unidades calor en las distintas etapas de crecimiento del cultivo de amaranto experimento 2: siembra directa OI 2001, en Marín, N. L.....	133
30	Cuadrados medios y coeficientes de variación para ocho	

	características evaluadas en cinco genotipos de amaranto establecidos en cuatro densidades de siembra, bajo el arreglo de parcelas divididas, PV 2001, Valle del Guadiana, Durango.....	136
31	Comparación de medias en el rendimiento de grano (kg ha^{-1}) en cinco genotipos de amaranto PV 2001, Valle del Guadiana, Durango.....	136
32	Comparación de medias para FS (kg ha^{-1}) en cinco genotipos de amaranto a cuatro densidades de población, PV 2001, Valle del Guadiana, Durango.....	138
33	Promedio para la variable LP (cm) para cinco genotipos de amaranto PV 2001, Valle del Guadiana, Durango.....	138
34	Promedio para la variable AP (cm) en cinco genotipos de amaranto PV 2001, Valle del Guadiana, Durango.....	140
35	Promedio para la variable DT (mm) en cinco genotipos de amaranto PV 2001, Valle del Guadiana, Durango.....	140
36	Significancia estadística de los cuadrados medios y coeficientes de variación para cinco características evaluadas en cinco genotipos de amaranto establecidos en cuatro densidades de siembra, bajo el arreglo de parcelas divididas, OI 2002 en Marín N. L.....	142
37	Comparación de medias en RG (kg ha^{-1}) en cinco genotipos de amaranto a diferente densidad de población, OI 2002, en Marín, N. L	144
38	Comparación de medias en la producción de forraje seco en cinco genotipos de amaranto a diferente densidad de población, OI 2002 en Marín, N. L.....	144
39	Comparación de medias para LP (mm) en cinco genotipos de amaranto, a diferente densidad de población, OI 2002, Marín, N. L....	146
40	Comparación de medias para altura de planta (cm) en cinco genotipos de amaranto, a diferente densidad de población, OI 2002, Marín, N. L.....	146
41	Comparación de medias para DT (mm) en cinco genotipos de	

	amaranto, OI 2002, Marín, N. L.....	148
42	Unidades calor en las distintas etapas de crecimiento del cultivo de amaranto OI 2002, en Marín, N. L.....	148
43	Significancia estadística de los cuadrados medios y coeficientes de variación para cinco características evaluadas en cinco genotipos de amaranto establecidos en cuatro densidades de siembra, bajo el arreglo de parcelas divididas, ciclo PV 2002 Valle del Guadiana, Durango.....	151
44	Comparación de medias en RG (kg ha ⁻¹) de amaranto a diferente densidad de población, PV 2002, Valle del Guadiana, Durango.....	151
45	Comparación de medias en la producción de FS (kg ha ⁻¹) en cinco genotipos de amaranto a diferente densidad de población, PV 2002 Valle del Guadiana, Durango.....	153
46	Comparación de medias para LP (cm) en cinco Genotipos de Amaranto, a diferente densidad de población, PV 2002, Valle del Guadiana, Durango.....	153
47	Comparación de medias para AP (cm) en cinco genotipos de amaranto, a diferente densidad de Población, PV 2002, Valle del Guadiana, Durango.....	155
48	Comparación de medias para DT (mm) en cinco genotipos de amaranto, a diferente densidad de población, PV 2002, Valle del Guadiana, Durango.....	155
49	Unidades calor en las distintas etapas de crecimiento del cultivo de amaranto PV 2002, Valle del Guadiana, Durango.....	157
50	Significancia estadística de los cuadrados medios y coeficientes de variación para cinco características evaluadas en cinco genotipos de amaranto establecidos en cuatro densidades de siembra, en los ciclos agrícolas de OI 2001, PV 2001, OI 2002 y PV 2002 en dos localidades contrastantes del norte de México.....	160
51	Comparación de medias para RG en amaranto (kg ha ⁻¹) para la	

