



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

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

**CAMPUS MONTECILLO
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

**CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA EN LA SEMILLA
E INDUSTRIAL EN EL GRANO DE *Amaranthus. Hypochondriacus*
EN LA FERTILIZACIÓN Y DENSIDAD DE POBLACIÓN**

MA. DE LA LUZ RAMÍREZ VAZQUEZ

**T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO


2010

La presente tesis titulada: “Calidad física y fisiológica en la semilla e industrial en el grano de *Amaranthus hypochondriacus* en la fertilización y densidad de población” realizada por la alumna: Ma. de la Luz Ramirez Vazquez bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

CONSEJO PARTICULAR

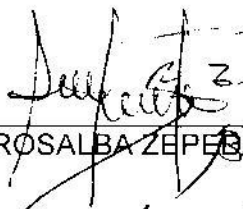
CONSEJERO


DR. AQUILES CARBALLO CARBALLO

ASESOR


DR. EDUARDO ESPITIA RANGEL

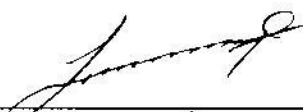
ASESOR


DRA. ROSALBA ZEPEZA BAUTISTA

ASESOR


DR. HUMBERTO VAQUERA HUERTA

ASESOR


DR. LEOBIGILDO CÓRDOVA TÉLLEZ

A G R A D E C I M I E N T O S

A Dios:

Por la vida y permitirme alcanzar un reto más en la vida

Al Colegio de Postgraduados:

Especialmente a Recursos Genéticos y Productividad: Producción de Semillas por darme la oportunidad de obtener un logro más en la vida profesional

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT):

Por el apoyo económico proporcionado para poder realizar esta investigación

Al Dr. Aquiles Carballo Carballo:

*Por sus acertadas sugerencias en la dirección y proceso de esta investigación y mantener la **comunicación** en sus sugerencias dadas*

Al Dr. Eduardo Espitia Rangel y al INIFAP:

Gracias por su ardua entrega, confianza, entereza para dirigir esta investigación, y favorecer más logros y por proporcionar la variedad Revancha

A la Dra. Rosalba Zepeda Bautista:

Por dar su confianza y sus sabios consejos en la presente investigación y principalmente en la parte agronómica

Al Dr. Humberto Vaquera Huerta:

Por brindarme su valioso tiempo, y por sus sugerencias dadas en ésta investigación y en especial en la parte estadística

Al Dr. Leobigildo Córdoba Téllez:

Por su valiosa colaboración y disposición en el proceso de esta investigación y en especial en el área de calidad de semilla

Al Dr. Gabino García de los Santos:

Por su asistencia como sinodal en exámenes pre doctorales y defensa de la Tesis entre el jurado examinador

A la Dra. Griselda Vásquez (INIFAP)

Por su predisposición y disponibilidad en el capítulo de calidad industrial del grano en la presente investigación

Al M. C. Jorge Alberto Muñoz Hernández:

*Por su apoyo incondicional y desinteresado en el momento más adecuado de esta investigación, **Gracias Jorge***

Al Personal:

*Del **Laboratorio de Producción de Semillas** por su disponibilidad en la evaluación de la calidad de semilla en especial a **Juan Herrera***

A todos los Profesores-Investigadores de Producción de Semillas:

Por formar parte de los estudios previos a la formación de este Doctorado

A Todos mis amigos y compañeros:

Que estuvieron presentes en los momentos más difíciles

*y fáciles durante esta investigación, en especial: Sra. Alicia, María Alma,
Jorge Alberto, Mirna Elizabeth, Mally Naty, Carolina, Adriana, Juan
Manuel Claudia y Victor C.*

*A los **Colaboradores del Área Campo:***

*Por su valioso esfuerzo y trabajo para poder realizar esta investigación y
en especial a los señores: José, Cornelio, Martin, Gabino, Ricardo,
Christian (joven) Vicente y Giovanni*

DEDICATORIAS

A:

Dios:

*Por dejarme seguir en este mundo para poder
realizar esta **Tesis***

Mi hija:



Leslee Valeria



*Por darme la oportunidad de ser madre y llenar mi vida de alegría y ser
lo más importante en mi vida para seguir adelante*

Mis padres:

“Marina y Luis”

*Por darme la vida y darme confianza y apoyo ilimitado
para poder seguir con estudios de **Doctorado**
y nunca claudicar*

Mis hermanos:

“Genoveva, Eloisa, Isidro y Luis Felipe”

*Por darme todo su apoyo en los momentos más valiosos y difíciles durante el lapso de esta **Tesis** y por estar más presentes que nunca en la vida y cuando más los necesite, gracias hermanos por sus consejos para no detenerme y que la distancia no pudo desvanecer*

*Y a todas las personas del **Colegio de Postgraduados** que contribuyeron de manera especial en el proceso y culminación de esta investigación*

**“No es más grande aquel
que más espacio ocupa,
sino el que más vació deja
cuando se va”**

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INDICE	vii
INDICE DE CUADROS	xi
RESUMEN GENERAL	xiv
GENERAL SUMMARY	xv
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. OBJETIVOS	6
1.2. HIPÓTESIS	7
II. FERTILIZACIÓN Y DENSIDAD DE POBLACIÓN EN VARIEDADES DE AMARANTO (<i>Amaranthus hypochondriacus</i>)	8
RESUMEN	8
2.1. INTRODUCCIÓN	9
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS	12
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
2.3.1. ESTADO DE MÉXICO	13
2.3.2. COMPARACIÓN DE MEDIAS	15
2.3.3. ESTADO DE TLAXCALA	18
2.3.4. COMPARACIÓN DE MEDIAS	19
2.4. CONCLUSIONES	23
2.5. LITERATURA CITADA	23
III. FERTILIZACIÓN Y DENSIDAD DE POBLACIÓN I. CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA EN LA SEMILLA DE AMARANTO (<i>Amaranthus hypochondriacus</i>)	26
RESUMEN	26
3.1. INTORDUCCIÓN	27
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS	30

3.2.1. CALIDAD FÍSICA	30
3.2.2. CALIDAD FISIOLÓGICA	31
3.2.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	32
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
3.3.1. CALIDAD FÍSICA	32
3.3.1.1. EFECTO DE DOSIS DE FERTILIZACIÓN	34
3.3.1.2. EFECTO DE VARIEDADES	35
3.3.1.3. EFECTO DE DENSIDADES DE POBLACIÓN	36
3.3.2. CALIDAD FISIOLÓGICA	37
3.3.2.1. EFECTO DE DOSIS DE FERTILIZACIÓN	40
3.3.2.2. EFECTO DE VARIEDADES Y DENSIDADES DE POBLACIÓN	40
3.4. CONCLUSIONES	43
3.5. LITERATURA CITADA	44
IV. FERTILIZACIÓN Y DENSIDAD DE POBLACIÓN II. CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA DE LA SEMILLA DE AMARANTO (<i>Amaranthus hypochondriacus</i>) ALMACENADA	48
RESUMEN	48
4.1. INTRODUCCIÓN	49
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS	52
4.2.1. CALIDAD FÍSICA	52
4.2.2. CALIDAD FISIOLÓGICA	53
4.2.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	54
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
4.3.1. CALIDAD FÍSICA	54
4.3.1.1. EFECTO DE DOSIS DE FERTILIZACIÓN	55
4.3.1.2. EFECTO DE VARIEDADES	57
4.3.1.3. EFECTO DE DENSIDADES DE POBLACIÓN	58
4.3.2. CALIDAD FISIOLÓGICA	59
4.3.2.1. EFECTO DE DOSIS DE FERTILIZACIÓN	61
4.3.2.2. EFECTO DE VARIEDADES Y DENSIDADES DE POBLACIÓN	62

4.4. CONCLUSIONES	65
4.5. LITERATURA CITADA	66
V. VOLUMEN DE EXPANSION, CONTENIDO DE PROTEÍNA Y ACEITE EN VARIEDADES DE AMARANTO (<i>Amaranthus hypochondriacus</i>) RELACIONADOS CON LA FERTILIZACIÓN	69
RESUMEN	69
5.1. INTRODUCCIÓN	70
5.2. MATERIALES Y MÉTODOS	74
5.2.1. VOLUMEN DE EXPANSIÓN DEL GRANO	75
5.2.2. CONTENIDO DE PROTEÍNA	75
5.2.3. CONTENIDO DE ACEITE	76
5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	76
5.3.1. CALIDAD INDUSTRIAL DEL GRANO	76
5.3.2. EFECTO DE DOSIS DE FERTILIZACIÓN	77
5.3.3. EFECTO DE VARIEDADES	79
5.4. CONCLUSIONES	81
5.5. LITERATURA CITADA	81
VI. CONCLUSIONES GENERALES	85
VII. LITERATURA CITADA EN INTRODUCCIÓN	87

INDICE DE CUADROS

Pág.

II. FERTILIZACIÓN Y DENSIDAD DE POBLACIÓN EN VARIEDADES DE AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus*).

Cuadro 1.	Dosis de fertilización aplicada en dos etapas para dos localidades (Montecillo y San Miguel del Milagro).	13
Cuadro 2.	Cuadros medios del análisis de varianza por el efecto de fertilización, variedad y densidad de población. Montecillo, Méx. 2006.	14
Cuadro 3.	Comparación de medias por el efecto de dosis de fertilización. Montecillo, Méx. 2006.	16
Cuadro 4.	Comparación de medias entre variedades. Montecillo, Méx. 2006.	17
Cuadro 5.	Comparación de medias para densidad de población. Montecillo, Méx. 2006.	18
Cuadro 6.	Cuadros medios del análisis de varianza por el efecto de fertilización, variedad y densidad de población. Montecillo, Méx. 2006.	19
Cuadro 7.	Comparación de medias para dosis de fertilización. San Miguel del Milagro, Tlax. 2006.	20
Cuadro 8.	Comparación de medias entre variedades. San Miguel del Milagro, Tlax. 2006.	21
Cuadro 9.	Comparación de medias entre densidades de población. San Miguel del Milagro, Tlax. 2006.	22

III. FERTILIZACIÓN Y DENSIDAD DE POBLACIÓN I. CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA EN LA SEMILLA DE AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus*).

Cuadro1.	Cuadros medios del análisis de varianza para variables de calidad física en amaranto. Montecillo, México 2006.	33
Cuadro 2.	Comparación de medias para variables de calidad física por el factor Dosis de Fertilización. Montecillo, México 2006.	34

Cuadro 3.	Comparación de medias para variables de calidad física por el factor Variedad. Montecillo, México 2006.	35
Cuadro 4.	Comparación de medias para variables de calidad física por el factor Densidad de Población. Montecillo, México 2006.	36
Cuadro 5.	Cuadrados medios y significancia estadística para variables de germinación y vigor de la semilla en amaranto. Montecillo, México 2006.	38
Cuadro 6.	Cuadrados medios y significancia estadística para variables de vigor de la semilla. Montecillo, México 2006.	39
Cuadro 7.	Comparación de medias para variables de germinación y vigor por el factor Dosis de Fertilización. Montecillo, México 2006.	40
Cuadro 8.	Comparación de medias para variables de germinación y vigor por el factor Variedad y Densidad de Población. Montecillo, México 2006.	41
Cuadro 9.	Comparación de medias para variables de envejecimiento acelerado por los factores de dosis de fertilización, variedad y densidad de población. Montecillo, México 2006.	43

IV. FERTILIZACIÓN Y DENSIDAD DE POBLACIÓN II. CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA DE LA SEMILLA DE AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus*) ALMACENADA.

Cuadro1.	Cuadrados medios del análisis de varianza para variables de calidad física de semilla almacenada. Montecillo, México 2006	55
Cuadro 2.	Comparación de medias para variables de calidad física de semilla almacenada por el factor de dosis de fertilización en amaranto. Montecillo, México 2006.	56
Cuadro 3.	Comparación de medias entre variedades para variables de calidad física de semilla almacenada. Montecillo, México 2006.	57
Cuadro 4.	Comparación de medias entre densidades de población para variables de calidad física de semilla almacenada. Montecillo, México 2006.	58

Cuadro5.	Cuadrados medios y significancia estadística para variables de germinación y vigor de semilla almacenada en amaranto. Montecillo, México 2006.	60
Cuadro 6.	Cuadrados medios y significancia estadística para variables de germinación y vigor de semilla almacenada. Montecillo, México 2006.	61
Cuadro 7.	Comparación de medias entre dosis de fertilización para germinación y vigor de semilla almacenada. Montecillo, México 2006.	62
Cuadro 8.	Comparación de medias considerando los factores Variedad y Densidad de Población para variables de germinación y vigor de semilla almacenada. Montecillo, México 2006.	63
Cuadro 9.	Comparación de medias en los factores dosis de fertilización, variedad y densidad de población para variables evaluadas en la prueba de envejecimiento acelerado de semilla almacenada. Montecillo, México 2006.	65

V. VOLUMEN DE EXPANSION, CONTENIDO DE PROTEÍNA Y ACEITE EN VARIEDADES DE AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus*) RELACIONADOS CON LA FERTILIZACIÓN.

Cuadro1.	Cuadrados medios del análisis de varianza para variables de calidad industrial del grano de amaranto. Montecillo, México 2006.	77
Cuadro 2.	Comparación de medias para variables de la calidad industrial del grano por efecto del factor dosis de fertilización. Montecillo, México 2006.	78
Cuadro 3.	Comparación de medias para variables de calidad industrial del grano por efecto del factor variedad. Montecillo, México 2006.	80

RESUMEN GENERAL

La calidad de la semilla es una característica de fundamental jerarquía en la producción de cualquier cultivo: dado que hay una amplia influencia en la fertilización y densidad de población sobre el rendimiento, principalmente y respecto a la necesidad que existe en la actualidad sobre el manejo de la calidad de semilla y grano por los productores en nuevas variedades y de conocer cómo está puede ser modificada mediante prácticas agronómicas definidas que permitan mejorar el proceso industrial (reventado) e identificar la respuesta de estas variedades a la aportación de fertilización y densidades de población, así como encontrar las variables que permitan obtener un mayor incremento en el rendimiento y calidad de semilla y grano se plantearon los siguientes objetivos: 1) Evaluar el efecto de la fertilización de nitrógeno y fósforo, tres densidades de población, en el rendimiento de semilla, así como en caracteres agronómicos de interés para el manejo del cultivo, 2) Determinar el efecto de seis dosis de fertilización; así como tres densidades de población sobre la calidad física y fisiológica de la semilla 3) y en semilla almacenada durante seis meses y 4) Determinar la calidad del reventado a partir del efecto de fertilización; así como el estado nutrimental del amaranto a partir del contenido de proteína y aceite en grano. En el presente estudio se evaluaron tres fases en las que se evaluaron diferentes tratamientos, la fase de campo se determinó a partir de seis dosis de fertilización, tres densidades de población y la variedades Revancha, Gabriela y DGETA con un total de 54 tratamientos, en la segunda fase se evaluaron la calidad física y fisiológica de la semilla cosechada y almacenada con 36 tratamientos y en la tercera fase se evaluó con 18 tratamientos, todas con tres repeticiones se analizó con el programa SAS. Los resultados del ANOVA mostraron que la fertilización y densidad de población tuvo efecto significativo en las variables del manejo agronómico, en la calidad fisiológica de la semilla y en el volumen de expansión del grano así como en contenido de proteína y aceite; lo cual, permitió observar que el mejor tratamiento de fertilización y densidad de población para cada localidad fue: 80-60-40 y 100 mil plantas ha^{-1} , respectivamente. En las variables de calidad fisiológica el porcentaje de germinación y vigor se determinó que la mejor variedad y densidad población fue Gabriela y con las densidades de 100 y 150 mil plantas ha^{-1} . Para los tratamiento de fertilización no hubo diferencias significativas en esta fase y en semillas almacenada se encontró que la mejor germinación y vigor fue Gabriela con la densidad de 150 mil plantas ha^{-1} , y finalmente en el volumen de expansión la fertilización fue determinante para éste y el contenido de proteína y aceite mostrando incrementos de 7.5 – 9.6 veces, 14.3 – 17 % y 6.8 – 8.5 %, principalmente. Por lo tanto se puede mencionar que la fertilización es un factor muy importante para mejorar la producción y calidad de semilla; y en grano para prevalecer el proceso de reventado o volumen de expansión en la industria y consumo por el contenido de proteína y aceite.

