



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**ANALISIS ESTRUCTURAL DEL DESARROLLO DE LA  
SEMILLA DE *Amaranthus hypochondriacus* L.  
CON ENFASIS EN EL COMPORTAMIENTO DEL ALMIDON  
EN MADURACION Y POSTMADURACION**

**T E S I S  
PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
DOCTORA EN CIENCIAS (BIOLOGIA)  
P R E S E N T A**

**M. EN C. GUADALUPE SUAREZ RAMOS**

**MEXICO, D.F.**

**1993**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## CONTENIDO

	PAG.
LISTA DE LAMINAS-----	i
LISTA DE CUADROS-----	ii
LISTA DE GRAFICAS-----	iii
RESUMEN-----	iv
I INTRODUCCION-----	1
II REVISION DE LITERATURA	
1. Antecedentes Históricos-----	6
2. Antecedentes Climáticos y Edáficos-----	7
3. Antecedentes Botánicos-----	8
4. Composición Química-----	11
5. Almidón-----	12
6. Reventado-----	15
7. Germinación-----	18
III MATERIALES Y METODOS	
1. Trabajo de Campo	
1.1 Muestras-----	20
1.2 Elaboración de ejemplares de herbario-----	21
2. Trabajo Morfológico-----	21
3. Trabajo Anatómico	
3.1 Observación en fresco de almidón-----	21
3.2 Inclusión de Parafina-----	22
3.3 Pruebas histoquímicas en cortes desparafinados---	22
3.4 Observación con luz polarizada-----	23
3.5 Observación con microscopio electrónico de barrido-----	23
4. Determinación de Humedad, Reventado, Germinación y Almidón.	
4.1 Materia prima-----	24
4.2 Determinación de humedad-----	24
4.3 Lotes de almacenamiento-----	24
4.4 Reventado-----	25
4.5 Porcentaje de Germinación-----	26
4.6 Determinación de almidón-----	26
IV RESULTADOS	
1. FENOLOGIA Y CICLO AGRICOLA-----	28

2. DESARROLLO DE SEMILLA	
2.1 FLOR FEMENINA-----	28
2.2 MORFOLOGIA EXTERNA DEL FRUTO-----	28
2.3 MORFOLOGIA EXTERNA DE SEMILLA-----	29
2.4 ANATOMIA	
2.4.1. Ovulo-----	29
2.4.2. Cubierta seminal-----	30
2.4.3. Región micropilar, hilar y calazal-----	30
2.4.4. Cutícula nucelar-----	31
2.5 EMBRIOGENESIS	
2.5.1. Proembrión-----	31
2.5.2. Embrión maduro-----	32
2.6 FORMACION DE ENDOSPERMO-----	32
2.7 PERISPERMO-----	32
2.8 HISTOQUIMICA-----	33
2.8.1. Almidón-----	33
2.9 ANOMALIAS-----	34
3. EFECTOS DEL ALMACENAMIENTO DE SEMILLA	
3.1 REVENTADO	
3.1.1. Efecto de recipiente de almacenamiento---	34
3.1.2. Contenido de humedad-----	35
3.1.3. Volúmenes de expansión-----	35
3.1.4. Anatomía e histoquímica de semilla reventada-	35
3.2 GERMINACION-----	36
3.3 ALMIDON	
3.3.1. Contenido de almidón-----	37
3.3.2. Contenido de amilosa y amilopectina-----	37
V DISCUSION	
1. FENOLOGIA Y CICLO AGRICOLA-----	38
2. DESARROLLO DE SEMILLA-----	40
3. ALMACENAMIENTO DE SEMILLA-----	45
VI CONCLUSIONES-----	88
VII NECESIDADES DE INVESTIGACION-----	90
VIII LITERATURA CITADA-----	92

## LISTA DE LAMINAS

PAG.