	interacción genotipo x ambiente (A x C), OI 2001 Marín, N, L., PV2001 Valle del Guadiana, Durango., OI 2002 Marín, N, L., y PV 2002 Valle del Guadiana, Durango., en dos ambientes contrastantes del norte de México.....	163
52	Comparación de medias para RG en amaranto (kg ha ⁻¹) para la interacción genotipo x ambiente (A x C), PV 2000 Marín, N, L., OI 2001- 2002 Marín, N, L., y PV2001- 2002 Valle del Guadiana, Durango., en dos ambientes contrastantes del norte de México.....	165
53	Comparación de medias para RG en amaranto (kg ha ⁻¹) para la interacción densidad de población x ambiente (B x C), en los ambientes: OI 2001, PV2001, OI 2002 y PV 2002 en dos ambientes contrastantes del norte de México.....	167
54	Rendimiento de FS en amaranto (kg ha ⁻¹) para la interacción genotipo x densidades de población (A x B x C), OI 2001, PV2001, OI 2002 y PV 2002 en dos ambientes contrastantes del norte de México.....	169
55	Comparación de medias para LP en (cm) para la interacción genotipo x densidad de población (A x B), OI 2001, PV2001, OI 2002 y PV 2002 en dos ambientes contrastantes del norte de México.....	174
56	Comparación de medias para LP en (cm) para la interacción genotipo x ambiente (A x C), OI 2001, PV2001, OI 2002 y PV 2002 en dos ambientes contrastantes del norte de México.....	175
57	Comparación de medias para LP en (cm) para la interacción densidad de población x ambiente(B x C), OI 2001, PV2001, OI 2002 y PV 2002 en dos ambientes contrastantes del norte de México.....	177
58	Comparación de medias para la variable AP en (cm) para la interacción genotipo x densidad de población x ambiente (A x B x C), OI 2001, PV2001, OI 2002 y PV 2002 en dos ambientes	

	contrastantes del norte de México.....	179
59	Comparación de medias en DT (mm) para la interacción genotipo x ambiente (A x C), OI 2001, PV2001, OI 2002 y PV 2002 en dos ambientes contrastantes del norte de México.....	182
60	Comparación de medias para DT en (mm) para la interacción densidad de población x ambientes (B x C), OI 2001, PV2001, OI 2002 y PV 2002 en dos ambientes contrastantes del norte de México.....	182

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1 Croquis del experimento sembrado en Marín, N. L.....	92
2 Croquis de localización y distribución de parcelas para cuatro ciclos agrícolas.....	112

INDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

	Página
1A. Temperatura (°C) máxima y mínima mensual, días superiores a 34 °C e inferiores a 14 °C en el ciclo agrícola PV 2000 en la localidad de Marín, N. L.....	201
2A. Precipitación (mm) diaria y mensual en el ciclo agrícola PV 2000 en la localidad de Marín, N. L.....	201
3A. Origen, localidad de prueba, fecha de prueba y características agronómicas más importantes de los genotipos en estudio.....	202
4A. Temperatura mínima, máxima y precipitación durante la estación de crecimiento del cultivo de amaranto en el ciclo de siembra OI 2001 en la localidad de Marín N. L.....	203
5A. Datos de temperaturas máximas 1961- 2002 en el Valle del Guadiana, Durango.....	204
6A. Datos de temperaturas mínimas 1961- 2002 en el Valle del Guadiana, Durango.....	206
7A. Datos de precipitación mensual en mm, 1961- 2002 en el Valle del Guadiana Durango.....	207
8A. Datos de evaporación mensual en mm, 1992 - 2002 en el Valle del Guadiana, Durango.....	208
9A. Análisis de las características físicas y químicas del suelo donde se realizó el experimento del ciclo agrícola PV 2001, en el Valle del Guadiana, Durango.....	209
10A. Temperatura mínima, máxima y precipitación durante la estación de crecimiento del cultivo de amaranto en el ciclo de siembra OI 2002 en la localidad de Marín N. L.....	210

RESUMEN

Jesús García Pereyra

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Agronomía

Título del estudio: Contribuciones tecnológicas preliminares para la producción de grano y forraje de amaranto (*Amaranthus spp.*) en el norte y noreste de México.