GENERAL SUMMARY

The seed of quality the is characteristic a of hierarchy fundamental in the production of culture any: provided that there is a wide influence in the fertilization and density of population on the performance, principally and with regard to the need that exists at present on the managing of the quality of seed and grain for the producers in new varieties and to know how it is it can be modified by means of agronomic definite practices that allow to improve the industrial (burst) process and to identify the response of these varieties to the contribution of fertilization and densities of population, as well as to find the variables that allow to obtain a major increase in the performance and quality of seed and grain be they silvered the following aims: 1) To evaluate the effect of the fertilization of nitrogen and phosphorus, three densities of population, in the performance of seed, as well as in agronomic characters of interest for the managing of the culture, 2) To determine the effect of six doses of fertilization; as well as three densities of population on the physical and physiological quality of the seed 3) and in seed stored for six months and 4) To determine the quality of the burst one from the effect of fertilization; as well as the condition nutrimental of the amaranth from the content of protein and oil in grain. In the present study there were evaluated three phases in which different treatments were evaluated, the field phase of determined from six doses of fertilization, three densities of population and the varieties Revancha, Gabriela and DGETA with a total of 54 treatments, in the second phase there was evaluated the physical and physiological quality of the seed harvested and stored with 36 treatments and in the third phase it was evaluated by 18 treatments. The results showed that the fertilization and density of population had significant effect in the variables of the agronomic managing, in the physiological quality of the seed and in the volume of expansion of the grain as well as in content of protein and oil; which, it allowed to observe that the best treatment of fertilization and density of population for every locality was: 80-60-40 and 100 thousand plants ha^{-1} , respectively. In the variables of physiological quality the percentage of germination and vigor decided that the best variety and density population was Gabriela and with the densities of 100 and 150 thousand plants ha^{-1} . For the treatment of fertilization there were no significant differences in this phase and in seeds stored one thought that the best germination and vigor was Gabriela with the density of 150 thousand plants ha^{-1} , and finally in the volume of expansion the fertilization was determinant for this one and the content of protein and oil showing increases of 7.5 - 9.6 times, 14.3 - 17 % and 6.8 - 8.5 %, principally. Therefore it is possible to mention that the fertilization is a very important factor to improve the production and quality of seed; and in grain to prevail the process of burst or volume of expansion in the industry and consumption for the content of protein and oil.

INTRODUCCIÓN GENERAL

El cultivo del amaranto tiene grandes expectativas, ya que puede ser usado tanto para grano como para la alimentación humana, entre otros propósitos; además, ahora hay más conocimiento del valor nutritivo en las ciudades y la importancia agrícola en el campo de esta especie. No obstante, las principales interrogantes para los productores de este cultivo son: quiénes son los compradores y a qué precio compran.

En México se cultivan 662 ha de amaranto; los principales productores son los estados de Morelos en Huazulco, Amilcingo, Jantetelco y Ameyulca, y en el estado de Puebla en Huaquechula, Santiago Tecla y Tulcingo, en San Miguel del Milagro, Tlaxcala y Huauquechula, Puebla; Huazulco, Amilcingo, Morelos; obtienen un rendimiento de 1800 a 2000 kg ha⁻¹, bajo condiciones de temporal pero en condiciones de riego la producción de grano varía de 1000 a 4000 kg ha⁻¹ (Espitia, 1986). En Tlaxcala, el cultivo del amaranto se concentra principalmente los municipios de Nativitas y Santa Apolonia Teacalco; donde bajo condiciones de temporal se alcanzan rendimientos de 900 kg ha⁻¹ en promedio y bajo riego 1 000 kg ha⁻¹ en promedio, cultivándose con tecnología tradicional (INEGI, 1998); mientras que en el Distrito Federal en Tulyehualco, Nativitas, Milpa Alta y Xochimilco se obtienen, con el sistema de trasplante una producción de 1000 a 2000 kg ha⁻¹.

Un paso importante en la domesticación de los amarantos de semilla fue la selección que los antiguos agricultores hicieron de las formas mutantes en las que la semilla negra de tipo silvestre fue remplazada por una semilla blanca; el resultado fue una semilla de mejor sabor y con mayor calidad al reventar, este

tipo de mutación también permitió a los domesticadores prehistóricos evitar cruza entre su cultivo y los amarantos silvestres por medio de la eliminación de las semillas oscuras híbridas en la semilla utilizada para la siembra, de esta forma se favoreció la evolución divergente de las formas domesticadas. La selección artificial aumentó el tamaño de las plantas, inflorescencias e incremento así la producción de semilla; la selección artificial también produce formas de color rojo brillante, lo que sugiere que los agricultores prehistóricos sentían demasiado interés por la utilidad de sus plantas y por su belleza (Mujica y Berti, 1997). La habilidad de los genotipos para resistir a los cambios del medio ambiente y mantener una menor interacción con éste se le ha definido como amortiguamiento y estabilidad (Eberhart y Russell, 1966).

Los amarantos crecen bien en una amplia variedad de suelos, desde los muy ácidos y con alto contenido de aluminio, hasta los alcalinos y salinos. Los amarantos para grano crecen más altos con fertilizantes, pero su rendimiento en grano, hasta el momento ha manifestado poca mejoría; mientras que los amarantos foliáceos exigen elevada fertilidad del suelo, en especial potasio y nitrógeno, aunque el género hasta donde se sabe no resiste bien una salinidad elevada, mencionando que existen alternativas como es el caso de la propia plasticidad y climatización de *Amaranthus* spp. La densidad de siembra depende del método de recolección que se piense usar, así como del tipo de variedad; según algunos ensayos sobre densidades, para cultivos de *A. hypochondriacus* y *A. cruentus*, una densidad aceptable, tanto para rendimiento de grano como para el propio cultivo, es de 320 000 plantas por hectárea. Los amarantos de tipo foliáceos se cultivan con densidades de hasta 100 plantas

por metro cuadrado (Consejo Nacional de Investigación, 1987); por otra parte, no existe información sobre densidades de población en la producción de semillas de este cultivo.

Las semillas de *Amaranthus hypochondriacus* varían del color crema a dorado, de forma lenticular y de aproximadamente 1 mm de diámetro. El embrión es periférico y rodea el perispermo que es un tejido de almacenamiento de origen nucelar. Durante el desarrollo, el embrión utiliza la mayor parte del tejido del endospermo con la porción remanente generalmente presente alrededor de la punta de la radícula. El embrión consiste del eje hipocótilo-radicular y dos cotiledones; el meristemo apical de la raíz y el meristemo de la plúmula están muy bien diferenciados (Coimbra y Salema, 1994).

La semilla del amaranto es bastante pequeña (0.9 - 1.7 mm de diámetro) y el peso de la semilla varía desde 1 000 – 3 000 semillas g^{-1} . El color de las semillas puede variar desde crema a oro y de negro a rosa (Stallknecht y Schulz-Schaeffer, 1993). Usando un molino tipo disco acondicionado al grano de amaranto, se mostraron dos fracciones diferentes con la especie *A. cruentus* siendo la primera fracción rica en proteína obteniendo más del 40 % de proteína y la segunda fracción fue almidonada conteniendo cerca del 79 % de almidón (Tosi *et al.*, 2000).

Luego de la siega y trilla, se recomiendan ciertas prácticas de manejo poscosecha para evitar pérdidas innecesarias del producto cosechado o el deterioro prematuro de la calidad del grano. Se recomienda secar el grano, para bajar la humedad al 14 % o menos y así evitar la fermentación, la formación de mohos, el ataque de insectos y la pudrición del mismo. El secado

se debe hacer directamente al sol o con secadoras artificiales. Luego del secado y, si la comercialización no se va a realizar inmediatamente, es conveniente almacenar con ciertas seguridades para evitar el ataque de insectos, roedores o la rehidratación del grano por la humedad ambiental. En la clasificación del grano se puede usar un tamiz de 2 mm de diámetro para separar impurezas grandes y un tamiz de 1.1 mm de diámetro para separar el grano de primera calidad, de los granos más finos y polvo que quedarían como subproductos de segunda calidad

La clasificación y limpieza del grano se debe realizar en los centros de acopio o procesamiento; sin embargo si el productor logra clasificar el grano, no sólo podría obtener un mejor precio por el grano de primera calidad sino que podría tener más éxito en el almacenamiento ya que las impurezas y el polvo favorecen el deterioro de los granos. De las pruebas de clasificación de granos, la variedad "INIAP-Alegría" ha dado en promedio un porcentaje de extracción de primera de alrededor del 87 %, con un 10 % de granos de segunda y un 3 % de impurezas. Estos porcentajes pueden variar dependiendo del método de trilla y nivel de contaminación del cultivo con otros cultivos o malezas como el quelite (*A. hybridus*)

El amaranto es un grano muy versátil para la transformación e industrialización; puede transformarse y utilizarse como cualquier cereal, lógicamente con mayores ventajas nutricionales, aunque por la falta de gluten, en la panificación debe mezclarse a la harina de trigo para enriquecerlo y darle características panificables adecuadas. El proceso de tostado es un tratamiento térmico que se utiliza, no sólo para mejorar las características organolépticas del alimento

sino aumentar su digestibilidad entre otras cosas; puesto que cuando el amaranto es sometido a dicho tratamiento, cambian sus cualidades físicas y químicas, siendo este cambio deseable, ya que mediante el calor, la configuración de las proteínas se altera, haciéndolas más digeribles; pero a su vez hay pérdidas considerables de algunos aminoácidos, por lo que se debe tener especial cuidado cuando se somete a algún tratamiento térmico. La semilla de amaranto se puede emplear como cereal en el desayuno o como ingrediente en otros productos de repostería. También se puede tostar o cocinarse como atole o moler obteniéndose una harina dulce y de suave color apta para bizcochos, pastelillos y otros alimentos horneados. El grano de amaranto contiene poco gluten funcional, por lo que se recomienda mezclar con harina de trigo para que esponje con la levadura. Cuando se calientan los diminutos granos de alegría revientan y saben como palomitas, (maíz palomero) pero con cierto sabor a nuez. Esas semillas reventadas son livianas u crocantes y se comen como merienda, cereal frío, leche y miel, empanadas para carnes o verduras o bien se aglutinan con miel y entonces sirven de dulce (Consejo Nacional de Investigación, 1987). Con base a la necesidad que existe en la actualidad sobre el manejo de la calidad de semilla y grano por los productores en nuevas variedades y de conocer cómo está puede ser modificada mediante practicas agronómicas definidas que permitan mejorar el proceso industrial (reventado) e identificar la respuesta de estas variedades a la aportación de densidades de población, nitrógeno y fósforo, así como encontrar las variables que permitan obtener un mayor incremento en el rendimiento y calidad de semilla y grano; los objetivos de la presente investigación fueron:

1.1. OBJETIVOS GENERALES.

1. Evaluar el efecto de tres dosis de fertilización nitrogenada, dos de fósforo y tres densidades de población, en el rendimiento de semilla, así como en caracteres agronómicos de interés para el manejo del cultivo.
2. Evaluar el efecto de seis dosis de fertilización; así como tres densidades de población sobre la calidad física y fisiológica de la semilla en dos variedades de amaranto.
3. Determinar la calidad física y fisiológica de la semilla por el efecto de seis dosis de fertilización y tres densidades de población en dos variedades de amaranto después de seis meses de almacenamiento.
4. Determinar la calidad del reventado a partir del efecto de nitrógeno y fósforo; así como el estado nutrimental del amaranto a partir del contenido de proteína y aceite en grano.

1.2. HIPÓTESIS.

- 1) La aplicación de N y P al suelo favorece la expresión del potencial de rendimiento, sobre el cual existen efectos de Genotipo, Ambiente y de caracteres agronómicos.

- 2) La fertilización de nitrógeno y fósforo, y la densidad de población son factores que influyen calidad física y fisiológica de la semilla en amaranto.

- 3) El manejo apropiado en postcosecha (almacén rustico) en variedades de amaranto favorecen la preservación de una alta calidad física y fisiológica de la semilla.

- 4) La calidad del reventado es influenciado por el efecto de nitrógeno y fósforo, los cuales a su vez son determinantes del estado nutrimental del amaranto a partir del contenido de proteína y aceite en grano.

II. FERTILIZACIÓN Y DENSIDAD DE POBLACIÓN EN VARIEDADES DE AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus*)

POPULATION DENSITY AND FERTILIZATION IN AMARANTH VARIETIES (*Amaranthus hypochondriacus*)

RESUMEN

El amaranto (*Amaranthus* spp.) o huauhtli (en náhuatl) fue un alimento básico en el México prehispánico; se le cultiva tradicionalmente en los estados de Morelos, Puebla, Tlaxcala y Distrito Federal donde se obtienen rendimientos entre 1 000 y 4 000 kg ha⁻¹. Los amarantos para grano aumentan su porte con fertilizantes, pero con poca mejoría del rendimiento; mientras que los amarantos foliáceos requieren elevada fertilidad en el suelo, en especial potasio y nitrógeno. En virtud de la necesidad que tienen los productores de amaranto de producir su propia semilla, se plantearon los siguientes objetivos: 1) Evaluar el efecto de tres dosis de fertilización nitrogenada, dos de fósforo y tres densidades de población, en el rendimiento de semilla, 2) Determinar el efecto en el rendimiento y caracteres agronómicos de interés para el manejo del cultivo. El trabajo se realizó en dos localidades, se utilizaron tres variedades. Los experimentos se establecieron en el 2006 mediante un diseño de bloques completos al azar con arreglo de tratamientos en factorial 3³ X 2. Con lo antes expuesto se concluyó que la aplicación de los diferentes tratamientos de fertilización y densidad de población permitió observar el mejor incremento de rendimiento de semilla en cada una de las variedades.

Palabras clave: *Amaranthus hypochondriacus* L., fertilización, densidad de población, Revancha, Gabriela y DGETA.

2.1. INTRODUCCIÓN

El amaranto (*Amaranthus* spp.) o huauhtli (en náhuatl) fue un alimento básico en el México prehispánico. Alrededor de 20 mil toneladas llegaban anualmente como tributo a Tenochtitlan, capital del imperio Mexica. Su papel en la dieta fue casi tan importante como el maíz (*Zea mays* L.) y el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.); aunque en la actualidad su consumo principal es en forma de dulces, como las alegrías y las palanquetas. Según el Consejo Nacional de Investigación (1987), los amarantos son plantas de hoja ancha (latifolias), que producen granos comestibles tipo "cereal", también se conoce como "pseudocereal" para distinguirlo de las plantas productoras de granos. Crece vigorosamente; resiste sequías, calor y plagas; y se adapta fácilmente a nuevos ambientes, incluso algunos inhóspitos para los cereales propiamente dichos.

El National Research Council (1984) indica que el ciclo biológico del amaranto varía de 4 a 5 meses, aunque en áreas de clima cálido la maduración puede ocurrir en menor tiempo (3 meses) y en regiones frías se puede demorar hasta 10 meses. En general, desarrolla plantas con una alta estabilidad del rendimiento, pues su plasticidad le permite modificar su fenología y estructura (Espitia, 1991).

En México tradicionalmente se cultiva desde 2500 a 3300 msnm; sin embargo, se han observado excelentes resultados al nivel del mar y en áreas tropicales. Es susceptible a las bajas temperaturas (8°C) al exceso de humedad, pero en cambio es muy resistente al déficit hídrico y al calor. En condiciones adecuadas de suelos (neutros o básicos), humedad y temperatura, produce hasta $5,000\text{ kg ha}^{-1}$; aunque en promedio se obtienen rendimientos de $1,000$ a $2,500\text{ kg ha}^{-1}$ (Mujica y Berti, 1997).

En el país se cultivan 662 ha; los principales estados productores son Morelos (Huazulco, Amilcingo, Jantetelco y Ameyulca), y Puebla (Huaquechula, Santiago Tecla y Tulcingo); con rendimientos entre $1,800$ y $2,000\text{ kg ha}^{-1}$, bajo condiciones de temporal y de $1,000$ a $4,000\text{ kg ha}^{-1}$ en riego (Espitia, 1986).

En Tlaxcala, el cultivo del amaranto se concentra principalmente en dos municipios: Nativitas y Santa Apolonia Teacalco; donde en condiciones de temporal alcanza rendimientos de $2,000\text{ kg ha}^{-1}$ y en riego $3,000\text{ kg ha}^{-1}$, con tecnología tradicional (INEGI, 1998); mientras que en el Distrito Federal (Tulyehualco, Nativitas, Milpa Alta y Xochimilco) se obtienen de $1,000$ a $2,000\text{ kg ha}^{-1}$ con el sistema de trasplante. Los amarantos para grano aumentan su porte con fertilizantes, pero con poca mejoría del rendimiento; mientras que los amarantos foliáceos requieren elevada fertilidad en el suelo, en especial potasio y nitrógeno. El género no resiste bien una salinidad elevada y compite por el fósforo del suelo; esta interferencia es más evidente en suelos pobres en este elemento. Algunas estrategias de fertilización pueden reducir el efecto de la competencia, considerando que la aplicación de nitrógeno aumenta relativamente el crecimiento de la planta y disminuye la calidad de la semilla

(Early, 1986). En *A. hypochondriacus* se encontró que la densidad de 40 mil plantas ha^{-1} con 51 cm entre planta produjo 1.1 t ha^{-1} de grano (Alejandre y Gómez, 1986).