LAMINA I. PANOJA Y SEMILLA-----	51
Fig. 1. Muestreo de Panoja	
Fig. 2. Semilla de Amaranto	
LAMINA II. ESTRUCTURA DE PANOJA-----	52
Fig. 3. Panoja	
Fig. 4. Ramas laterales de diferente tamaño	
Fig. 5. Rama lateral	
Fig. 6. Glómérulo	
Fig. 7. Glómérulo	
Fig. 8. Flor masculina	
Fig. 9. Flor femenina	
LAMINA III. FRUTO-----	53
Fig. 10. Fruto con una semilla	
LAMINA IV. DESARROLLO DEL OVULO-----	54
Fig. 11. Corte long. etapa temprana en la formación del óvulo	
Fig. 12. Corte long. etapa temprana en la formación del óvulo	
Fig. 13. Corte long. etapa temprana en la formación del óvulo	
Fig. 14. Corte long. etapa temprana en la formación del óvulo	
Fig. 15. Corte longitudinal, pistilo joven.	
Fig. 16. Corte long. óvulo en etapa de antesis	
LAMINA V. SACO EMBRIONARIO-----	55
Fig. 17 y 18. Saco embrionario con aparato del huevo	
Fig. 19 y 20. Saco embrionario parte central	
LAMINA VI. DESARROLLO DE CUBIERTA SEMINAL-----	56
Fig. 21. Corte long. cubierta seminal en desarrollo	
Fig. 22. Corte long. cubierta seminal en desarrollo	
Fig. 23. Corte long. cubierta seminal en desarrollo	
Fig. 24. Corte long. cubierta seminal en desarrollo	
Fig. 25. Corte long. cubierta seminal madura	
Fig. 26. Vista superficial de endotegmen	
LAMINA VII ENDOTEGMEN-----	57
Fig. 27. Endotegmen	
LAMINA VIII REGION MICROPILAR, CALAZAL E HILAR-----	58
Fig. 28. Corte long. región micropilar óvulo en antesis	
Fig. 29. Corte long. región de calaza en etapa temprana de embriogénesis	
Fig. 30. Corte long. región hilar en semilla madura	
Fig. 31. Corte long. etapa temprana de embriogénesis	
LAMINA IX. CUTICULA NUCELAR Y SUSPENSOR-----	59
Fig. 32. Corte long. etapa temprana de embriogénesis	
Fig. 33. Corte long. etapa temprana de embriogénesis	
Fig. 34. Corte long. de semilla madura	

Fig. 35 y 36. Corte long. etapa temprana de embriogénesis	
LAMINA X. EMBRIOGENESIS-----	60
Fig. 37, 38, 39, 40 y 41. Secuencia cortes long. etapa temprana de embriogénesis	
LAMINA XI. EMBRIOGENESIS-----	61
Fig. 42. Corte long. etapa temprana de embriogénesis	
Fig. 43. Corte long. embrión en etapa globular	
Fig. 44. Corte long. embrión en etapa de corazón	
Fig. 45. Corte long. embrión maduro	
Fig. 46. Corte long. semilla madura	
LAMINA XII PERISPERMO Y ENDOSPERMO-----	62
Fig. 47. Corte long. semilla madura	
Fig. 48. Corte long. radícula semilla madura	
Fig. 49. Endospermo nuclear	
Fig. 50. Endospermo nuclear preparándose para la celularización.	
Fig. 51. Corte long. semilla con embrión en etapa de corazón	
Fig. 52. Endospermo celular	
LAMINA XIII PERISPERMO Y ENDOSPERMO-----	63
Fig. 53. Corte long. cotiledones en semilla madura	
Fig. 54. Endospermo con cuerpos de proteína	
Fig. 55. Perispermo con granos de almidón	
Fig. 56. Corte long. de semilla madura	
LAMINA XIV. GRANOS DE ALMIDON-----	64
Fig. 57. Granos de almidón en amaranto	
Fig. 58. Granos de almidón en maíz palomero	
LAMINA XV. SEMILLA REVENTADA-----	65
Fig. 59. Semilla del desecador reventada a los 63 días de almacenamiento	
Fig. 60. Semilla del frasco reventada a los 63 días del almacenamiento	
LAMINA XVI. SEMILLA REVENTADA-----	66
Fig. 61. Semilla del desecador reventada	
LAMINA XVII. SEMILLA REVENTADA-----	67
Fig. 62. Semilla del costal reventada	
Fig. 63. Semilla del costal reventada	
LAMINA XVIII. SEMILLA REVENTADA-----	68
Fig. 64. Perispermo en semilla reventada	
Fig. 65. Corte long. semilla reventada	
Fig. 66. Corte long. semilla reventada	
Fig. 67. Corte long. semilla reventada	
LAMINA XIX. SEMILLA GERMINADA-----	69
Fig. 68. Semillas de amaranto germinadas a los siete días.	