Número de páginas: 210

Candidato para la obtención del grado de Doctor en Ciencias Agrícolas con Orientación en Mejoramiento de Plantas Forrajeras

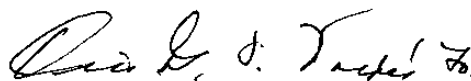
Área de estudio: Utilización de Recursos Fitogenéticos en amaranto

Objetivos y Métodos de Estudio. En las regiones del norte y noreste de México, el valor de los cultivos tradicionales como el maíz, sorgo, frijol, cebada, avena, etc., últimamente se ha reducido y el valor de los insumos para la producción de estos cultivos se ha incrementado, así estos cultivos no han dado un buen retorno económico a los agricultores de estas regiones; por otro lado, el amaranto (*Amaranthus spp.*) puede ser un cultivo para grano y forraje no tradicional que tiene un valor comercial potencial superior al de estos cultivos tradicionales. Estas regiones tienen diferentes condiciones de clima y suelo debido a la altitud. Una localidad representativa del norte de México es el Valle de Guadiana, Durango, México localizado a 1899 msnm, con una estación de cultivo de Primavera – Verano (junio a octubre), la cual inicia con temperatura semicálida y termina con temperatura baja, teniendo un ciclo de lluvias bien definido que inicia en junio y termina en septiembre, con precipitación entre 400 y 500 mm por año. Marín N. L., es otra localidad que es representativa del noreste de México, está a 375 msnm, hay dos ciclos de siembra: Primavera – Verano (PV), de julio a diciembre, que empieza con alta temperatura y termina con baja temperatura, y otoño – invierno (OI), de febrero a junio, que empieza con temperatura fresca y termina con temperatura alta. Dado que el amaranto en estas regiones no se conoce como cultivo, no hay conocimiento de las prácticas de manejo básicas, tales como los genotipos apropiados para sembrarse para producción de grano y forraje, las fechas de siembra, métodos de siembra, número de plantas por hectárea y método de cosecha, así el objetivo general de ese estudio fue el desarrollar la tecnología básica para la producción de grano y forraje de amaranto, para considerarlo como un cultivo

de alternativa para ser sembrado extensivamente bajo condiciones de riego y secano en el Valle del Guadiana, Durango y en Marín N. L. Los objetivos particulares fueron: a) explorar agronómicamente un juego de cuatro genotipos de *A. hypochondriacus* y uno de *A. cruentus* para producción de grano y forraje, con el fin de identificar aquellos genotipos con alto potencial de rendimiento de grano y forraje y una altura apropiada para cosecha mecánica, bajo condiciones de secano y riego respectivamente en el Valle del Guadiana, Durango y Marín N. L., México, b) A una escala experimental, describir fenotípicamente los genotipos que pudieran resultar útiles para sembrarse comercialmente en el Valle del Guadiana, Durango y en Marín N. L., c) incrementar en Marín N. L. así como en el Valle del Guadiana, Durango, la semilla de los genotipos que pudieran resultar útiles para ser sembrados comercialmente en el norte y noreste de México. Con el fin de alcanzar estos objetivos particulares, se condujeron siete experimentos bajo condiciones de campo. Experimento 1: En el ciclo de siembra de PV 2000, cinco genotipos de amaranto, cuatro de *A. hypochondriacus*: 653, 655, 153-5-3 y criollo Tlaxcala y el 33 de *A. cruentus*, fueron ensayados bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones para determinar cuales se podrían adaptar al ambiente de Marín N. L., en términos de las variables de rendimiento de grano, producción de forraje seco, altura de planta, longitud de panícula y diámetro de tallo. Experimento 2: en el ciclo de siembra de PV 2000 en Marín N. L., se condujo un experimento bajo parcelas divididas en un diseño de bloques completos al azar con los mismos genotipos como subparcelas y midiendo las mismas variables pero cosechando sólo plantas con competencia completa y evaluando en parcelas grandes el efecto sobre la germinación de la semilla de un tratamiento químico de desecante foliar a la cosecha. Experimento 3: En el ciclo de siembra de OI 2001 en Marín N. L., un arreglo de parcelas divididas bajo un diseño experimental de bloques completos al azar fue sembrado con semilla del experimento 1 y cuatro densidades de población: 125,000; 62,500; 41,666 y 31,250 plantas ha⁻¹ como parcelas grandes, se midieron las mismas variables del experimento 1 así como unidades calor. Experimento 4: En el ciclo de siembra de PV 2001, con semilla cosechada del experimento 3, un experimento con los mismos genotipos de amaranto bajo las mismas densidades de plantas en un arreglo similar al experimento 3, fue sembrado en el Valle del Guadiana, Durango; las mismas variables fueron evaluadas excepto unidades calor. Experimento 5: en el ciclo de siembra de PV 2001 con semilla del experimento 3, los cinco genotipos de amaranto fueron sembrados bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, las mismas variables del experimento 1 fueron evaluadas cosechando sólo plantas bajo competencia completa. Experimento 6: en Marín N. L., en el ciclo de siembra de OI 2002, utilizando semilla del experimento 4, se sembró un experimento similar al experimento 3, las mismas variables fueron evaluadas. Experimento 7: en el valle del Guadiana, Durango, en el ciclo de siembra PV 2002, se condujo un experimento similar al experimento 6 en tratamientos, diseño y variables evaluadas.