La densidad de siembra depende del método de cosecha, así como del tipo de variedad; en *A. hypochondriacus* y *A. cruentus*, una densidad aceptable, es de 320,000 plantas ha^{-1} . En los amarantos de tipo foliáceos se emplean densidades de hasta 100 plantas m^2 (Consejo Nacional de Investigación, 1987); por otra parte, Díaz-Ortega *et al.* (2003) reportan que con la aplicación de nitrógeno y el aumento de la densidad de población se eleva la eficiencia en el uso de agua y nitrógeno, y en consecuencia, se incrementa la producción de biomasa y el rendimiento de semilla, sin embargo, existe poca información sobre densidades de población para producción de semillas de este cultivo.

En virtud de la necesidad que tienen los productores de amaranto de producir su propia semilla, se plantearon los siguientes objetivos: 1) Evaluar el efecto de tres dosis de fertilización nitrogenada, dos de fósforo y tres densidades de población, en el rendimiento de semilla, 2) Determinar el efecto en el rendimiento y caracteres agronómicos de interés para el manejo del cultivo.

Las hipótesis planteadas fueron: 1) La aplicación de N y P al suelo favorecerá la expresión del potencial de rendimiento y, 2) Existen efectos en la expresión de rendimiento y de los caracteres agronómicos.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en dos localidades: Campus Montecillo, Edo. de México, del Colegio de Postgraduados ubicado a 19° 29' LN y a 98° 54' LO con una altitud de 2 250 msnm, y en San Miguel del Milagro, Nativitas, Edo. de Tlaxcala, a 19° 22' LN y 98° 25' LO y una altitud de 2 300 msnm.

Se utilizaron tres variedades: Revancha, Gabriela y DGETA, proporcionadas, la primera por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), y las dos últimas por el Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala.

Los experimentos se establecieron en el año 2006. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo de tratamientos en factorial $3^3 \times 2$ con tres repeticiones; se probaron 54 tratamientos producto de la combinación de tres variedades, tres dosis de nitrógeno (0, 60, 80 kg ha⁻¹, Cuadro 1), tres densidades de población (100, 150 y 200 mil plantas ha⁻¹) y dos de fósforo (30 y 60 kg ha⁻¹, Cuadro 1); la unidad experimental constó de cinco surcos de 4 m de largo y una distancia entre éstos de 0.80 m, en cada localidad. La parcela útil para determinar el rendimiento de semilla, expresado en kg ha⁻¹, fueron los tres surcos centrales. Otras variables medidas fueron: acame (AC) determinado en porcentaje; altura de planta (AP), esta se obtuvo al medir desde la base del tallo hasta el ápice de la inflorescencia y, longitud de inflorescencia (LI) tomada de la base de la inflorescencia hasta su ápice.

Cuadro 1. Dosis de fertilización aplicada en dos etapas para dos localidades (Montecillo y San Miguel del Milagro).

Dosis de fertilización	Localidad	
	Montecillo (CP, México)	San Miguel del Milagro (Tlaxcala)
1ra. Fertilización.	00-60-20	00-60-20
	00-30-20	00-30-20
	30-60-20	30-60-20
	30-30-20	30-30-20
	40-60-20	40-60-20
	40-30-20	40-30-20
2da. Fertilización.	00-00-20	00-00-20
	00-00-20	00-00-20
	30-00-20	30-00-20
	30-00-20	30-00-20
	40-00-20	40-00-20
	40-00-20	40-00-20
Total	00-60-40	00-60-40
	00-30-40	00-30-40
	60-60-40	60-60-40
	60-30-40	60-30-40
	80-60-40	80-60-40
	80-30-40	80-30-40

Tota= total de la fertilización aplicada.

El análisis estadístico se realizó de manera independiente para cada localidad usando el análisis de varianza mediante el procedimiento PROC GLM de SAS (2002), y para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($p=0.05$).

2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.3.1. Estado de México

Para la localidad Montecillo, el efecto de variedades es muy importante (Cuadro 2) para la producción de semillas ya que puede presentar

características diferentes en los caracteres agronómicos de interés, como altura de planta, longitud de inflorescencia, acame y rendimiento.

En el Cuadro 2, se pueden apreciar diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para la fuente de variación Fertilización, en las variables acame y rendimiento de semilla, lo que indica que al menos existió diferencia para una dosis de fertilización; se observaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para la fuente de variación Variedad, en las variables altura de planta, longitud de inflorescencia y rendimiento de semilla, lo que indica que al menos una variedad es diferente de las demás para estas características.

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza por el efecto de fertilización, variedad y densidad de población. Montecillo, Méx. 2006.

FV	GL	AP	LI	AC	RS
Bloques	2	0.03	0.02	2876.36 *	2503767.29 **
Fertilización(F)	5	0.01	0.01	999.45 *	435800.29 *
Variedad (V)	2	6.91 **	0.37 **	343.06	1689115.78 **
Densidad (D)	2	0.59 **	0.01	544.31	591888.60 *
FxV	10	0.01	0.01	272.95	64254.85
FxD	10	0.02	0.01	48.92	95687.00
VxD	4	0.08	0.001	1155.12	611151.50
Error	106	0.03	0.02	399.51	139874.27

AP=altura de planta, LI=longitud de inflorescencia, AC=acame, RS=rendimiento de semilla, **, * = significancia al 0.01 y 0.05 respectivamente.

Para densidad de siembra se encontró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para altura de planta y significativas ($p \leq 0.05$) para rendimiento de semilla; esto muy probablemente debido al efecto de competencia. Las interacciones Fertilización x Variedad (FxV), Fertilización x Densidad (FxD) y Variedad x Densidad (VxD) no presentaron diferencias estadísticamente significativas.

2.3.2. Comparación de medias

En la localidad Montecillo al aplicar la prueba de medias (Tukey = 0.05) para dosis de fertilización, sólo se aprecian diferencias en la variable rendimiento, donde se formaron dos grupos (Cuadro 3); de las cuales, el grupo "a" corresponde a las dosis de fertilización 60-30-40, 80-60-40, y 80-30-40, que pueden considerarse como sobresalientes; resultados que en cuanto a rendimiento coinciden con los obtenidos por Espitia (1986 y 1987), entre 0.8 a 2.0 t ha⁻¹ en siembras comerciales de variedades criollas. En las variables altura de planta, acame y longitud de inflorescencia, no se mostraron diferencias estadísticas, por lo que en todos los casos solamente se formó un grupo estadístico.

Algunos autores (Clark y Myers, 1994 y Elbehri *et al.*, 1993) han encontrado que para el rendimiento de semilla, con la fertilización de nitrógeno y fósforo hay respuesta de 2.81 kg por cada kg de estos elementos, lo cual puede ser comparable con el resultado de esta investigación donde se muestra (Cuadro

3) que en el caso de las dosis más elevadas en nitrógeno y fósforo son las que presentaron mejor rendimiento en contraste con las de 00 kg de nitrógeno.

Cuadro 3. Comparación de medias por el efecto de dosis de fertilización. Montecillo, Méx. 2006.

Variable	Tratamientos de fertilización					
	00-60-40	00-30-40	60-60-40	60-30-40	80-60-40	80-30-40
AP (m)	1.87 a [†]	1.83 a	1.82 a	1.81 a	1.86 a	1.86 a
LI (m)	0.81 a	0.79 a	0.75 a	0.78 a	0.80 a	0.77 a
AC (%)	23 a	24 a ^o	22 a	20 a	15 a	21 a
RS (kg ha ⁻¹)	2615 b	2380 b	2600 b	2694 a	2722 a	2702 a

[†]: Medias con la misma letra son estadísticamente iguales. Tukey, (p≤0.05).

El uso de variedades mejoradas de amaranto no es muy común, y ello se debe a que hay poca investigación sobre rendimiento de semilla, en función de dosis de fertilización y densidades de población, de tal manera que se comprueban los efectos por el manejo agronómico. Al respecto, en la comparación de medias (Cuadro 4) se aprecia que las variedades Revancha y Gabriela difieren de DGETA, en las variables altura de planta, longitud de inflorescencia y rendimiento de semilla, por efecto de variedades.

Las ventajas mostradas para rendimiento de semilla en la variedad DGETA, es probable que se deba a que tuvo la mayor expresión en longitud de inflorescencia (Cuadro 4). La variable LI presentó dos grupos estadísticamente diferentes, siendo la variedad DGETA la que expresa la mayor longitud; en la

variable Acame sólo se presentó un grupo, esto indica que no existe diferencia estadística entre las variedades y que por lo tanto todas presentaron el mismo porcentaje de acame; en la variable altura de planta se observan tres grupos estadísticos, siendo la variedad DGETA la más sobresaliente.

Cuadro 4. Comparación de medias entre variedades. Montecillo, Méx. 2006.

Variable	Variedad		
	Revancha	Gabriela	DGETA
AP (m)	1.45 c [†]	1.93 b	2.15 a
LI (m)	0.71 b	0.76 b	0.87 a
AC (%)	9 a	11 a	8 a
RS (kg ha ⁻¹)	1442 b	1448 b	1778 a

[†]: Medias con la misma letra son estadísticamente iguales. Tukey, (p≤0.05).

En la comparación de medias para densidad de población (Cuadro 5), se encontró que al menos en tres de las cuatro variables se formaron grupos estadísticamente diferentes (altura de planta, porcentaje de acame y rendimiento de semilla), en altura de planta se formaron dos grupos y la densidad de 200 mil plantas ha⁻¹ presentó la mayor altura, esto probablemente debido a la competencia; longitud de inflorescencia no se separó en grupos indicando que la densidad de población no influye en la longitud de inflorescencia. Para acame se tienen también dos grupos, siendo el de densidad de 100 mil pl ha⁻¹ donde se mostró menos esta población; rendimiento de semilla presentó dos grupos, mientras que la mejor densidad es la de 100 mil plantas ha⁻¹.

Cuadro 5. Comparación de medias para densidad de población. Montecillo, Méx. 2006.

Variable	Densidad de población		
	100 mil plantas ha ⁻¹	150 mil plantas ha ⁻¹	200 mil plantas ha ⁻¹
AP (m)	1.80 b [†]	1.76 b	1.96 a
LI (m)	0.76 a	0.79 a	0.80 a
AC (%)	8 b	12 a	12 a
RS (kg ha ⁻¹)	2725 a	2615 b	2516 b

[†]: Medias con la misma letra son estadísticamente iguales. Tukey, (p≤0.05).

Así, cuanto más espacio tengan las plantas (entre 30 y 45 cm) más considerable será su cobertura; esto es, su crecimiento y expresión de ramas, además de tener un mayor crecimiento radical lo que le proporciona un mejor anclaje en el suelo, disminuyendo el acame. Por el contrario, cuanto más reducido sea el espacio (entre 10 y 30 cm.), menor será el grosor del tallo y serán más susceptibles al acame, además de que habrá mayor estrés por falta de agua, en caso de extrema sequía, y por consecuencia se vería reducido el rendimiento de semilla.

2.3.3. Estado de Tlaxcala

En la localidad San Miguel, los cuadrados medios del análisis de varianza (Cuadro 6) muestran que la fuente de variación Fertilización presentó diferencias altamente significativas (p≤0.01) para los caracteres acame y rendimiento de semilla, mientras que para altura de planta el nivel de

significancia fue $p \leq 0.05$; variedades mostró alta significancia ($p \leq 0.01$) para altura de planta, longitud de inflorescencia y rendimiento de semilla.

Cuadro 6. Cuadrados medios del análisis de varianza por el efecto de fertilización, variedad y densidad de población. Montecillo, Méx. 2006.

FV	GL	AP	LI	AC	RS
Bloques	2	0.163 *	0.019	977.19	1020319.08 *
Fertilización (F)	5	0.091 *	0.004	5554.07 **	832181.39 **
Variedad (V)	2	6.204 **	0.381 **	546.05	2329679.47 **
Densidad (D)	2	0.159 *	0.005	5332.12 **	1007414.96 *
FxV	10	0.023	0.010	406.64	54113.96
FxD	10	0.017	0.007	647.36	257615.61
VxD	4	0.102	0.024	1478.56	161008.66
Error	106	0.032	0.011	502.67	132487.35

AP=altura de planta, LI=longitud de inflorescencia, AC=acame, RS=rendimiento de semilla, **, * = significancia al 0.01 y 0.05 respectivamente, **, * = significancia al 0.01 y 0.05 respectivamente.

La fuente de variación Densidad mostró significancia ($p \leq 0.01$) para acame y de ($p \leq 0.05$) para altura de planta y rendimiento de semilla. Las interacciones no mostraron diferencias significativas para ninguna de las variables evaluadas.

2.3.4. Comparación de medias

En la comparación de medias (Cuadro 7) para la fuente de variación Fertilización se aprecia que para altura de planta se formaron dos grupos, donde los tratamientos con las dosis 60-30-40, 80-60-40 y 80-30-40 mostraron las mayores alturas; longitud de inflorescencia no presentó diferencias

significativas; mientras que la dosis 00-60-40 mostró un menor acame, y de los tres grupos estadísticos que se formaron, los materiales que presentaron la mayor altura de planta también fueron los que mostraron mayor acame. La variable rendimiento presentó tres grupos estadísticos diferentes, el mayor rendimiento se encontró en las dosis 80-60-40 y 80-30-40, esto probablemente debido a que al ser plantas más altas también poseían mayor superficie foliar con lo que había mas fotosintatos disponibles para la formación y llenado de semilla.

Cuadro 7. Comparación de medias para dosis de fertilización. San Miguel del Milagro, Tlax. 2006

Variable	Tratamientos de fertilización					
	00-60-40	00-30-40	60-60-40	60-30-40	80-60-40	80-30-40
AP (m)	1.81 b [†]	1.78 b	1.84 b	1.92 a	1.91 a	1.89 a
LI (m)	0.70 a	0.70 a	0.72 a	0.70 a	0.72 a	0.70 a
AC (%)	14 c	26 b	36 b	43 a	46 a	52 a
RS (kg ha ⁻¹)	2303 c	2299 c	2430 b	2584 b	2722 a	2619 a

[†]: Medias con la misma letra son estadísticamente iguales. Tukey, (p≤0.05).

En estudios con el rendimiento de semilla en respuesta la fertilización nitrogenada realizados por Sumar *et al.* (1992) no se encontró diferencias significativas, pero en contraste sí la hubo para el desarrollo de la planta, mostrando que este se dio hasta la dosis de 160 kg de N ha⁻¹.

Myers (1998) encontró respuestas diferenciales de tres cultivares, que a su vez, mostraron la oportunidad adecuada, y el punto óptimo del nitrógeno hacia

la respuesta del desarrollo de la planta en amaranto; en este sentido, los tratamientos utilizados de la combinación de nitrógeno y fósforo indican datos similares en respuesta a la altura de la planta y el rendimiento de la semilla que son variables de importancia agronómica por los productores.

Cuadro 8. Comparación de medias entre variedades. San Miguel del Milagro, Tlax. 2006.

Variable	Variedad		
	Revancha	Gabriela	DGETA
AP (m)	1.48 c [†]	1.96 b	2.14 a
LI (m)	0.62 c	0.72 b	0.78 a
AC (%)	40 a	33 a	35 a
RS (kg ha ⁻¹)	2375 b	2371 b	2733 a

[†]: Medias con la misma letra son estadísticamente iguales. Tukey, (p≤0.05).

La comparación de medias para la fuente de variación Variedad (Cuadro 8) muestra que sólo la variable acame no presentó grupos estadísticamente diferentes, mientras que la variedad DGETA fue superior en tres de las cuatro variables estudiadas: altura de planta, longitud de inflorescencia y rendimiento de semilla.

El amaranto tiende a ser una planta con alta estabilidad del rendimiento, pues su plasticidad le permite modificar su fenología y estructura en diferentes ambientes para conservar la expresión del rendimiento (Espitia, 1991).

La comparación de medias por efecto de densidad de población (Cuadro 9) muestra que para la variable longitud de inflorescencia no existieron diferencias

entre tratamientos; esto es que en las tres densidades (100, 150 y 200 mil plantas ha⁻¹) hubieron respuestas similares; no obstante, puede apreciarse que hay mayor altura de planta (1.91 m) y un elevado rendimiento de semilla a la densidad de 100 mil plantas ha⁻¹.

Cuadro 9. Comparación de medias entre densidades de población. San Miguel del Milagro, Tlax. 2006.

Variable	Densidad de población		
	100 mil plantas ha ⁻¹	150 mil plantas ha ⁻¹	200 mil plantas ha ⁻¹
AP (m)	1.91 a[†]	1.87 a	1.80 b
LI (m)	0.70 a	0.72 a	0.70 a
AC (%)	25 b	45 a	38 a
RS (kg ha ⁻¹)	2643 a	2460 b	2376 b

[†]: Medias con la misma letra son estadísticamente iguales. Tukey, (p≤0.05).

La densidad de población se da por la distancia que se deja entre plantas al momento del aclareo o trasplante; ubicándola como parte del manejo agronómico, con influencia muy importante en el rendimiento de semilla, toda vez que influye en la expresión de algunos componentes del rendimiento. En este que al incrementar la densidad de población se reduce el rendimiento y aumenta el porcentaje de acame, lo que se atribuye a que hubo competencia completa para el caso de la localidad de San Miguel del Milagro, Tlaxcala, ocurriendo lo contrario para la de Montecillo en el Estado de México.