LISTA DE CUADROS

PAG.

CUADRO 1. Características del almidón perispérmico en diferentes especies de <i>Amaranthus</i> .....	71
CUADRO 2. Rango de temperatura de gelificación y solubilidad del almidón en dos especies de amaranto y dos cereales.----	72
CUADRO 3. Temperatura y precipitación en Chapingo, estado de México en 1988.....	73
CUADRO 4. Ciclo agrícola en <i>A. hypochondriacus</i> L. tipo Mercado 153-5-3, Chapingo, México. 1988-----	74
CUADRO 5. Efecto de recipiente de almacenamiento en el potencial de reventado y germinación de <i>A. hypochondriacus</i> L. tipo Mercado 153-5-3-----	75
CUADRO 6. Porcentaje de humedad en semilla almacenada de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L. tipo Mercado 153-5-3-----	76
CUADRO 7. Efecto de fecha de muestreo de almacenamiento en el porcentaje de humedad y germinación de <i>A. hypochondriacus</i> L. tipo Mercado 153-5-3. Tukey-----	77
CUADRO 8. Volumen de expansión de semilla almacenada de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L. tipo Mercado 153-5-3-----	78
CUADRO 9. Porcentaje de germinación en semilla almacenada de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L. tipo Mercado 153-5-3-----	79
CUADRO 10. Cantidad de almidón durante el almacenamiento de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L. tipo Mercado 153-5-3.-	80



LISTA DE GRAFICAS

PAG.

GRAFICA 1. Altura de 100 plantas secas de <i>A. hypochondriacus</i> L. tipo Mercado 153-5-3. Chapingo, Méx. 1988.-----	82
GRAFICA 2. Longitud de panoja en 100 plantas de <i>A. hypochondriacus</i> L. tipo Mercado 153-5. Chapingo, Méx. 1988.-----	83
GRAFICA 3. Porcentaje de humedad en semilla almacenada de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L. tipo Mercado 153-5-3.-----	84
GRAFICA 4. Volumen de expansión de la semilla de <i>A. hypochondriacus</i> L. tipo Mercado 153-5-3.-----	85
GRAFICA 5. Porcentaje de germinación en semilla almacenada de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L. tipo Mercado 153-5-3, 86	
GRAFICA 6. Espectro de absorción de almidón- I <sub>2</sub> de amaranto ( <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L. tipo Mercado 153-5-3).-----	87

## RESUMEN

En el presente trabajo se hizo un estudio estructural e histoquímico de las semillas de *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo Mercado 153-5-3 proveniente del CIFAP-Méx. desde antesis hasta madurez, entendiéndose ésta como el momento en que la semilla está lista para su dispersión.

El óvulo es campilótropo, crasinucelado, bitégmico, funiculado, con micrópilo endóstomo y saco embrionario monospórico. Al final del desarrollo la semilla contiene un embrión curvo de dos cotiledones que abarcan casi la mitad de éste y el hipocótilo ocupa la otra mitad.

El embrión rodea el perispermo amiláceo rico en amilopectina. Los granos de almidón del perispermo son poliédricos con superficies lisas, miden cerca de 1  $\mu$ m, y no dan birrefringencia con luz polarizada.

El desarrollo del endospermo es nuclear. En semilla madura algunas células endospermicas permanecen alrededor de la punta de los cotiledones y de la radícula.