Contribuciones y conclusiones: Los resultados indican que bajo el ambiente del valle del Guadiana, Durango en el ciclo de siembra PV, los genotipos de *A. hypochondriacus* mostraron alto rendimiento de grano y el mejor genotipo fue 653 a una densidad de población de 125,000 plantas ha^{-1} , con rendimiento de grano entre 2,000 y 2,500 $kg\ ha^{-1}$, el rendimiento de grano y forraje del genotipo 33 de *A. cruentus* en esta localidad no fue tan alto como el del genotipo 653, pero el rendimiento de grano fue mas alto que el de algunos otros genotipos de *A. hypochondriacus*. Bajo el ambiente del ciclo de siembra OI en Marín N. L., el genotipo 33 mostró el mejor rendimiento de grano con 1,951 $kg\ ha^{-1}$ bajo 125,000 plantas ha^{-1} , en general bajo este ambiente, los genotipos de *A. hypochondriacus* presentaron un rendimiento de grano más bajo que el genotipo 33 de *A. cruentus*, en el mismo ciclo, los genotipos de *A. hypochondriacus* se comportaron bien para rendimiento de forraje y Criollo Tlaxcala bajo 125,000 plantas ha^{-1} fue el mejor rendidor con 37,310 $kg\ ha^{-1}$ de forraje seco; sin embargo, el genotipo 33 de *A. cruentus*, bajo la misma densidad de población presentó un aceptable rendimiento de forraje seco de 24,985 $kg\ ha^{-1}$ y un ciclo temprano de cultivo de 90 días de siembra a cosecha. En el ciclo de PV en Marín N. L., la tendencia del rendimiento de grano y forraje entre los mismos genotipos fue similar a la observada en el Valle del Guadiana, Durango. En relación a las variables diámetro del tallo y altura de planta fue estadísticamente determinado que tuvieron influencia sobre el rendimiento de grano y forraje, pero no la longitud de panícula que fue consistentemente del mismo tamaño bajo todos los ambientes de prueba. Con el fin de facilitar la cosecha del grano mediante el secado químico de la planta de amaranto, se encontró que el Paraquat® a 500 $ml\ ha^{-1}$ permite tener una cosecha mejor de los genotipos de *A. hypochondriacus*, sin embargo, el secado químico del genotipo 33 de *A. cruentus* redujo su rendimiento de grano en 50%. Las semilla cosechadas de las plantas secadas químicamente mostraron un porcentaje de germinación más alto que las semillas de las plantas cosechadas sin este tratamiento. Bajo estos resultados, se concluye que el amaranto puede tener éxito como un nuevo cultivo en el norte y noreste de México sembrando el genotipo 653 en el ciclo PV y sembrando el genotipo 33 en el noreste de México en el ciclo OI, en surcos a 0.8 m y plantas a cada 0.1 m con el fin de obtener 125,000 plantas ha^{-1} ya que ésta densidad da en ambos ciclos y localidades el mas alto rendimiento de grano y forraje. En el ciclo OI en el noreste, el secado químico de la planta de amaranto puede mejorar la germinación de la semilla cosechada pero el genotipo 33 debe ser cosechado tan pronto como sea posible con el fin de evitar el desgrane, la pérdida de semilla y un bajo rendimiento. Dado que en el ciclo OI en Marín N. L., el genotipo 33 de *A. cruentus* fue el mejor rendidor de grano que los genotipos de *A. hypochondriacus*, es aconsejable que más genotipos de *A. cruentus* deban ser ensayados bajo este ambiente con el fin de mejorar la oferta de genotipos de amaranto útiles para la producción de grano y forraje en el ciclo mas importante en el noreste de México.