2.4. CONCLUSIONES

La aplicación de los tratamientos de fertilización permitió observar el incremento del rendimiento de la semilla en cada una de las variedades, encontrándose que los mejores tratamientos de fertilización y densidades de población para cada localidad (San Miguel del Milagro, Montecillo) son: 80-60-40 y con la densidad de 100 mil plantas ha⁻¹, para ambas localidades.

2.5. LITERATURA CITADA

Alejandro I G, Gómez F L (1986) Cultivo del amaranto en México. Universidad Autónoma Chapingo. México. 245 p.

Consejo Nacional de Investigación (1987) El Amaranto, perspectivas modernas para un cultivo olvidado. National Academy Press. Amaranto Mexicano, S. A. Ed. Villicaña, S. A. 85 p.

Clark K M, R L Myers (1994) Intercrop performance of pearl millet, amaranth, cowpea, soybean and guara in response to planting pattern and nitrogen fertilization. Agron. J. 86: 1097-1102.

Díaz O C A, Escalante E A, Trinidad S A, Sánchez G P, Mapes S C, Martínez M D (2003) Rendimiento, eficiencia agronómica del nitrógeno y eficiencia en el uso del agua en amaranto en función del manejo del cultivo. Terra *Latinoamericana* 22: 109-116.

Early K D (1986) Cultivo y usos del amaranto (Kiwicha) en dos centros de domesticación: México y Perú. *In: V Congreso Internacional de Sistemas Agropecuarios Andinos*. Puno, 1-14 de marzo. PISA, IID-CANADA. Puno, Perú. 94 p.

Elbehri A, D H Putnam, M Schmitt (1993) Nitrogen fertilizer and cultivar effects on yield and N-use efficiency of grain amaranth. *Agron. J.* 85: 120-128.

Espitia R E (1986) Situación actual y problemática del cultivo del amaranto en México. *In: Primer Seminario Nacional del Amaranto*. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. pp. 101–108.

_____ **R E (1987)** Caracterización y evaluación preliminar de germoplasma de *Amaranthus*. *In: Coloquio Nacional de Amaranto*. Programa-Amaranto. CAEVAMEX-CIFAPMEX-INIFAP. Querétaro, Qro. México. 118 p.

_____ **R E (1991)** Estabilidad del rendimiento en amaranto. *In: Primer Congreso Internacional del Amaranto*. Oaxtepec Morelos, México. Septiembre 22-27. p 65.

INEGI (1998) Anuario Estadístico del Estado de Tlaxcala. Gobierno del estado de Tlaxcala pp. 290-300.

Myers L R (1998) Nitrogen fertilizer effect of grain amaranth. *Agron. J.* 90: 597-602.

Mujica S A, D Berti M (1997) El cultivo del amaranto (*Amaranthus* spp.): producción, mejoramiento genético y utilización. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. 145 p.

NRC (National Research Council) (1984) Amaranth modern prospects for an ancient crop. Second printing. National Academy Press Washington, D. C. USA. 77 p.

SAS. Institute Inc. (2002) The SAS System. Release V 8.1. Cary. N. C. USA 830 p.

Sumar L, J Pacheco, A I R Concha, G Castelo, R Aedo, Y C Choquevilca, E Valdeiglesias (1992) Grain amaranth research in Peru. Food Rev. Int. 8: 87-124.

III. FERTILIZACIÓN Y DENSIDAD DE POBLACIÓN I. CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA EN LA SEMILLA DE AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus*)

FERTILIZATION AND POPULATION DENSITY I. PHYSICAL AND PHYSIOLOGICAL QUALITY IN AMARANTH (*Amaranthus hypochondriacus*) SEED

RESUMEN

La calidad de la semilla para siembra es muy importante ya que de ella depende en cierto modo que se alcancen altos rendimientos de tal manera que los productores logren producir su propia semilla a partir de una determinada evaluación como control de calidad y así presenciar su estado físico y fisiológico de la semilla que no solo va a depender del estado nutrimental sino también de la competencia entre planta y el lugar donde se estableció y desarrollo el cultivo; de esta manera y dada la necesidad que existe actualmente con los productores de amaranto para producir su propia semilla de buena calidad; en el presente estudio se evaluaron seis dosis de fertilización en combinación de nitrógeno y fósforo, en tres densidades de población y dos variedades de amaranto sobre la calidad física y fisiológica de la semilla. El estudio se realizó en el laboratorio de Análisis de semilla del Colegio de Postgraduados con 36 tratamientos y tres repeticiones, las variables que se evaluaron en calidad física fueron, contenido de humedad, peso seco de la semilla y peso volumétrico, en calidad fisiológica se evaluaron plántulas normales, anormales y semillas no germinadas, y las pruebas para vigor fueron

primer conteo, conductividad eléctrica y envejecimiento acelerado. Los resultados mostraron que no hubo ningún efecto en la calidad física para fertilización, variedad y en densidad de población esto puede atribuirse a que las plantas se establecieron en campo de igual manera más sin embargo para calidad fisiológica si las hubo en germinación y vigor encontrándose datos que ayudan a identificar que la semilla de amaranto es de buena calidad, por otra parte se concluye que en dosis de fertilización, variedad y densidad de población mostraron un porcentaje de germinación y vigor donde se determina que la mejor variedad y densidad población fueron Gabriela y con las densidades de 100 y 150 mil plantas ha⁻¹.

Palabras clave: *Amaranthus hypochondriacus* L., fertilización, densidad de población, calidad de semilla, Revancha y Gabriela

3.1. INTRODUCCIÓN

La calidad de la semilla para siembra es muy importante ya que de ella depende en gran medida que se alcancen altos rendimientos. Para lograr esto, el cultivo debe ser manejado apropiadamente durante todas las etapas, donde el efecto de los factores ambientales, métodos de cosecha, enfermedades, insectos y condiciones de almacenamiento pueden afectar severamente su calidad, la cual está dada por los componentes genéticos, fisiológicos sanitarios y físicos (De León, 1989).

Un paso importante en la domesticación de los amarantos fue la selección que los antiguos agricultores hicieron de las formas mutantes en las que la semilla negra de tipo silvestre fue remplazada por una semilla blanca; el resultado fue una semilla de mejor sabor y con mayor calidad al reventar; este tipo de mutación también permitió a los domesticadores prehistóricos evitar cruza entre su cultivo y los amarantos silvestres por medio de la eliminación de las semillas oscuras híbridas en la semilla utilizada para la siembra, y de esta forma se favoreció la evolución divergente de las formas domesticadas. La selección artificial aumentó el tamaño de las plantas, inflorescencias e incrementó así la producción de semilla; la selección artificial también produce formas de color rojo brillante, lo que sugiere que los agricultores prehistóricos sentían demasiado interés por la utilidad de sus plantas y por su belleza (Mujica y Berti, 1997).

La semilla de amaranto es bastante pequeña (0.9 - 1.7 mm de diámetro) y su peso varía entre 1,000 a 3,000 semillas g^{-1} y así también el color puede variar desde crema a oro y de negro a rosa (Stallknecht y Schulz-Schaeffer, 1993).

La interacción del genotipo con el ambiente es de gran importancia para el fitomejorador en la formación y desarrollo de variedades mejoradas, ya que cuando estas son comparadas en ambientes diferentes su comportamiento varía (Espitia, 1991a).

La habilidad de los genotipos para resistir a los cambios del ambiente y mantener una menor interacción con éste se le ha definido como amortiguamiento y estabilidad (Eberhart y Russell, 1966).

En general, el amaranto tiende a ser una planta con una alta estabilidad del rendimiento, pues su plasticidad le permite modificar su fenología y estructura en diferentes ambientes para conservar la expresión de rendimiento (Espitia, 1991b). Sin embargo, en regiones templadas de la Mesa Central de México, los cultivares de *A. cruentus* y de *A. hypochondriacus* desarrollan su ciclo biológico entre 120 y 208 días (Espitia, 1987), al mismo tiempo que en regiones cálidas de Morelos y Veracruz alcanzan su madurez en 80 días (Espitia, 1987; Bañuelos *et al.*, 1988).

Para el caso de *Amaranthus* spp. aún no se ha definido un criterio universal para determinar la madurez fisiológica; no obstante, el cambio de color de la inflorescencia o panoja es el indicador más utilizado. Así, en panojas verdes se ha observado el cambio de color verde a un color oro, en panojas rojas cambia de color rojo a café rojizo. En ese estado, las semillas son duras y no es posible penetrarlas con la uña, pero cuando alcanza la madurez al sacudir la panoja, las semillas maduras caen; Mujica y Berti (1997) asocian la madurez con la senescencia de las hojas, la planta tiene un aspecto seco de color café y generalmente se espera que caiga la primera helada de otoño para que disminuya la humedad de la semilla.

Dada la necesidad que existe actualmente en los productores de amaranto para producir su propia semilla de buena calidad; en el presente estudio se evaluaron seis dosis de fertilización en combinación de nitrógeno y fósforo, en tres densidades de población y dos variedades de amaranto sobre la calidad física y fisiológica de la semilla.

La hipótesis planteada fue que las seis dosis de fertilización y las tres densidades de población favorecerán la calidad física y fisiológica de la semilla de variedades de amaranto.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó la semilla producida en el ciclo P-V 2006 de las variedades Revancha y Gabriela; la primera fue proporcionada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) y la segunda por el Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala (ITAT) se tuvieron 36 tratamientos producto de la combinación de las dos variedades, tres dosis de nitrógeno (0, 60, 80 kg ha⁻¹), dos de fósforo (30 y 60 kg ha⁻¹) y tres densidades de población (100, 150 y 200 mil plantas ha⁻¹), con tres repeticiones

3.2.1. Calidad Física

Contenido de Humedad (CH): Se realizó por el método de la estufa a 130°C por un lapso de 2 h, en 2 g de semilla; los resultados se expresan en porcentaje en base de peso húmedo.

Peso Seco (PS): Se consideró el peso seco directo de la muestra de semilla después de ser introducida en la estufa para determinar el contenido de humedad.

Peso Volumétrico (PV): Se evaluó dejando caer la semilla en un recipiente de 36 ml a una distancia de 10 cm en la parte central del recipiente para

posteriormente rasar con una regla de madera y enseguida medir su peso en una báscula analítica OHAUS de 0.001 g de precisión, los resultados se expresan en kg hL^{-1} .

3.2.2. Calidad Fisiológica

Germinación: Se midió en repeticiones de 25 semillas mediante la técnica sobre papel en cajas Petri a 27°C durante 6 días. Se realizó un primer conteo a los 2 días y un segundo a los cinco días después de la siembra. Se consideraron las variables: **Plántulas Normales (PN)**, que fue la suma de las plántulas con las características de normales del primero y segundo conteo; **Plántulas Anormales (PA)**, aquellas con características de anormales en el segundo conteo; y **Semillas no Germinadas (SNG)**, que consideró el número de semillas muertas y latentes del primero y segundo conteo, los resultados se reportan en porcentaje.

Primer Conteo (PC): Se consideró como indicador de vigor, analizando los valores de plántulas normales del primer conteo de la prueba estándar de germinación, al segundo día midiendo la protusión radicular después de la siembra, los resultados se reportan en porcentaje.

Conductividad Eléctrica (CE): se usó como referencia la metodología propuesta por Moreno (1984). Se pesaron 100 semillas y se colocaron en un vaso de vidrio con 50 ml de agua desionizada, que fue colocado en condiciones de 23 a 25°C por 8 h, para tomar la conductividad eléctrica con un medidor

Modelo OAKTON "Conductivity Meter". Los resultados se expresan en $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$.

Envejecimiento Acelerado (AC): se pesaron 10 g de semilla y se colocaron sobre una malla de alambre con tela, está se ubicó dentro de cajas de plástico tipo sandwichera con agua, a una altura de 5 cm para evitar contacto con el agua. Las cajas se sellaron y se metieron en una estufa con temperatura de 41 ± 0.3 °C por 72 h, después se realizó la prueba de germinación estándar con 25 semillas, donde se contabilizó en número de plántulas normales, anormales y semillas no germinadas. Adicionalmente se midió el contenido de humedad antes y después del tratamiento de envejecimiento.

3.2.3. Análisis Estadístico

Las variables expresadas en porcentaje se transformaron con la función Arcoseno y se analizaron con un diseño completamente al azar por dosis de fertilización y densidades de población con el programa SAS-GLM (SAS, 2002), los promedios se compararon por la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad.

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1 Calidad física.

Los factores y niveles evaluados no afectaron el contenido de humedad, materia seca y peso volumétrico de la semilla (Cuadro 1). El efecto de estos resultados se debe principalmente a que todos los tratamientos se comportaron

de la misma manera durante la evaluación en el laboratorio así como a partir de la procedencia que tuvo la semilla (ciclo primavera-verano 2006).

Cuadro1. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables de calidad física en amaranto. Montecillo, México 2006.

FV	GL	CH	PS	PV
Rep	2	50.08	0.0200	0.30
F	5	1.91	0.0007	0.21
V	1	0.05	0.0002	0.02
D	2	4.18	0.0016	0.14
F x V	5	0.42	0.0001	0.19
F x D	10	1.65	0.0006	0.14
V x D	2	1.43	0.0005	0.57
COFVD	35	1.40	0.0005	0.20
Error	80	1.50	0.0006	0.17
CV (%)		13.44	1.35	1.44

Rep=repetición, F=fertilización, V=variedad, D=densidad, x=interacción, COFVD=combinación de factores y CV=coeficiente variación, CH=contenido de humedad, PS=peso de la semilla y PV=peso volumétrico.

La calidad física es uno de los aspectos más importantes en el análisis de semillas la cual, asociada al poder germinativo, el vigor, y el contenido de humedad definen la calidad, por lo que para su evaluación se han ido desarrollando protocolos importantes para ser utilizados en los programas de producción y la comercialización de diferentes especies (Moreno, 1984).

3.3.1.1. Efecto de la Dosis de fertilización. Las dosis de fertilización no afectaron de manera significativa el contenido de humedad, peso seco y peso volumétrico de la semilla (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación de medias para variables de calidad física por el factor Dosis de Fertilización. Montecillo, México 2006.

Variable	Dosis de fertilización					
	1	2	3	4	5	6
CH (%)	9.58 a [†]	9.08 a	8.91 a	9.25 a	8.63 a	9.58 a
PS (g)	1.81 a	1.82 a	1.82 a	1.81 a	1.83 a	1.81 a
PV (kg hL ⁻¹)	80.30 a	79.97 a	79.88 a	79.69 a	79.61 a	79.44 a

[†]: Medias con las mismas letras en la misma hilera son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey al 0.05 de probabilidad.

Se puede mencionar que el resultado mostrado se debe a las condiciones ambientales durante el desarrollo del cultivo; aspecto sobre el cual Ramírez (2005) y Alejandre y Gómez (1986) mencionan que el peso volumétrico encontrado en una evaluación de genotipos fueron de 76.32-79.79 kg hL⁻¹ y por otra parte Arroyo-Figueroa (1986) y Barba de la Rosa (1986) citados por Morales *et al.* (2009) y Paredes *et al.* (1988) informan que el amaranto tiene un peso de 76.9 kg hL⁻¹, que son comparables con los datos de frijol común y el trigo.

Haciendo referencia a las características de las semillas que son consideradas como factores de calidad física, tales como: el contenido de humedad, peso por volumen y la pureza de la semilla, y adicionalmente se pueden considerar el color, el tamaño, peso de 1000 semillas y el daño por hongos e insectos. Cabe señalar que el contenido de humedad y la materia seca de la semilla (Cuadro

2) son algunas de las variables de la calidad física que se relacionan con la madurez fisiológica mismas que pueden ser usadas para definir el momento oportuno de la cosecha en amaranto en el que no existe una norma estandarizada para la cosecha manual o mecánica.

3.3.1.2. Efecto de variedades. En el Cuadro 3 se aprecia que no hubo diferencias significativas para las dos variedades 1 (Revancha) y 2 (Gabriela).en cada variable evaluada.

Cuadro 3. Comparación de medias para variables de calidad física por el factor Variedad. Montecillo, México 2006.

Variable	Variedad	
	1	2
CH (%)	9.10 a [†]	9.14 a
PS (g)	1.81 a	1.81 a
PV (kg hL ⁻¹)	79.86 a	79.77 a

[†]: Medias con las mismas letras en la misma hilera son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey al 0.05 de probabilidad.

Siendo importante mencionar la importancia de estas variables, tanto es que a mayor peso volumétrico menos semilla vana y de mayor tamaño. Acorde a lo anterior las dos variedades presentaron la misma calidad de semilla en cuanto al peso volumétrico y de la misma forma para el contenido de humedad y el peso de materia seca de la semilla.