La cutícula nucelar es gruesa y lipídica. La cubierta seminal al final del desarrollo está formada por dos capas: exotesta y endotegmen. El desarrollo estructural de la semilla a partir del óvulo en antesis dura de 14 a 28 días.

También se evaluaron los efectos de cuatro tratamientos de almacenamiento de semilla en el contenido de humedad, volumen de expansión y porcentaje de germinación durante un período de 63 días después de la cosecha. Se encontró que a menor humedad menor volumen de reventado. Los resultados de germinación indican que no hay indicios de latencia en el genotipo estudiado.

El almidón presentó su máxima absorción con I<sub>2</sub>KI de 520-540 nm., por lo que es de tipo waxy o ceroso, muy rico en amilopectina. Se describe la estructura de la semilla reventada.

En esta investigación se hace referencia a ciclo de vida de una planta de amaranto y el ciclo agrícola del cultivo.

## I. INTRODUCCION

*Amaranthus hypochondriacus* L., conocido en México con el nombre de "alegría", es considerada como una de las plantas que México aportó al mundo, y que en la actualidad está adquiriendo nuevamente importancia debido a que presenta semillas ricas en proteína con altos niveles de lisina, aminoácido esencial difícil de encontrar en los vegetales.

Este cultivo ha llegado hasta nosotros por haberse sembrado tradicionalmente en temporal. Es importante recordar que en la República Mexicana existen aproximadamente 23 millones de hectáreas de tierra laborable, y de ellas, 4.8 millones son de riego y 18.2 millones de temporal, de éstas últimas 7.5 millones de hectáreas son consideradas improductivas por su grado extremo de aridez (Molina, 1983). Cada día se acentúa más el problema de la escasez de agua, por ello, la alegría o amaranto aparece como un cultivo de amplias posibilidades agrícolas (Lees, 1983).

Las plantas domesticadas por el hombre y cultivadas están incluidas en 180 géneros de los 3,000 géneros de angiospermas conocidas (Sosa, 1983), y son pocos los alimentos básicos que en la actualidad constituyen la fuente principal de nutrientes para el hombre.

El hombre basa su alimentación en cerca de ocho cereales y alrededor de catorce leguminosas, es característico que los cereales presenten bajo contenido de proteína, así como lisina, triptofano o treonina, mientras que las leguminosas son deficientes en aminoácidos azufrados (Bressani, 1983a).

El amaranto con su alto contenido de proteína y balance de aminoácidos, ha llamado la atención mundial, considerándole una entre 36 plantas prometedoras para combatir el hambre en el mundo (National Academy of Science, 1975).

El problema de alimentos en México es un problema serio, que hace imperante la optimización de cultivos ampliamente explotados (p.e. maíz, frijol, trigo) y el estudio e incorporación de otros cultivos alternativos. En

este último caso, el amaranto representa una buena opción. La semilla tiene comportamiento cerealero, aún cuando no es gramínea, pudiéndose reventar o expandir de manera similar al maíz palomero.

Mediante el proceso de reventado se mejora el sabor, color, olor, se aumenta la digestibilidad y se facilita la molienda en la obtención de harina, ésta mezclada con la de trigo, maíz o cualquier otro cereal, puede usarse en la elaboración de diversos productos alimenticios de buena calidad.

El uso principal que sigue teniendo la semilla en México, es en los tradicionales dulces de alegría que se elaboran con semilla reventada y compactada con miel, actividad que representa para algunas personas su única fuente de empleo, y para otras, una forma de ingreso extra.

Los productores de Morelos han observado que si la semilla se revienta 2 ó 3 días después de la cosecha, se obtienen bajos volúmenes de reventado, por ello, la reposan por lo menos dos meses para obtener mayor volumen de expansión. En este periodo la semilla se asienta y aumenta su volumen de reventado (Salazar y López, 1989).

Por otro lado, al parecer existe un problema en campo respecto a que la semilla recién cosechada no germina o casi no germina (E. Espitia, 1988. Comunicación personal), esto imposibilitaría su uso inmediato en campo.