Firma del Asesor Principal:



Ph. D. Ciro G. S. Valdés Lozano

SUMMARY

Jesús García Pereyra

Nuevo Leon Autonomous University, Posgraduate Study Division

(Universidad Autónoma de Nuevo León, División de Estudios de Posgrado)

Agronomy Faculty (Facultad de Agronomía)

Title: Preliminary technological contributions for the production of grain and forage of Amaranth (*Amaranthus spp.*) at north and northeast Mexico.

Number of Pages: 210

Candidate for the degree of Doctor in Agricultural Sciences.

Study Area: Plant Genetic Resources Utilization

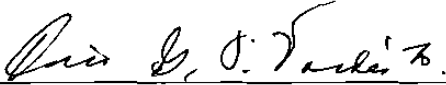
Goals and Study Methods: In the regions of north and northeast Mexico, the value of traditional crops like maize, sorghum, dry beans, barley, oats, etc., lately has been reduced and the value of inputs for the production of these crops has been increased, so, these crops have not given a good economic return for the farmers of these regions; on the other hand, amaranth (*Amaranthus spp.*) may be a non traditional grain and forage crop that has a potential commercial value higher than these traditional crops. These regions have different climate and soil conditions due to altitude. A location representative of north Mexico is the Guadiana Valley, Durango, Mexico, at 1899 masl, the crop season is spring-summer (June to October), it begins with semiwarm temperature and ends under low temperature, it has a well defined rain cycle that begins in June and ends in September with precipitation between 400 and 500 mm per year. Marín N. L., is another location that is representative of northeast Mexico, it is at 375 masl, there are two planting cycles: spring – summer (PV), from July to December, that begins with high temperature and ends with low temperature, and autumn – winter (OI), February to June, that begins with cool temperature and ends with high temperature. Since amaranth in these regions it is not known as a crop, there is not knowledge of the basic managing practices for this crop, like the proper grain and forage genotypes to be planted, the dates of planting, seeding methods, number of plants per hectare and the harvest method, so, the general objective of this study was to develop the basic technology for the production of amaranth grain and forage in order to consider it as an alternative crop to be planted extensively under irrigation and rainfall conditions in the Guadiana Valley, Durango, and at Marín N. L.. The particular objectives were a) to explore agronomically a set of four genotypes of *A. hypochondriacus* and one of *A. cruentus* for grain and forage production, in order to identify those genotypes with high grain and forage yield potential, and a proper height for mechanical harvest respectively under rainfall and watering conditions at the Guadiana Valley and at Marín N. L., Mexico. b) At an experimental scale, to