El manejo de la humedad es el factor más importante en la conservación de semillas, ya que favorecen el desarrollo de insectos y hongos afectando los procesos fisiológicos de los que dependen la pérdida de vigor y viabilidad (Moreno, 1984). Los valores de humedad obtenidos en esta investigación son similares a los reportados por The National Research Council (1984) (6 - 11 %) para *Amaranthus* spp., Teutónico y Knorr (1985) (11.1 %), Bernal (1997) (10.36-10.60 %) y Ramírez y Tabales (2002) (7.81-11.07 %), quienes trabajaron *Amaranthus hypochondriacus* L.

3.3.1.3. Efecto de densidades de población. La comparación de medias por densidad de población (Cuadro 4) muestra que estadísticamente no hay diferencias significativas para 100, 150 y 200 mil plantas ha⁻¹ en CH, PS Y PV.

Cuadro 4. Comparación de medias para variables de calidad física por el factor Densidad de Población. Montecillo, México 2006.

Variable	Densidad		
	1	2	3
CH (%)	9.0 a [†]	9.5 a	8.8 a
PS (g)	1.82 a	1.81 a	1.82 a
PV (kg hL ⁻¹)	80.00 a	79.64 a	79.80 a

[†]: Medias con las mismas letras en la misma hilera son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey al 0.05 de probabilidad.

Gimplinger *et al.* (2008) reportan que al tener una densidad de más de 50 plantas m⁻¹ es aceptable combinándola con plantas pequeñas y tallos delgados porque este va a reducir el número de ramas y un bajo contenido de humedad

por lo que facilitaría la cosecha mecánica y por supuesto reduciría la pérdida de semilla; no obstante, la evaluación de las densidades utilizadas en campo se comportaron de la misma manera, y por tal motivo puede decirse que la calidad de semilla dentro de variedades es buena y no se presentó ninguna pérdida como se indica en los diferentes tratamientos de dosis de fertilización, variedades y densidad de población.

3.3.2. Calidad fisiológica.

Los cuadrados medios del análisis de varianza indican que hay diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre variedades para plántulas normales, anormales y semillas no germinadas y significativas para variedades en plántulas normales. No se detectaron diferencias para dosis de fertilización y las interacciones entre los factores (Cuadro 5).

Las diferentes densidades de población utilizadas no tuvieron efecto significativo ($p > 0.05$) para plántulas normales y semillas no germinadas porque quizá hubo una buena maduración del grano y con ello alta la calidad de la semilla.

Cuadro 5. Cuadrados medios y significancia estadística para variables de germinación y vigor de la semilla en amaranto. Montecillo, México 2006.

FV	GL	PN	PA	SNG
Rep	2	1711.26	441.04	445.48
F	5	45.30	19.10	26.19
V	1	12202.81 **	3114.81 **	2987.26 **
D	2	500.59 *	229.48	54.37
FxV	5	33.21	54.55	40.41
FxD	10	143.26	82.28	36.77
VxD	2	94.37	36.59	36.60
COFVD	35	130.20	164.52	116.40
Error	80	169.01	88.68	53.95
CV		16.92	57.46	108.96

Rep=repetición, F=fertilización, V=variedad, D=densidad, x=interacción, COFVD=combinación de factores y CV=coeficiente variación, PN=plántulas normales, PA=plántulas anormales y SNG=semillas no germinadas, *, **=significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad.

En primer conteo y en envejecimiento acelerado (plántulas normales y semillas no germinadas) (Cuadro 6) se observan diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre variedades; mientras que entre fertilización y densidad de población no hubo efecto significativo ($p > 0.05$) para primer conteo y conductividad eléctrica. Cabe señalar que en la prueba de vigor de conductividad eléctrica no hubo ningún efecto entre dosis de fertilización, variedad y densidad de población así como en la humedad de salida y plántulas anormales de la prueba de envejecimiento acelerado.

Cuadro 6. Cuadrados medios y significancia estadística para variables de vigor de la semilla. Montecillo, México 2006.

FV	GL	PC	CE	EA		
				PN	PA	SNG
Rep	2	13347.70	2.52	983.25	416.44	129.92
F	5	126.81	14.98	110.81	183.11	41.48
V	1	31348.15 **	17.92	1253.92 **	432.00	3157.92 **
D	2	409.92	11.86	741.92*	195.11	256.14
FxV	5	51.79	29.19	202.19	314.66	335.52
FxD	10	145.39	7.57	89.48	181.95	207.79
VxD	2	105.03	13.68	357.92	27.11	196.59
COFVD	35	1047.65*	11.84	220.02	169.59	276.96
Error	80	297.80	11.21	165.75	195.71	219.46
CV		23.65	46.01	38.71	42.91	42.91

Rep=repetición, F=fertilización, V=variedad, D=densidad, x=interacción, COFVD=combinación de factores y CV=coeficiente variación, PC=primer conteo, CE=conductividad eléctrica, EA=envejecimiento acelerado, *, **=significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad.

Algunos autores como Ellis *et al.* (1985), Bartolini y Hampton (1989) y Bernal (1997) subrayan que las semillas de *Amaranthus* spp. muestran latencia; sin embargo, en la presente investigación no se presentó esta característica. Analizando las diferencias de las tres pruebas establecidas para vigor, se puede inferir que las condiciones ambientales de ese ciclo (P-V 2006) favorecieron para obtener semilla de buena calidad.

Cuadro 7. Comparación de medias para variables de germinación y vigor por el factor Dosis de Fertilización. Montecillo, México 2006.

Variable	Dosis de fertilización					
	1	2	3	4	5	6
PN (%)	76 a [†]	74 a	78 a	76 a	78 a	76 a
PA (%)	17 a	17 a	15 a	15 a	15 a	17 a
SNG (%)	6 a	8 a	6 a	7 a	5 a	5 a
PC (%)	68 a	73 a	74 a	72 a	76 a	73 a
CE ($\mu\text{s cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)	7 a	6 a	7 a	9 a	7 a	7 a

[†]: Medias con las mismas letras en la misma hilera son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey al 0.05 de probabilidad.

3.3.2.1. Efecto de dosis de fertilización. Las diferentes dosis de fertilización no mostraron diferencias significativas para todas las variables (Cuadro 7) de germinación y en las pruebas de vigor de primer conteo y conductividad eléctrica.

De lo anterior se deduce que en germinación todas las dosis de fertilización de comportaron de la misma manera siendo así que la germinación reportada en esta investigación son similares a los reportados por Ramírez y Tabales (2002) (70.91-82.65 %).

3.3.2.2. Efecto de variedades y densidades de población. El Cuadro 8 muestra que para plántulas normales, anormales, semillas no germinadas y la prueba de vigor primer conteo hubo diferencias significativas para variedad, excepto en conductividad eléctrica. Esta prueba estima la germinación y vigor

de las semillas sobre la base de la medición de la liberación de electrolitos al medio como consecuencia del estado de integridad de las membranas celulares, por lo que las semillas deterioradas o muertas liberan una mayor cantidad de electrolitos que las sanas y vigorosas (Arango y Craviotto, 2001).

Por lo anterior se puede mencionar que la prueba de vigor estima la germinación dando como resultado una buena calidad tal como lo indica Moreno (1984), quien señala que en base a la experiencia que se tiene sobre esta prueba en Inglaterra y Gales (en los Laboratorios Oficiales de Análisis de Semillas) la prueba de conductividad eléctrica se interpreta cuando la semilla presenta $24 \mu s cm^{-1} g^{-1}$ o menos, puede usarse con toda seguridad en siembras tempranas o condiciones desfavorables, los resultados en esta investigación en la prueba de conductividad eléctrica permiten recomendar la semilla como de buena calidad por tener datos menores de $24 \mu s cm^{-1} g^{-1}$.

Cuadro 8. Comparación de medias para variables de germinación y vigor por el factor Variedad y Densidad de Población. Montecillo, México 2006.

Variable	Variedad		Densidad		
	1	2	1	2	3
PN (%)	66 b [†]	87 a	77 a	80 a	73 b
PA (%)	21 a	11 b	16 a	14 a	19 a
SNG (%)	12 a	1 b	7 a	5 a	7 a
PC (%)	55 b	90 a	76 a	74 a	69 a
CE ($\mu s cm^{-1} g^{-1}$)	7 a	8 a	7 a	7 a	8 a

[†]: Medias con las mismas letras en la misma hilera son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey al 0.05 de probabilidad.

Por otra parte, en densidad de población se reporta que en plántulas anormales, semillas no germinadas primer conteo y conductividad eléctrica se comportaron iguales a diferencia de plántulas normales donde se muestra que las densidades de 100 y 150 mil plantas ha^{-1} fueron las más adecuadas para obtener un alto porcentaje de germinación. De igual manera la variedad Gabriela presento mejor porcentaje de germinación y mejor vigor en la variable de primer conteo también es importante mencionar que en amaranto existen pocos estudios sobre pruebas de vigor para evaluar su calidad, no obstante, esta prueba podría ser una buena opción para determinar el vigor de la semilla de amaranto, lo que se atribuye a los resultados obtenidos (Cuadros 7 y 8).

En el Cuadro 9 no se observan diferencias para plántulas normales, anormales y semillas no germinadas entre dosis de fertilización y variedad a excepción de la variedad Gabriela donde se observa que tuvo un menor porcentaje de semillas no germinadas.

En referencia a la densidad de población de 150 mil plantas ha^{-1} (Cuadro 8) se determina que en esta prueba de vigor se vio menos afectada en la variable de plántulas normales en comparación con las de 100 y 200 mil plantas ha^{-1} .

Cabe señalar que esta prueba es una de las más utilizadas en soya para evaluar el vigor tanto en Argentina como en Brasil, se utiliza para medir el vigor de los lotes de semillas, es decir la capacidad de las semillas de germinar en condiciones subóptimas o de estrés; se fundamenta principalmente en someter a las semillas a condiciones totalmente opuestas a un buen almacenamiento (Arango y Craviotto, 2001).

Cuadro 9. Comparación de medias para variables de envejecimiento acelerado por los factores de dosis de fertilización, variedad y densidad de población. Montecillo, México 2006.

Variable de EA	Dosis de fertilización						Variedad		Densidad		
	1	2	3	4	5	6	1	2	1	2	3
PN (%)	34 a	35 a	32 a	34 a	29 a	34 a	45 a	45 a	31 b	38 a	30 b
PA (%)	33 a	28 a	34 a	34 a	36 a	32 a	30 a	34 a	31 a	30 a	32 a
SNG (%)	32 a	36 a	34 a	36 a	34 a	33 a	39 a	29 b	34 a	32 a	37 a

†: Medias con las mismas letras en la misma hilera son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey al 0.05 de probabilidad.

En comparación con la prueba de germinación mostrada en los Cuadros 7 y 8 se deduce que la prueba de envejecimiento acelerado puede ser adecuada para medir el vigor de la semilla que no completa su madurez fisiológica o quizás tenga mucho tiempo de almacenamiento y en condiciones desfavorables.

3.4. CONCLUSIONES

Se concluye que las variables de calidad física evaluadas no se encontraron diferencias en dosis de fertilización, variedad y densidad de población, a diferencia de las variables evaluadas en porcentaje de germinación y vigor donde se determina que la mejor variedad y densidad población fueron Gabriela y con las densidades de 100 y 150 mil plantas ha⁻¹.

3.5. LITERATURA CITADA

Alejandro I G, L F Gómez (1986) Cultivo del amaranto en México. Universidad Autónoma de Chapingo. Impreso en México. 245 p.

Arango M R, R M Craviotto (2001) Calidad de semillas de soja. Poderosas herramientas han surgido para evaluar la calidad de las semillas de soja, atributo determinante del éxito económico de la empresa agropecuaria. INTA Oliveros; Santa Fe, Argentina. pp: 24-28.

Bañuelos V B, J B Escobar, E M Gómez, F E Sánchez, D J Zilli (1988) Comportamiento de 12 genotipos de amaranto (*Amaranthus* spp.) bajo condiciones de tres zonas ecológicas del estado de Veracruz. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Agrícolas. 105 p.

Bartolini J S, J G Hampton (1989) Grain amaranth seed development, yield and quality. Proceedings Annual Conference Agronomy Society of New Zealand 19: 55-61.

Bernal M R (1997) La mancha negra del tallo *Macrophoma* sp. sobre la calidad de semilla en amaranto. Tesis de Maestría en Ciencias Especialidad en Semillas. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 70 p.

De León C H (1989) Disponibilidad y uso de las semillas mejoradas y criollas en México. *In: Memorias del Simposio Internacional sobre Tecnologías de Producción de Maíz. Tomo I. FIRA. Noviembre 23 y 24. Guadalajara, México. pp: 89-99.*

Eberhart S A, W A Russell (1966) Stability parameters for comparing varieties.

Crop Science. 6:36-40.

Espitia R E (1987) Caracterización y evaluación preliminar de germoplasma de

Amaranthus. Coloquio Nacional de Amaranto. Programa-Amaranto.

CAEVAMEX-CIFAPMEX-INIFAP. Querétaro, Qro. México. 118 p.

_____ **R E (1991a)** Variabilidad genética e interacciones del rendimiento y sus

componentes en alegría (*Amaranthus* spp.). Colegio de Postgraduados,

Montecillo, Méx. Tesis de Maestría en Ciencias. 104 p.

_____ **R E (1991b)** Estabilidad del rendimiento en amaranto. *In*: Primer

Congreso Internacional del Amaranto. Oaxtepec Morelos, México.

Septiembre 22-27. p 65.

Ellis R H, T D Hong, E H Roberts (1985) Handbook of Seed Technology for

Genebanks. Volume II. Compendium of Specific Germination Information

and Test Recommendations. Handbook for Genebanks No. 3.

International Board for Plant Genetic Resources. Rome, Italy. pp: 241-

246.

Gimplinger D M, Erley S, Dobos G G, Kaul H P (2008) Optimum crop

densities for potential yield and harvestable yield of grain amaranth are

conflicting. European Journal of Agronomy Volume 28, Issue 2. pp: 119-

125.

Morales G J C, Vázquez M N, Bressani C R (2009) El amaranto.

Características físicas, químicas, toxicológicas y funcionales y aporte

nutricio. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. México, D. F. 269 p.

Moreno M E (1984) Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 383 p.

Mujica S A, D M Berti (1997) El cultivo del amaranto (*Amaranthus* spp.): producción, mejoramiento genético y utilización. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, de Chile. 145 p.

National Research Council (1984) Amaranth modern prospect for an ancient crop. National Academy Press Washington, D. C. 77 p.

Paredes L O, Cárabez T A, Pérez H S, González C J (1988) Influence of Germination on Physico-chemical Properties of Amaranth Flour and Starch Microscopic Structure. *Starch – Stärke*. Volume 40. Issue 8. pp 290–294.

Ramírez V M L, Tabales M A L (2002) Descripción varietal de líneas de amaranto *Amaranthus hypochondriacus* L. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 29. Xocoyucan, Tlax. 121 p.

Ramírez V M L (2005) Efecto del crecimiento determinado e indeterminado en la calidad de la semilla en amaranto *Amaranthus hypochondriacus* L. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. 90 p.

SAS Institute Inc. (2002) The SAS System. Release 9.0. Cary. N. C. USA.

Stallknecht G F, J R Schulz-Schaeffer (1993) Amaranth rediscovered. *In*: J. Janick and J.E. Simon (eds.), *New crops*. Wiley, New York. pp. 211-218.

Teutonico, R. A., and D. Knorr. 1985. Amaranth: composition, properties and applications of a rediscovered food crop. *Food Technology*. 39(4): 49-60.

IV. FERTILIZACIÓN Y DENSIDAD DE POBLACIÓN II. CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA DE LA SEMILLA DE AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus*) ALMACENADA

DENSITY OF POPULATION AND FERTILIZATION II. PHYSICAL AND PHYSIOLOGICAL QUALITY IN THE SEED OF AMARANTH (*A. hypochondriacus*) STORED

RESUMEN

La germinación comprende todos aquellos eventos que ayudan a determinar si la calidad de la semilla es buena y no sólo la germinación si no también el vigor que depende del desarrollo de la plántula hasta el establecimiento en campo, lo cual es también bueno mencionar que un buen almacén de la semilla va a depender del grado de humedad con la que sea almacenada, por lo anterior se planteo el siguiente objetivo: determinar la calidad física y fisiológica sobre la fertilización y densidad de población en semilla almacenada, El estudio de este trabajo se realizó en el laboratorio de Análisis de semillas del Colegio de posgraduados evaluando la calidad física, fisiológica y vigor. En este apartado la semilla de amaranto almacenada en condiciones tradicionales no se vio favorecida en cuanto a la calidad física por el efecto de la fertilización y densidad de población; sin embargo, en la calidad fisiológica si hubo tal efecto por lo que se mostraron resultados en germinación y vigor como indicativos de

que la semilla a pesar de estar almacenada por un tiempo se mantuvo con un ligero daño y para tal efecto se concluye que las variables evaluadas en germinación y vigor mostraron que la mejor variedad fue Gabriela en el almacén.