El conocimiento que se tiene de las estructuras reproductivas del amaranto y de formación de las semillas es pobre. El escaso número de trabajos publicados sobre el tema y los resultados obtenidos, muchas veces contradictorios, hizo de la realización de estudios estructurales una necesidad prioritaria.

En este estudio se trabajó el desarrollo de la semilla de *Amaranthus hypochondriacus* L. debido a que es una de las dos especies que se cultivan en México y de la cual no existía ningún antecedente en la literatura. El no contar con la información bibliográfica sobre el comportamiento del almidón en el proceso de reventado, ni de los cambios estructurales e histoquímicos que sufre la semilla al ser sometida a este proceso, hizo

necesario abarcar estos aspectos dentro del presente trabajo de investigación.

La información sobre la germinación de las semillas de amaranto cultivado, es muy escasa, y practivamente en ningún artículo se hace un análisis respecto a los porcentajes de germinación y su relación con cosecha o con almacenamiento.

En algunos trabajos ni siquiera se menciona la especie estudiada en las pruebas de germinación. Por ello, resultó de interés investigar el comportamiento de la semilla recién cosechada y almacenada en relación a germinación y reventado.

En esta investigación se escogió trabajar con *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo Mercado 153-5-3, proveniente del CIFAP-Méx. por representar su material genético el más promisorio desde varios puntos de vista. También porque será registrado ante la Promotora Nacional de Semillas, para su distribución a nivel nacional.

## **IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION**

Es una investigación original sobre el desarrollo embriológico de *Amaranthus hypochondriacus*. Por primera vez se presenta la estructura e histoquímica de la semilla reventada y se analizan los efectos del almacenamiento de semilla sobre el reventado, contenido de almidón y germinación.

En el presente trabajo se define por maduración las diferentes etapas por las que pasa una semilla hasta alcanzar madurez, entendiéndose a ésta como el momento en que la semilla está lista para la dispersión o cosecha. Postmaduración serán los cambios que puede sufrir la semilla después de la cosecha y antes de la germinación.

## **OBJETIVOS GENERALES Y PARTICULARES**

1. Describir el ciclo de vida y el ciclo agrícola de *Amaranthus hypochondriacus* L.
2. Analizar el desarrollo estructural e histoquímico de las semillas de *A. hypochondriacus* L. desde anthesis hasta madurez.
3. Caracterizar la estructura (tamaño y forma) de los granos de almidón del perispermo en la semilla madura.
4. Evaluar los efectos del almacenamiento de semilla (postmaduración) en el potencial de reventado, contenido de almidón y capacidad de germinación.
  - 4.1 Evaluar el efecto de recipiente de almacenamiento.
  - 4.2 Determinar los cambios en humedad y su repercusión en el reventado de semilla recién cosechada y almacenada durante 63 días.

- 4.3 Describir la anatomía de la semilla reventada y la localización histoquímica de carbohidratos, lípidos y proteínas.
- 4.4 Comparar el contenido de almidón, amilosa y amilopectina en semilla recién cosechada y almacenada por 63 días.
- 4.5 Determinar el porcentaje de germinación en semilla recién cosechada y almacenada durante 63 días.

## II REVISION DE LITERATURA

### 1. Antecedentes históricos

El amaranto es considerado como una de las plantas que México aportó al mundo (Cruces, 1986). Conocido antes de la llegada de los españoles con el nombre náhuatl de "huautli", ocupó un lugar primordial dentro de la vida de los pobladores del Imperio Azteca, y de otros pueblos (Aguilar y Alatorre, 1978). Al parecer, fue debido a su importante papel dentro de las festividades pagano-religiosas, que fue perseguido y casi extinto su cultivo por parte de los españoles (Sauer, 1950; Feine *et al*, 1979; Velasco y Heyden, 1986).

Existe evidencia de que en México antes de la llegada de los españoles, la semilla era consumida tostada (reventada). Diego Durán en 1585 escribe como los habitantes del Valle de Anáhuac "molfan gran cantidad de semilla que llamaban huautli, juntamente con maíz tostado" (Hunziker, 1952 citado por Salazar y López, 1989).