describe phenotypically the genotypes that could result as useful to be commercially planted at the Guadiana Valley, Durango and at Marín N. L., c) to increase at Marín N. L. as well as the Guadiana Valley, Durango, the seed of the genotypes that could result useful to be commercially planted at north and northeast Mexico. In order to achieve these particular objectives, seven experiments were carried out under field conditions. Experiment 1: In the planting cycle of PV 2000, five genotypes of amaranth, four of *A. hypochondriacus*: 653, 655, 153-5-3 and Criollo Tlaxcala, and the 33 of *A. cruentus*, were tested under a complete randomized block design with four replications in order to determine which ones would adapt to the environment of Marín N. L., in terms of the variables grain yield, dry forage production, plant height, panicle length, and stem diameter. Experiment 2: in the planting cycle PV 2000 at Marín N. L., an experiment under a split plot in a complete randomized block design was carried out with the same genotypes as sub-plots and measuring the same variables but by harvesting only plants with complete competition and evaluating in main plots the effect on seed germination of a chemical drying foliage treatment at harvest. Experiment 3: in the planting cycle OI 2001 at Marín N. L., a split plot arrangement under a complete randomized block experimental design was planted with seed of the experiment 1 with the same five genotypes as sub-plots and four plant populations: 125,000; 62,500; 41, 666 and 31,250 plants ha⁻¹ as main plots, the same variables of experiment one were measured as well as heat units. Experiment 4: In the cycle of planting of PV 2001, with seed harvested out of experiment 3, an experiment with the same five amaranth genotypes under the same four plant densities in a similar arrangement than the experiment 3, was planted at the Guadiana Valley, Durango; the same variables were evaluated except heat units. Experiment 5: in the planting cycle PV 2001 with seed of experiment 3, the five amaranth genotypes, were planted under a complete randomized block experimental design, the same variables at experiment 1 were evaluated by harvesting only plants under complete competition. Experiment 6: at Marín N. L., in the planting cycle OI 2002, by using seed of experiment 4, it was planted an experiment like experiment 3, the same variables were evaluated. Experiment 7: at the Guadiana Valley, Durango, in the planting cycle PV 2002 an experiment similar to experiment 6 in treatments, design, and evaluated variables was carried out.

Contributions and conclusions. Results indicate that under the environment of the Guadiana Valley, Durango, in PV planting cycle, genotypes of *A. hypochondriacus* showed up high grain yield and the best genotype was 653 at a plant population of 125,000 plants ha⁻¹ with grain yield between 2,000 and 2,500 kg ha⁻¹, the grain and forage yield of Genotype 33 of *A. cruentus* at this location was not as higher than that of genotype 653 but grain yield was higher than some other genotypes of *A. hypochondriacus*. Under the environment of the OI planting cycle at Marín N. L. genotype 33 showed up the best grain yield with 1,951 kg ha⁻¹ under 125,000 plants ha⁻¹, in general, under this environment, the genotypes of *A. hypochondriacus* presented a lower grain yield than that of genotype 33 of *A. cruentus*; in the same cycle *A. hypochondriacus* genotypes performed well for forage yield, and Criollo Tlaxcala under 125,000 plants ha⁻¹

was the best yielder with 37,310 kg ha⁻¹ of dry forage; however, *A. cruentus* genotype 33, under the same plant population presented an acceptable dry forage yield of 24,985 kg ha⁻¹ and an early crop cycle of 90 days from planting to harvest. In the PV cycle at Marin N. L., grain and forage yield tendency among the five genotypes was similar to that observed at Valle del Guadiana, Durango. In regard to the variables stem diameter, and plant height, it was statistically determined that they have influence on grain and dry forage yields, but not panicle length that was consistently of the same size under all the testing environments. In order to facilitate the grain harvest by drying chemically the amaranth plant, it was found that Paraquat® at 500 ml ha⁻¹ lets to have a better harvest of the genotypes of *A. hypochondriacus*, however the chemical drying of the genotype 33 of *A. cruentus* reduced its grain yield in 50%. The seeds harvested from chemically dried plants showed a higher germination percentage than the seed of plants harvested without this treatment. Under these results, it is concluded that amaranth may have success as a new crop at north and northeast of Mexico by planting the genotype 653 at the PV cycle and by planting the genotype 33 at northeast Mexico in the OI cycle, at 0.8 m rows and plants at each 0.1 m in order to obtain 125,000 plants ha⁻¹, since it gives in both cycles and locations the highest grain and forage yield. In OI cycle at northeast, chemical drying of amaranth plant may improve the germination of harvest seed but genotype 33 should be harvested as soon as it would be possible in order to avoid shattering, loose of seed and a low seed yield. Since in OI cycle at Marin N. L., genotype 33 of *A. cruentus* was the best grain yielder than those of *A. hypochondriacus* genotypes, it is advisable that more genotypes of *A. cruentus* should be tested under this environment in order to improve the offer of amaranth genotypes useful for grain and forage production in the most important crop cycle at northeast Mexico.

Main Advisor signature


Ph. D. Ciro G. S. Valdés Lozano