Palabras clave: *Amaranthus hypochondriacus* L., fertilización, densidad de población, calidad, almacén, Revancha y Gabriela.

4.1. INTRODUCCIÓN

Dependiendo de la especie y del momento oportuno para realizar la cosecha del amaranto, se puede evitar cantidades excesivas de semillas inmaduras, semillas mal formadas y semillas deterioradas, debido a que el proceso de cosecha puede durar días, semanas o meses (Bass, 1980). Así en el momento en que madura la semilla y es cosechada, se inicia un proceso de cambios degenerativos e irreversibles que ocasionan pérdidas que disminuyen la calidad de la semilla como el vigor (Roberts, 1981).

Narváez y Baskin (1991), al determinar la madurez fisiológica en semilla de amaranto, encontraron que *A. cruentus* L. alcanza su máximo peso seco y máxima germinación entre los 14 y 19 días después de la antesis, con un contenido de humedad del 41 al 43 %; *A. hypochondriacus* L. registró su máximo peso seco y su máxima germinación entre los 15 y 19 días después de

la antesis en el año de 1987 y 30 días después de la antesis en 1988 con un contenido de humedad del 40 %.

La germinación comprende todos aquellos eventos que inician con la absorción de agua por la semilla y terminan con el alargamiento del eje embrionario. Generalmente, la germinación se completa cuando la radícula traspasa las estructuras que rodean al embrión, haciéndose está visible (Bewley, 1997).

La ISTA (2004) la define como la emergencia y desarrollo de una plántula hasta una fase donde el aspecto de sus estructuras esenciales indica si puede o no desarrollarse más allá de una plántula normal bajo condiciones favorables de suelo. También se reporta como el proceso por el cual en condiciones apropiadas, el eje embrionario prosigue su desarrollo que había sido interrumpido durante la madurez fisiológica.

Aunque se sabe que la germinación termina cuando la plántula no depende ya de los tejidos nutritivos, para su existencia, en términos prácticos se dice que la semilla ha germinado cuando en siembras de laboratorio emite la radícula, o cuando emerge del suelo. No todas las semillas que emiten la radícula u otro órgano, a través de las cubiertas son capaces de producir una planta con posibilidades de llegar a ser adulta; por ello, en el laboratorio no se consideran como semillas germinadas aquellas que originan plántulas anormales, es decir, que presentan defectos que les impedirán su desarrollo posterior.

En términos generales el vigor es la suma total de aquellas propiedades de la semilla que determinan el nivel de actividad y comportamiento de la semilla o lotes de semillas durante su germinación y emergencia de la plántula; esté ha

sido por mucho tiempo un tema de interés entre los productores y usuarios de las semillas agrícolas, ya que la calidad de las semillas está determinada principalmente por la germinación y el establecimiento de las plántulas, lo cual depende en gran medida del vigor de la semilla. De ahí el interés por evaluar el vigor mediante pruebas cuyos resultados estén altamente correlacionados con el comportamiento de las semillas en el campo (Moreno, 1984).

Delouche (1969) diseñó la prueba de vigor de envejecimiento artificial para medir el grado de deterioro, de modo que permite estratificar lotes de semillas por su capacidad de almacenamiento; así mismo, para predecir el comportamiento de un lote de semillas bajo condiciones adversas al cultivo tales como bajas temperaturas y alta humedad, la prueba de frío se ha usado por varias décadas (Moreno, 1984).

La semilla de amaranto tiene una gran capacidad para germinar más sin embargo existen casos, principalmente con los productores, donde se han encontrado la baja capacidad de germinar y por ende se utiliza mucha semilla para la siembra, por lo anterior y tener una buena calidad de semilla de amaranto se planteo el siguiente objetivo: 1) Evaluar el efecto del almacén de la semilla en condiciones tradicionales a partir de seis dosis de fertilización; así como de tres densidades de población sobre la calidad física y fisiológica de la semilla en dos variedades de amaranto.

La hipótesis planteada corrobora que el almacén utilizado es un principal lote de evaluación donde se observó la calidad física y fisiológica de la semilla de amaranto dañada.

4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Laboratorio de Análisis de Semillas del Colegio de Postgraduados, donde se utilizó la semilla del ciclo P-V 2006 de las variedades Revancha y Gabriela, la primera fue proporcionada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) y la segunda por el Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala (ITAT). En total se utilizaron 36 tratamientos producto de la combinación de las dos variedades, tres dosis de nitrógeno (0, 60, 80 kg ha⁻¹), tres densidades de población (100, 150 y 200 mil plantas ha⁻¹) y 2 de fósforo (30 y 60 kg ha⁻¹) y tres repeticiones para todas las variables.

Se utilizó una muestra de 200 g que fue almacenada durante 6 meses en una bodega tradicional utilizada por los agricultores del estado de Tlaxcala que seleccionan su propia semilla para un siguiente ciclo de siembra. El tipo de almacén se mantuvo en promedio con temperatura que osciló entre 12 y 24 °C y una humedad relativa de 50 y 60 %.

3.2.1. Calidad Física

Contenido de Humedad (CH): Se realizó por el método de la estufa a 130°C por un lapso de 2 h, en 2 g de semilla; los resultados se expresan en porcentaje en base de peso húmedo.

Peso Seco (PS): Se consideró el peso seco directo de la muestra de semilla después de ser introducida en la estufa para determinar el contenido de humedad.

Peso Volumétrico (PV): Se evaluó dejando caer la semilla en un recipiente de 36 ml a una distancia de 10 cm en la parte central del recipiente para posteriormente rasar con una regla de madera y enseguida medir su peso en una báscula analítica OHAUS de 0.001 g de precisión, los resultados se expresan en kg hL^{-1} .

3.2.2. Calidad Fisiológica

Germinación: Se midió en repeticiones de 25 semillas mediante la técnica sobre papel en cajas Petri a 27°C durante 6 días. Se realizó un primer conteo a los 2 días y un segundo a los cinco días después de la siembra. Se consideraron las variables: **Plántulas Normales (PN)**, que fue la suma de las plántulas con las características de normales del primero y segundo conteo; **Plántulas Anormales (PA)**, aquellas con características de anormales en el segundo conteo; y **Semillas no Germinadas (SNG)**, que consideró el número de semillas muertas y latentes del primero y segundo conteo, los resultados se reportan en porcentaje.

Primer Conteo (PC): Se consideró como indicador de vigor, analizando los valores de plántulas normales del primer conteo de la prueba estándar de germinación, al segundo día midiendo la protusión radicular después de la siembra, los resultados se reportan en porcentaje.

Conductividad Eléctrica (CE): se usó como referencia la metodología propuesta por Moreno (1984). Se pesaron 100 semillas y se colocaron en un vaso de vidrio con 50 ml de agua desionizada, que fue colocado en condiciones

de 23 a 25°C por 8 h, para tomar la conductividad eléctrica con un medidor Modelo OAKTON “Conductivity Meter”. Los resultados se expresan en $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$.

Envejecimiento Acelerado (AC): se pesaron 10 g de semilla y se colocaron sobre una malla de alambre con tela, está se ubicó dentro de cajas de plástico tipo sandwichera con agua, a una altura de 5 cm para evitar contacto con el agua. Las cajas se sellaron y se metieron en una estufa con temperatura de 41 ± 0.3 °C por 72 h, después se realizó la prueba de germinación estándar con 25 semillas, donde se contabilizó en número de plántulas normales, anormales y semillas no germinadas. Adicionalmente se midió el contenido de humedad antes y después del tratamiento de envejecimiento.

3.2.3. Análisis Estadístico

Las variables expresadas en porcentaje se transformaron con la función Arcoseno y se analizaron con un diseño completamente al azar por dosis de fertilización y densidades de población con el programa SAS-GLM (SAS, 2002), los promedios se compararon por la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad.

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1. Calidad física de semilla almacenada.

En los cuadrados medios (Cuadro 1) no se encontró ningún efecto entre dosis de fertilización, variedad y densidad para todas las variables de calidad física.

Cuadro1. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables de calidad física de semilla almacenada. Montecillo, México 2006.

FV	GL	CH	PS	PV
Rep	2	30.72	0.020	4.00
F	5	0.52	0.006	6.69
V	1	2.37	0.009	7.06
D	2	0.18	0.004	5.23
FxV	5	1.42	0.009	7.34
FxD	10	0.38	0.005	6.84
VxD	2	0.89	0.008	11.85
COFVD	35	0.70	0.006	6.68
Error	80	0.90	0.006	6.59
CV		11.94	4.38	9.02

Rep=repetición, F=fertilización, V=variedad, D=densidad, x=interacción, COFVD=combinación de factores y CV=coeficiente variación, CH=contenido de humedad, PS=peso de la semilla y PV=peso volumétrico.

Lo anterior indica que todos los tratamientos se comportaron de la misma forma en campo y por consiguiente durante el almacenamiento por lo que se puede señalar que la semilla es de buena calidad indicando que tal vez el contenido de humedad fue promisorio para el almacenamiento de la semilla.

4.3.1.1. Efecto de dosis de fertilización en semilla almacenada. Se observa (Cuadro 2) que no hubo diferencias significativas para las tres variables de calidad física, lo que indica que las dosis de fertilización tuvieron efectos similares en todas las variables.

Cuadro 2. Comparación de medias para variables de calidad física de semilla almacenada por el factor de dosis de fertilización en amaranto. Montecillo, México 2006.

Variable	Dosis de fertilización					
	1	2	3	4	5	6
CH (%)	7.69 a [†]	8.11 a	7.83 a	8.00 a	8.13 a	8.00 a
PS (g)	1.84 a	1.79 a	1.84 a	1.84 a	1.84 a	1.84 a
PV (kg hL ⁻¹)	80.34 a	79.86 a	79.60 a	79.40 a	79.29 a	75.65 a

[†]: Medias con las mismas letras en la misma hilera son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey al 0.05 de probabilidad.

Un factor importante de la calidad de semilla es el contenido de humedad que tiene al momento de almacenarla; al respecto Bewley y Black (1986) reportan que cuando el contenido de humedad es alto (> 30 %), las semillas sin dormancia pueden germinar y con el 18-30 % de contenido de humedad, puede ocurrir un rápido deterioro por microorganismos. Las semillas almacenadas a contenidos mayores del 18-20 % pueden respirar más rápido, y una ventilación pobre puede matarlas por un incremento de temperatura. Con contenidos de humedad de 8-9 %, existe muy poca o nula actividad de los insectos, y con 4-5 % de humedad son inmunes al ataque por insectos y hongos de almacenamiento, pero estas pueden deteriorarse más rápidamente que aquellas mantenidas a un contenido de humedad ligeramente más alto.

La cosecha debe almacenarse de tal forma que no se deteriore su calidad, no se reduzca involuntariamente su cantidad y se pueda disponer de ella en el momento y cantidad necesarios (FAO, 1985).

4.3.1.2. Efecto de variedades. Las variedades Revancha y Gabriela (Cuadro 3) se comportaron de forma similar en las variables contenido de humedad, peso seco de la semilla y peso volumétrico; sin embargo es importante señalar que para lograr lo antes mencionado es importante considerar un buen control en la humedad del grano, la humedad relativa y la temperatura del ambiente (Serna, 1996) ya que estos factores son determinantes para la conservación de granos y semillas.

Cuadro 3. Comparación de medias entre variedades para variables de calidad física de semilla almacenada. Montecillo, México 2006.

Variable	Variedad	
	1	2
CH (%)	8.11 a [†]	7.81 a
PS (g)	1.82 a	1.84 a
PV (kg hL ⁻¹)	79.73 a	78.31 a

[†]: Medias con las mismas letras en la misma hilera son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey al 0.05 de probabilidad.

En la mayoría de los lugares donde se siembra el amaranto generalmente se hace la conservación de la semilla en almacenes rústicos donde no se lleva un control de humedad y temperatura apropiadas, al grado de que puede verse afectada la calidad de semilla; sin embargo, el lugar que se utilizó para almacenar la semilla utilizada en estas evaluaciones es apto para la conservación de la misma, aunque no por mucho tiempo, pues hay otros aspectos a cuidar, como la condición del grano, pues el daño físico la hace más

propensa a hongos e insectos, y al tiempo de almacenamiento, ya que a mayor duración hay menor probabilidad de conservación (Moreno, 1994).

4.3.1.3. Efecto de densidades de población. En el Cuadro 4 se muestra que no hubo ningún efecto de la densidad de población (100, 150 y 200 mil plantas ha⁻¹) en la calidad física; sin embargo, se puede señalar que el peso volumétrico presenta un incremento al utilizar la densidad de 100 mil plantas ha⁻¹ en contraste con la de 200 mil plantas ha⁻¹.

Cuadro 4. Comparación de medias entre densidades de población para variables de calidad física de semilla almacenada. Montecillo, México 2006.

Variable	Densidad		
	1	2	3
CH (%)	8.0 a [†]	7.8 a	7.9 a
PS (g)	1.83 a	1.82 a	1.83 a
PV (kg hL ⁻¹)	79.73 a	79.54 a	77.81 a

[†]: Medias con las mismas letras en la misma hilera son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey al 0.05 de probabilidad.

Lo anterior indica que hay una tendencia en el sentido de que a menor densidad de población mayor será el peso de la semilla; es decir que hay una mayor acumulación de reservas al no haber competencia entre plantas, como es el caso de lo que reportan Ramírez y Tabales (2002), indicando un promedio

de PV y CH de 77.38 kg hL^{-1} y 8.84 % trabajando con materiales de tipo de crecimiento indeterminado.

Por otra parte al trabajar en dos localidades con maíz, Manuel *et al.*, (2007) señalan que aún cuando la humedad relativa se registró alta y la temperatura fluctuó de manera importante, los tres métodos que utilizó de almacenamiento (MAZA, TENATE y SILO) mantuvieron la humedad de la semilla por debajo del valor recomendado para almacenar grano o semilla de maíz (13.5 %), según Besnier (1989) y Oti-Boateng y Battcock (1998).

4.3.2. Calidad fisiológica de semilla almacenada.

Sólo se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre variedades (Cuadro 5) para plántulas normales, anormales y semillas no germinadas, lo que significa que las variedades fueron diferentes con respecto al porcentaje de germinación. En las fuentes de variación de fertilización y densidad de población no hubo ningún efecto lo cual indica que estos tratamientos se comportaron de la misma forma en su efecto sobre la germinación.

Ramírez (2005) reporta que la relación de plántulas normales y semillas no germinadas al evaluar 9 estratos de la inflorescencia es proporcional con respecto a la posición de cada estrato, es decir que en la parte apical presentó mayor porcentaje de germinación.

Cuadro5. Cuadrados medios y significancia estadística para variables de germinación y vigor de semilla almacenada en amaranto. Montecillo, México 2006.

FV	GL	PN	PA	SNG
Rep	2	334.37	89.92	77.77
F	5	249.12	108.59	47.91
V	1	4281.48 **	746.81 **	1452.00 **
D	2	233.92	152.14	9.33
FxV	5	81.30	73.03	18.75
FxD	10	145.39	89.03	17.51
VxD	2	136.14	158.37	5.77
COFVD	35	270.61 *	115.24	66.85
Error	80	120.97	68.45	34.15
CV		13.99	53.31	99.24

Rep=repetición, F=fertilización, V=variedad, D=densidad, x=interacción, COFVD=combinación de factores y CV=coeficiente variación, PN=plántulas normales, PA=plántulas anormales y SNG=semillas no germinadas, *, **=significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad.

En las variables utilizadas para evaluar vigor del Cuadro 6 como primer conteo, conductividad eléctrica y envejecimiento acelerado se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre variedades.

Cuadro 6. Cuadrados medios y significancia estadística para variables de germinación y vigor de semilla almacenada. Montecillo, México 2006.

FV	GL	PC	CE	EA		
				PN	PA	SNG
Rep	2	1635.11	7.00	7488.59	3803.70	704.14
F	5	252.00	8.88	229.48	125.75	89.03
V	1	17226.81 **	28.69 *	7500.00 **	1792.59 **	1959.26 **
D	2	409.33	4.74	165.48	187.70	9.03
FxV	5	85.12	1.38	159.55	81.65	121.03
FxD	10	122.40	1.26	189.12	157.83	48.50
VxD	2	71.26	6.20	352.44	72.14	113.92
COFVD	35	655.96	3.95	423.36	184.26	124.69
Error	80	286.78	3.35	322.01	146.06	105.53
CV		24.23	22.25	27.38	48.41	107.92

Rep=repetición, F=fertilización, V=variedad, D=densidad, x=interacción, COFVD=combinación de factores y CV=coeficiente variación, PC=primer conteo, CE=conductividad eléctrica, EA=envejecimiento acelerado, *, **=significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad.

4.3.2.1. Efecto de dosis de fertilización. El Cuadro 7 muestra que no hubo diferencias estadísticas entre dosis de fertilización para todas las variables evaluadas en germinación, primer conteo y conductividad eléctrica.

Cuadro 7. Comparación de medias entre dosis de fertilización para germinación y vigor de semilla almacenada. Montecillo, México 2006.

Variable	Dosis de fertilización					
	1	2	3	4	5	6
PN (%)	81 a [†]	78 a	71 a	80 a	81 a	77 a
PA (%)	13 a	14 a	20 a	14 a	14 a	16 a
SNG (%)	5 a	7 a	8 a	5 a	3 a	6 a
PC (%)	70 a	68 a	63 a	73 a	74 a	70 a
CE ($\mu\text{s cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)	8 a	7 a	7 a	9 a	9 a	8 a

[†]: Medias con las mismas letras en la misma hilera son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey al 0.05 de probabilidad.

La calidad de semilla, medida mediante la evaluación de vigor en las variables de primer conteo y conductividad eléctrica pueden resultar efectivas para valorar semillas almacenadas por tiempos prologados en lugares desfavorables, tal como se hizo en el presente estudio representativo de lo que lo hacen tradicionalmente los agricultores. Basándose en los resultados obtenidos (Cuadro 7), cabe destacar que en germinación se presentó daño al tener una baja germinación en la dosis 3 en contraste con las dosis 1 y 5 con los valores más “altos” considerando la aceptación de lotes de semilla de buena calidad.

4.3.2.2. Efecto de variedades y densidades de población. En la comparación de medias (Cuadro 8) entre variedades hubo diferencias estadísticas en todas las variables evaluadas de germinación y vigor, en contraste con el factor de densidad de población. Un resultado sobresaliente el cual es necesario mencionar, es el efecto que tiene el almacenamiento con

respecto al porcentaje de germinación y la prueba de vigor, primer conteo, ya que se muestran datos similares, indicativo de que si mantienen en condiciones favorables a la semilla, esto es que no presenta algún daño en el almacén.

Lo anterior indica que la variedad Gabriela es la mejor, toda vez que se conservó bien en el almacén, al reportar el menor porcentaje en plántulas anormales y semillas no germinadas; así como en conductividad eléctrica, como ya se había dicho en el capítulo III de esta investigación, que estima la germinación y el vigor de las semillas sobre la base de liberación de electrolitos al medio (Arango y Craviotto, 2001).

Cuadro 8. Comparación de medias considerando los factores Variedad y Densidad de Población para variables de germinación y vigor de semilla almacenada. Montecillo, México 2006.

Variable	Variedad		Densidad		
	1	2	1	2	3
PN (%)	72 b [†]	85 a	79 a	80 a	75 a
PA (%)	18 a	13 b	14 a	16 a	17 a
SNG (%)	9 a	2 b	6 a	5 a	6 a
PC (%)	57 b	82 a	72 a	71 a	66 a
CE ($\mu\text{s cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)	9 a	7 b	8 a	8 a	9 a

[†]: Medias con las mismas letras en la misma hilera son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey al 0.05 de probabilidad.

A pesar de que no se encontraron diferencias estadísticas en el factor densidad de población se aprecia que las densidades 100 y 150 mil plantas ha^{-1} son las que muestran mejor comportamiento en la conservación de la semilla. Es posible que en ambas no hubo competencia entre plantas en el momento de la

maduración de la semilla, es decir que el tiempo en el que fue establecido el estudio en campo favoreció la calidad de la semilla. También es importante resaltar que la utilización de más densidad de plantas va a dar como resultado una completa competencia entre ellas y por consiguiente va a reducir significativamente la calidad de la semilla.

En conductividad eléctrica hubo marcadas diferencias, mencionando que mantiene su vigor la semilla en esta prueba, según Moreno (1984) indica que entre mayor sea el resultado en $\mu s cm^{-1} g^{-1}$ menor será el vigor de la semilla. Además el efecto del almacén se mostro con menor daño (Cuadro 8) pero las condiciones de la humedad relativa, la temperatura ambiental y la humedad de la semilla, principalmente, permitieron obtener estos resultados de los cuales todavía hace falta más por estudiar quizá con un mayor estrés porque tal vez no haga falta mantener la semilla de amaranto en condiciones como las que se utilizaron Besnier (1989), Oti-Boateng y Battcock (1998) con maíz.

También se muestran diferencias estadísticas en el Cuadro 9 entre variedades en las variables de envejecimiento acelerado mostrando el potencial que tiene el almacén en el que fue sometida la semilla; sin embargo, esta presentó una buena capacidad en germinar en condiciones de estrés lo cual indica que la semilla de amaranto presenta un buen vigor, lo cual es comparable con lo indica Moreno (1984) señalando que la germinación y el establecimiento de las plantas en campo depende en gran medida del vigor de la semilla.

Cuadro 9. Comparación de medias en los factores dosis de fertilización, variedad y densidad de población para variables evaluadas en la prueba de envejecimiento acelerado de semilla almacenada. Montecillo, México 2006.

Factor	Dosis de fertilización						Variedad		Densidad		
	1	2	3	4	5	6	1	2	1	2	3
PN (%)	65 a	66 a	70 a	59 a	67 a	66 a	57 b	74 a	66 a	67 a	63 a
PA (%)	27 a	22 a	22 a	28 a	26 a	24 a	29 a	21 b	24 a	22 a	27 a
SNG (%)	8 a	12 a	8 a	12 a	7 a	10 a	14 a	5 b	9 a	10 a	9 a

†: Medias con las mismas letras en la misma hilera son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey al 0.05 de probabilidad.

Si bien todas estas pruebas PC, CE y EA y otras que hay en la investigación pueden ser recomendadas para el cultivo del amaranto, cuando se trata de evaluar la calidad de semillas almacenadas en distintos tipos de almacén o por lote de semilla, se debe tener en cuenta que no puede afirmarse que alguna sea la más adecuada pues hacen falta muchos estudios, por tanto se sabe que no hay demasiada información para calidad de semilla en el cultivo de amaranto.

4.4. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos e hipótesis planteados y a los resultados obtenidos se concluye que en las variables evaluadas de calidad física no se encontraron diferencias en contraste a las variables evaluadas en porcentaje de

germinación y vigor donde se determina que la mejor variedad fue Gabriela en el almacén y la variedad Revancha presento un menor daño.

4.5. LITERATURA CITADA

Arango M R y R M Craviotto (2001) Calidad de semillas de soja. Poderosas

herramientas han surgido para evaluar la calidad de las semillas de soja, atributo determinante del éxito económico de la empresa agropecuaria.

INTA Oliveros, Santa Fe. pp: 24-28.

Bass L N (1980) Seed viability during long - term storage. Horticultural Reviews

2: 117-141.

Besnier R F (1989) Semillas, Biología y Tecnología. Ed. Mundi-Prensa. Madrid,

España. 637 p.

Bewley J. D, M Black (1986) Seeds. Physiology of Development and

Germination. 2nd. Ed. Plenum Press. New York. United States of America. 367 p.

Bewley J D (1997) Seed germination and dormancy. Plant Cell 9(7):1055-1066.

Delouche J C (1969) Programas de semilla genética y básica. Universidad de

Mississippi. USA.

FAO (1985) Prevención de Pérdidas de Alimentos. Manual de Capacitación No.

10. Roma, Italia. 128 p.

ISTA (2004) International Rules for Seed Testing. The International Seed Testing Association. Glattbrugg, Switzerland. pp: 15-1 – 15A-8.

Manuel R I, A G Muñoz, B V Ramírez, J H S Hernández, M Bellon (2007)
Calidad física y fisiológica de la semilla de maíz criollo almacenado en silo metálico y con métodos tradicionales en Oaxaca, México. Rev. Fit. Mex. 30(1):69-78.

Moreno M E (1984) Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 383 p.

Moreno M E (1994) Almacenamiento y Conservación de Granos Básicos: el maíz. *In: El Agua y la Energía en la Cadena Alimentaria: Granos Básicos.* M Bauer, I Chong, E Moreno, J Quintanilla, F Torres (comps). UNAM. México, D. F. pp: 273-289.

Narváez M, J M F, C Baskin (1991) Maduración, deterioro y almacenamiento de dos especies de amaranto, (*Amaranthus hypochondriacus* L. y *A. cruentus* L.). *In: Memorias Primer Congreso Internacional del Amaranto.* 22-27 Septiembre. Oaxtepec, Morelos, México. 56 p.

Oti-Boateng P, M Battcock (1998) Libro de Consulta sobre Tecnologías Aplicadas al Ciclo Alimentario: Técnicas de Almacenado. C Ruiz de S (trad). Intermedaite Technology Development Group. Perú. Lima, Perú. 50 p.

Ramírez V M L, M A Tabales L (2002) Descripción varietal de líneas de amaranto *Amaranthus hypochondriacus* L. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 29. Xocoyucan, Tlax. 121 p.

Ramírez V M L (2005) Efecto del crecimiento determinado e indeterminado en la calidad de la semilla en amaranto *Amaranthus hypochondriacus* L. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. 90 p.

Roberts E H (1981) Physiology of ageing and its applications to drying and storage. *Seed Sci. and Tech.* 9: 359-372.

SAS Institute Inc. (2002) The SAS System. Release 9.0. Cary. N. C. USA.

Serna S S R O (1996) Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales. AGT Editor, S. A. México, D. F. 521 p.

**V. VOLUMEN DE EXPANSIÓN, CONTENIDO DE PROTEINA Y ACEITE EN
VARIEDADES DE AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus*)
RELACIONADOS CON LA FERTILIZACIÓN**

**EXPANSION OF VOLUME OF PROTEIN AND OIL CONTENT IN VARIETIES
OF AMARANTH (*Amaranthus hypochondriacus*) RELATED TO
FERTILIZATION**

RESUMEN

En la actualidad la agricultura y agroindustria moderna requieren de plantas que se adecuen a características de no sólo cosecha mecanizada sino al grano de buena calidad de tal manera que en el mercado no tenga ningún problema en su consumo y hasta en el manejo agronómico el amaranto debe resultar ser un cultivo muy recomendable, por su composición química que lo colocan como un alimento de suma importancia, ya que con la actual tecnología disponible generada por las instituciones de investigación así como las variedades obtenidas, mecanización de la cosecha y el escaso desarrollo en la industria de este cultivo, en la presente investigación se planteo determinar el peso y volumen de expansión así como evaluar el contenido de proteína y aceite en el grano de amaranto a partir de fertilización en tres variedades de amaranto. El estudio se llevo a cabo en el Laboratorio de calidad de Tortilla de Maíz del INIFAP donde se evaluó el volumen de expansión, volumen del grano no

expandido, el peso del volumen y peso del grano no reventado, también se determinó el contenido de proteína y aceite. Los resultados mostraron un efecto significativo entre la fertilización sobre el volumen de expansión, el contenido de proteína y aceite lo cual indico que la mejor dosis de una mínima aplicación es la se utilizó en este estudio por lo que se concluyó que la fertilización fue un factor determinante en el volumen de expansión, contenido de proteína y aceite mostrando incrementos de 7.5 – 9.6 veces, 14.3 – 17 % y 6.8 – 8.5 %, respectivamente.

Palabras clave: *Amaranthus hypochondriacus* L., fertilización, volumen de expansión, proteína, aceite, Revancha, Gabriela y DGETA.

5.1. INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna requiere de variedades de plantas que se adecúen a las características no sólo de la mecanización para cosecha sino también de la agroindustria y transformación del grano. Una de las principales características del amaranto para consumo humano, es el proceso de reventado (pseudocereal); por ello es necesario observar y determinar la calidad del grano a partir del manejo de producción en campo y tratar de controlar o eliminar los factores que afectan tal proceso tales como, la madurez de la semilla, pureza de la variedad, tamaño de la semilla, entre otras.

Luego de la siega y trilla, se recomiendan, ciertas prácticas de manejo poscosecha para evitar pérdidas innecesarias del producto cosechado o el

deterioro prematuro de la calidad del grano. Es aconsejable secar el grano, para bajar la humedad al 14 % o menos y así evitar la fermentación, la formación de mohos, el ataque de insectos y la pudrición del mismo. El secado se debe hacer directamente al sol o con secadoras artificiales. Luego del secado y si la comercialización no se va a realizar inmediatamente, es conveniente almacenar con ciertas seguridades para evitar el ataque de insectos, roedores o la rehidratación del grano por la humedad ambiental.

En la clasificación del grano se puede usar un tamiz de 2 mm de diámetro para separar impurezas grandes y un tamiz de 1,1 mm de diámetro para separar el grano de primera calidad, de los granos más finos y polvo que quedarían como subproductos de segunda calidad (Pág. Web 1). Esta labor por lo general se debe realizar en los centros de acopio o procesamiento; sin embargo si el productor logra clasificar el grano, no sólo podría obtener un mejor precio por el grano de primera calidad sino que podría tener más éxito en el almacenamiento ya que las impurezas y el polvo favorecen el deterioro de los granos.

De las pruebas de clasificación de granos, la variedad "INIAP-Alegría" ha dado en promedio un porcentaje de extracción de primera de alrededor del 87 %, con un 10 % de granos de segunda y un 3 % de impurezas. Estos porcentajes pueden variar dependiendo del método de trilla y nivel de contaminación del amaranto con otros cultivos o malezas como el quelite (*A. hybridus*) (Monteros *et al.*, 1994).

El grano de amaranto se puede emplear como cereal en el desayuno o como ingrediente en otros productos de repostería. También se puede tostar o cocinarse como atole o moler obteniéndose una harina dulce y de suave color

apta para bizcochos, pastelillos y otros alimentos horneados. El grano de amaranto contiene poco gluten funcional, por lo que se recomienda mezclar con harina de trigo para que esponje con la levadura. Cuando se calientan los diminutos granos de alegría revientan y saben como a palomitas, (maíz palomero) pero con cierto sabor a nuez. Esos granos reventados son livianos u crocantes y se comen como merienda, cereal frío, leche y miel, empanadas para carnes o verduras o bien se aglutinan con miel y entonces sirven de dulce (Consejo Nacional de Investigación, 1987).

Más de tres mil especies vegetales pueden emplearse en la alimentación humana y no obstante, muy pocas se cultivan con ese propósito ya que las características organolépticas suelen limitar su consumo. No así el amaranto, cuyo sabor es agradable y le permite competir con otras plantas incluyendo las actualmente en uso, pues además de esta importante característica, el amaranto no depende estrictamente de la disponibilidad de sistemas de riego, ni de fertilización abundante o uso masivo de insecticidas y fungicidas. En otros términos, su cultivo concuerda exactamente con las condiciones que prevalecen en el mundo subdesarrollado. Esto lo distingue particularmente de otros cultivos con uso intensivo de capital y con exigencias tecnológicas más estrictas (Sánchez-Marroquín, 1980).

En suma si desde el punto de vista exclusivamente agronómico el amaranto resulta ser un cultivo muy recomendable, la composición química de sus partes constitutivas lo colocan como un alimento de alto rango por el mismo volumen de expansión (Sánchez-Marroquín, 1980).

El contenido de proteína de los granos fluctúa entre el 12 y 19 % y destaca por la alta concentración de algunos aminoácidos esenciales, como lisina, metionina y triptofano, presentando un perfil de aminoácidos bien balanceado, de mejor calidad que los cereales (Calderon *et al.*, 1991, Bressani *et al.*, 1993, Stallknecht y Schulz, 1993, Bressani y Estrada, 1994, Mujica y Berti, 1997 y Radosavljevic *et al.*, 1998).

Según Berganza *et al.* (2003) y Rodas y Bressani (2009) el aceite de amaranto es considerado como una fuente rica en escualeno que se aproxima a los contenidos informados para el aceite de tiburón (Heller *et al.*, 1957).

Aunque los valores en el amaranto son muy variables, esta variabilidad depende de los genotipos estudiados y de la cantidad de insaponificables aislados del aceite, pues la molécula del escualeno presenta alta estabilidad (Berganza *et al.*, 2003 y He *et al.*, 2002). Lyon y Becker (1987) informan valores de 7.4% en el aceite de amaranto de especie *Amaranthus Cruentus*, mientras que Ayorinde *et al.*, (1989) informan valores de 3.01 % \pm 0.81 % de escualeno en el aceite de 13 variedades, con una variación de 1.88 % a 4.66 % del aceite.

Con el grano de amaranto se elaboran diversos productos, pero se conoce principalmente por el dulce tradicional denominado "alegría". El grano de amaranto contiene compuestos nutritivos, entre ellos se encuentran los lípidos, como el escualeno, ácidos grasos y tocoferoles. El primero tiene una concentración de 9.26-10.34 %, en los segundos predominan los ácidos grasos

del tipo 18:1 (22.70 %), 18:2 (40.83 %) y 18:3 (7.7 %), y los terceros se encuentran en un 60.45 por g de semilla (Marcone, 2000).

Con la actual tecnología disponible generada por las instituciones de investigación así como las variedades obtenidas, mecanización de la cosecha y el escaso desarrollo en la industria de este cultivo, en la presente investigación se planteo el siguiente objetivo: determinar el peso y volumen de expansión así como evaluar el contenido de proteína y aceite en el grano de amaranto a partir de diferentes tratamientos de la fertilización en tres variedades de amaranto.

Hipótesis: La aplicación de las diferentes dosis de fertilización hace factible el incremento en el volumen de expansión así como en el contenido de proteína y aceite en el grano de amaranto.

5.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Laboratorio de Análisis de Calidad de Tortilla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) y se utilizó el grano del ciclo P-V 2006 de las variedades Revancha Gabriela y DGETA, la primera fue proporcionada por el INIFAP y las siguientes por el Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala (ITAT) con 18 tratamientos, producto de la combinación de las tres variedades, tres dosis de nitrógeno (0, 60, 80 kg ha⁻¹) y 2 de fósforo (30 y 60 kg ha⁻¹), y tres repeticiones.

5.2.1 Volumen de expansión del grano (VEG)

Se determinó a partir de 20 g (volumen de \pm 25 ml) de grano y con un porcentaje de humedad del 14 % en todos los tratamientos para posteriormente realizar el reventado, se evaluó con base al VEG y el volumen del grano no expandido (VGNE), así como también el peso del volumen de expansión del grano (PVEG) y el peso del grano no expandido (PGNE). Los resultados se analizaron mediante un diseño completamente al azar con 18 tratamientos y tres repeticiones utilizando el Programa SAS-GLM (SAS, 2002) por dosis de fertilización y variedades. Las medias se compararon por la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad.

5.2.2. Contenido de proteína (CP)

Se realizó a partir de 10 g de grano molido mediante la determinación del porcentaje de nitrógeno con el método de micro-kjeldahl, y que se multiplicó por el factor constante de 6.25.

5.2.3. Contenido de aceite (CA).

La extracción se realizó en una muestra de 10 ± 0.001 g de harina de amaranto crudo procesado, el cual se colocó en una unidad extractora tipo Soxhlet por un espacio de 8 horas según lo recomendado por el método oficial de la AOAC (1984). Se utilizó como disolvente éter de petróleo.

5.2.4. Análisis estadístico.

El análisis estadístico se realizó mediante un ANOVA con tres repeticiones utilizando el procedimiento Programa SAS-GLM (SAS, 2002), por dosis de fertilización y variedades, en tanto que para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($p=0.05$).

5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.3.1. Calidad industrial del grano.

En el Cuadro 1 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza donde sólo se observan diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre los tratamientos de fertilización, para el volumen de expansión del grano, contenido de proteína y aceite; en contraste con el factor de variedad donde no se encontró ningún efecto ($p > 0.05$) en estas variables.

Por otra parte, en VGNE; PVEG y PGNE no hubo ningún efecto estadístico ($p > 0.05$) entre fertilización y variedad así como entre la interacción, lo cual indica que todos los tratamientos de esas variables se comportaron de igual forma.

Cuadro1. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables de calidad industrial del grano de amaranto. Montecillo, México 2006.

FV	GL	VEG	VGNE	PVEG	PGNE	Proteína	Aceite
Rep	2	186.78	7.28	7.90	13.10	5.26	0.24
F	5	4150.25 **	8.80	5.91	14.81	12.48 **	1.70 **
V	2	74.26	5.40	4.65	10.14	2.07	0.04
FxV	10	203.61	6.49	6.03	11.45	0.46	0.57
COFV	17	1371.46	7.10	5.84	12.31	3.85	0.79
Error	33	320.62	6.54	7.30	12.31	1.11	0.22
CV (%)		8.57	205.55	14.68	365.71	6.74	6.15

Rep=repetición, F=fertilización, V=variedad, x=interacción, COFVD=combinación de factores y CV=coeficiente variación, VEG=volumen de expansión del grano, VGNE=volumen del grano no expandido, PVEG=peso del volumen de expansión del grano, PGNE=peso del grano no expandido, **=significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad.

Lo anterior indica (Cuadro 1) que al menos un tratamiento de las seis dosis utilizadas es diferente en cada variable, ya que las diferencias marcadas se deben al establecimiento en campo y a la aplicación de las dosis de fertilización en sus dos tiempos (Capítulo II, Cuadro 1).

5.3.1.1. Dosis de fertilización. En el Cuadro 2, donde se muestra la comparación medias, se observa que hubo diferencias estadísticas en el volumen de expansión del grano, contenido de proteína y aceite; resultados similares a los que reportan Pospisil *et al.* (2006) y Walters *et al.* (1988) con un ligero incremento en el contenido de proteína en hojas verdes al evaluar

fertilización nitrogenada; en contraste los mismos autores también indican que en el grano la fertilización no tuvo ningún efecto más que en floración al obtener la materia seca de la misma.

Cuadro 2. Comparación de medias para variables de la calidad industrial del grano por efecto del factor dosis de fertilización. Montecillo, México 2006.

Variable	Dosis de fertilización					
	1	2	3	4	5	6
VEG (ml)	209 b [†]	193 c	194 c	187 c	233 a	238 a
VGNE (ml)	0.8 a	1 a	0.8 a	0.9 a	3 a	0.7 a
PVEG (g)	18.5 a	18.5 a	18.5 a	18.0 a	17.0 a	19.5 a
PGNE (g)	0.4 a	0.5 a	0.5	0.4 a	3.6 a	0.4 a
P (%)	14.5 c	14.3c	15.9 b	16.4 b	17 a	17 a
A (%)	8.5 a	6.8 c	6.9 c	7.1 b	8.5 a	8.5 a

[†]: Medias con las mismas letras en la misma hilera son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey al 0.05 de probabilidad.

También se muestra que la aplicación de nitrógeno aumenta significativamente el contenido de proteína, es decir que al aplicar la dosis 80-60-40 y 80-30-40 kg ha⁻¹ presenta un 17 % a diferencia de aplicar las dosis 00-60-40 y 00-30-40 kg ha⁻¹. Lo anterior es comparable con lo que reportan Zepeda *et al.* (2009) al utilizar fertilización nitrogenada, donde hay un incremento del 4 % en la proteína.

Con respecto al contenido de aceite la fertilización también produjo efectos significativos, de tal forma que no sólo se encontraron diferencias estadísticas en las dosis 5 y 6 sino también en la 1 (00-60-40).

El alto volumen de reventado (Cuadro 2) del amaranto se atribuye al reducido tamaño de los granos de almidón (de una a tres micras), a su forma esférica, angular o poligonal, su bajo contenido de amilosa (7.2 %), bajo poder de hinchazón, alta solubilidad, gran capacidad de retención de agua y un alto rango de temperatura de gelatinización; en este estudio se presenta una forma similar a lo señalado por Lorenz *et al.* (1981), con un incremento de 7.5 a 9.6 veces del volumen inicial (25 ml), considerando que la humedad para todos los tratamientos se estandarizó al 14 %.

5.3.1.2. Variedad. La comparación de medias que muestra el Cuadro 3 indica que no hubo diferencias estadísticas entre variedades señalando que éstas se comportaron de la misma forma para todas las variables. Por su parte Jaik y Tena (1984) reportan incrementos en el volumen de la semilla reventada de 390 hasta 1 050 % con pérdidas variables de peso y nutriente; por otra parte, se ha comprobado que cuando el reventado se efectúa con aire caliente, la calidad proteínica del producto se incrementa sin saber las razones de este mejoramiento.

Los datos obtenidos demuestran que el reventado del grano de amaranto no sólo está influenciado genéticamente y por el contenido de humedad del grano sino también por la humedad que hay en el medio (Konishi *et al.*, 2004).

Cuadro 3. Comparación de medias para variables de calidad industrial del grano por efecto del factor variedad. Montecillo, México 2006.

Variable	Variedad		
	Revancha	Gabriela	DGETA
VEG (ml)	207 a [†]	209 a	210 a
VGNE (ml)	0.9 a	1.9 a	0.8 a
PVEG (g)	19 a	18 a	19 a
PGNE (g)	0.4 a	1.8 a	0.4 a
P (%)	16 a	15 a	16 a
A (%)	7 a	7 a	7 a

[†]: Medias con las mismas letras en la misma hilera son estadísticamente iguales de acuerdo a Tukey al 0.05 de probabilidad.

El volumen de expansión depende de los genotipos, el tiempo y las condiciones de almacenamiento, la temperatura del reventado, la madurez de la semilla y la humedad contenida en el grano (Waiker *et al.*, 1970). Una de las características que habrá de considerar en el volumen de expansión es también realizar más estudios con un incremento de fertilización y utilizar la madurez de la semilla ya que en este trabajo las condiciones en el que se estableció el experimento en campo fueron óptimas para la evaluación en todo el ciclo.

5.4. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos se concluye que la fertilización fue un factor determinante en el volumen de expansión, contenido de proteína y aceite mostrando incrementos de 7.5 – 9.6 veces, 14.3 – 17 % y 6.8 – 8.5 %, respectivamente, las más apropiadas fueron la 5 y 6 para la calidad industrial del grano.

5.5. LITERATURA CITADA

AOAC (1984) Official Methods of Analysis. 14th Edition.

Ayorinde F O, M O Ologunde, E Y Nana, B N Bernard, O A Afolabi, O L

Oke, R L (1989) Shepard. Determination of fatty acid composition of amaranthus species. J Am Oil Chem Soc. 66:1812 – 1814.

Bass L N (1980) Seed viability during long - term storage. Horticultural Reviews 2: 117-141.

Bressani R, L Estrada (1994) Effect of lime cooking of grain amaranth on selected chemical components and on its protein quality. J. Agr. Food chem. 42: 1998-2001.

Bressani R, E D Martell, C M D Godínez (1993) Protein quality evaluation of amaranth in adult humans. Plants Food Human Nutr. 43:123-143.

Berganza B F, A W Moran, G Rodriguez, N M Coto, M Santa Maria, R

Bressani (2003) Effect of variety and location on the total fat, fatty acids

and squalene content of amaranth. *Plant Food for Human Nutrition*, 58:1-6.

Calderón E, J M González, R Bressani (1991) Características agronómicas, físicas, químicas y nutricias de quince variedades de amaranto. Turrialba 41(4):458-464.

Consejo Nacional de Investigación (1987) El Amaranto, perspectivas modernas para un cultivo olvidado. National Academy Press. Amaranto Mexicano, S. A. Ed. Villicaña, S. A. 85 p.

Heller J H, M S Heller, J Spanfer, E Clark (1957) Squalene content of various shark livers. *Nature* 174:919.

He Han-Ping, Y Cai, M Sun, H Corke (2002) Extraction and purification of squalene from amaranthus grain. *J Agric Food Chem.* 50:368 – 372.

Konishi Y, H Iyota, Ki Yoshida, J Moritani, T Inoue, N Nishimura, T Nomura (2004) “Effect of Moisture Content on the Expansion Volume of Popped Amaranth Seeds by Hot Air and Superheated Steam Using a Fluidized Bed System”, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, Vol. **68**, 2186-2189.

Lorenz K (1981) *Amaranthus hypochondriacus* characteristics of the starch and baking potential of the flour starch/starke 36 (181): 149 - 153.

Lyon C K, R Becker (1987) Estructure and refining of oil from amaranth seed. *J Am Oil Chem. Soc.* 64:233-235.

Monteros J C, C Nieto, C Caicedo, M Rivera, C Vimos (1994) INIAP-Alegria, Primera variedad mejorada de amaranto para la sierra Ecuatoriana. INIAP.Boletín Divulgativo N°245 . Ecuador.

Marcone F M (2000) First report of the characterization of the threatened plant species *Amaranthus pumilus* (Seabeach Amaranth). *J. Agric. Food Chem.* 48: 378–382.

Zepeda B R, C A Carballo, O A Muñoz, C J A Mejia, S B Figueroa, C F V González, A C Hernández (2009) Proteína, triptófano y componentes estructurales del grano en híbridos de maíz (*Zea mays* L.) producidos bajo fertirrigación. *Agrociencia* 43: 143-152.

Mujica S A, D M Berti (1997) El cultivo del amaranto (*Amaranthus* spp.): producción, mejoramiento genético y utilización. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, de Chile. 145 p.

Pospišil A, M Pospišil, B Varga, Z Svečnjak (2006) Grain yield and protein concentration of two amaranth species (*Amaranthus* spp.) as influenced by the nitrogen fertilization. *European Journal of Agronomy* 25(3): 250-253.

Rodas B, Bressani R (2009) Contenido de aceite, ácidos grasos y escualeno en variedades crudas y procesadas de grano de amaranto. Centro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Instituto de Investigaciones. Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala. 59 (1):82-87.

Radosavljevic M, J Jane, L A Johnson (1998) Isolation of amaranth starch by diluted alkaline-protease treatment. *Cereal Chem.* 75(2):212-216.

SAS Institute Inc. (2002) The SAS System. Release 9.0. Cary. N. C. USA.

Sánchez-Marroquín A (1980) Potencial Agroindustrial del Amaranto. Centro de Estudios Económicos y Sociales del Tercer Mundo. Capítulo V. México, D. F. pp: 11 - 12.

Stallknecht G F, J R Schulz-Schaeffer (1993) Amaranth rediscovered. *In*: J. Janick and J.E. Simon (eds.), New crops. Wiley, New York. pp. 211-218.

Waiker W G, W C Rockwell and G O Kohler (1970) Preparation and evaluation of popped grains for use. *Cereal Chem.* 47 p.

Walters D R, L D Coffey, E C Sams (1988) Fiber, Nitrate, and Protein Content of *Amaranthus* Accessions as Affected by Soil Nitrogen Application and Harvest Date. *HortScience* 23(2):338-341.

1. <http://www.Amarant\Postcosechaalfalfa.htm>

VI. CONCLUSIONES GENERALES

Respecto a los resultados obtenidos en la presente investigación y a las condiciones presentes en el establecimiento de las diferentes fases experimentales tanto en campo como en los laboratorios y así también la utilización de los diferentes factores se concluye lo siguiente:

Que para los caracteres agronómicos si hubo un efecto como tal de la fertilización, densidad de población entre variedades, principalmente lo cual permitió observar el incremento del rendimiento de la semilla en cada una de las variedades, los mejores tratamientos de fertilización y densidades de población para San Miguel del Milagro y Montecillo fueron: 80-60-40 y con la densidad de 100 mil plantas ha^{-1} por lo que es recomendable utilizar dosis más altas para próximas investigaciones porque si bien esta puede ser recomendable como un mínimo de fertilización aplicado al suelo partiendo de los resultados de este estudio.

En el apartado de calidad física y fisiológica se determinó que en las variables evaluadas no se encontraron diferencias entre dosis de fertilización, variedad y densidad de población, en contraste las evaluadas en germinación y vigor mostrando que la mejor variedad y densidad población fueron Gabriela y con las densidades de 100 y 150 mil plantas ha^{-1} .

Por otra parte en el mismo objetivo pero con semilla almacenada por un tiempo corto de seis meses se encontraron diferencias en germinación y vigor, principalmente. Siendo que la variedad Gabriela respondió mejor al almacén.

Y finalmente los resultados que se obtuvieron en el volumen de expansión se determinó que la fertilización es un factor determinante para tal objetivo por lo que se concluyó que el volumen de expansión, contenido de proteína y aceite mostraron incrementos de 7.5 – 9.6 veces, 14.3 – 17 % y 6.8 – 8.5 %, mencionando que las dosis más apropiadas fueron la 5 y 6 (80-60-40 y 80-30-40 para la calidad industrial del grano.

VII. LITERATURA CITADA EN INTRODUCCIÓN GENERAL

Consejo Nacional de Investigación (1987) El Amaranto, perspectivas modernas para un cultivo olvidado. National Academy Press. Amaranto Mexicano, S. A. Ed. Villicaña, S. A. 85 p.

Coimbra S, R Salema (1994) *Amaranthus hypochondriacus*: seed structure and localization of seed reserves. Ann. Bot. 74:373-379.

Eberhart S A, W A Russell (1966) Stability parameters for comparing varieties. Crop Science. 6:36-40.

Espitia R E (1986) Situación actual y problemática del cultivo del amaranto en México. *In*: Primer Seminario Nacional del Amaranto. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. pp. 101–108.

INEGI (1998) Anuario Estadístico del Estado de Tlaxcala. Gobierno del estado de Tlaxcala pp. 290-300.

Mujica S A, D M Berti (1997) El cultivo del amaranto (*Amaranthus* spp.): producción, mejoramiento genético y utilización. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, de Chile. 145 p.

Stallknecht G F, J R Schulz-Schaeffer (1993) Amaranth rediscovered. *In*: J. Janick and J.E. Simon (eds.), New crops. Wiley, New York. pp. 211-218. Teutonico, R. A., and D. Knorr. 1985. Amaranth: composition, properties and applications of a rediscovered food crop. Food Technology. 39(4): 49-60.

Tosi E Ré, E H Lucero, R Masciarelli (2000) Acondicionamiento del Grano de Amaranto (Amaranto spp.) para la Obtención de una Harina Hiperproteica mediante Molienda Diferencial. *Food Science and Technology International*, 6 (5), 60 - 63.