Es en el ceremonial religioso azteca donde la semilla reventada de amaranto tuvo un papel primordial, por ejemplo, la figura de Huitzilopochtli se elaboraba con una pasta de semilla reventada y maíz, molidos y compactados mediante jarabe para formar al ídolo. Al término de la ceremonia el ídolo se recortaba y repartía entre los presentes. Al parecer, representaba el cuerpo y la sangre de Huitzilopochtli (Sauer, 1950).

Sauer (1977) dice que la semilla de amaranto reventada, con maíz y aguamiel (el tzoale) servía para hacer tortillas y atole.

La planta de amaranto, también es conocida con el nombre de "alegría" nombre que se dió en el siglo XVI al dulce que se elabora con la semilla reventada y después, el nombre se adjudicó a la planta productora de esta semilla. Según la historia, fue Fray Martín de Valencia (1473-1534) al que se le ocurrió mezclar la semilla reventada con miel y uno a uno de los indios se las dió a probar y según relatos de la época, les pareció tan sabroso que empezaron a bailar y cantar de alegría, de ahí el nombre (Aguilar y Alatorre, 1978; Santín, 1986).

La palabra amaranto viene del latín *amarantus*, y ésta del griego *ἀμάραντος* y significa inmarcesible, es decir, que no se marchita (Corominas y Pascual, 1984). Afortunadamente el cultivo ha llegado hasta nuestros días debido a que se siguió sembrando en zonas temporales, en climas cálidos y templados (Noguerón, 1886; Sauer, 1977).



## 2. Antecedentes Climáticos y Edáficos

En general, los amarantos crecen desde el nivel del mar hasta por encima de los 3200 m.s.m.n. (National Research Council, 1984).

Reyna (1986) en su escrito sobre los requerimientos climáticos para el cultivo de amaranto en México, expresa que el amaranto tiene características altitudinales muy contrastantes, encontrándose de 100 a 2800 m.s.n.m. La misma autora dice que "en cuanto a la temperatura, ha mostrado buen desarrollo en lugares cálidos, con temperaturas altas (29°C) y uniformes todo el año como en Atoyac, Gro., hasta en localidades templadas (Tulyehualco y Milpa Alta, D.F.) con temperatura media anual de 14°C, inviernos definidos y presencia de heladas tempranas que afectan principalmente el follaje, pero poco al grano".

Se cultiva en condiciones de temporal aún en sitios con menos de 400 mm de lluvia al año, recibidas casi exclusivamente durante el verano, pero es factible encontrarlo en zonas de precipitación mayor a 1300 mm.

"La semilla llamada alegría se produce mejor en terrenos areniscos y que estén en llano". "Esta semilla se da en toda clase de terrenos con tal que estén bien abonados, pero por lo regular mientras de mejor calidad son en los que se siembra, es mayor su rendimiento, habiéndose notado que se da mejor en las tierras sueltas o porosas, que en las fuertes, barriales, o las que por este rumbo son conocidas con el nombre de "tesoquites", pues en esta clase de terrenos cuesta más beneficiarla y su rendimiento baja muchas veces a la mitad de lo que pudiera rendir en las tierras sueltas" (Anónimo, 1886).

Al parecer los amarantos crecen bien en una diversidad de suelos, desde muy ácidos y de alto contenido de aluminio, hasta alcalinos y salinos (Martineau, 1985). Sin embargo, Schmidt (1977) aclara que el amaranto es especialmente sensible a la falta de fósforo y con base en sus resultados de investigación, sugiere la importancia del adecuado balance de nitrógeno y fósforo en la nutrición del cultivo.

### 3. Antecedentes Botánicos

La familia Amaranthaceae es colocada por Taktajan (1966, citado por Cronquist, 1981), dentro de la siguiente clasificación:

Clase: Magnoliopsida o Dicotiledonea  
Subclase: Caryophyllidae  
Orden: Caryophyllales  
Familia: Amaranthaceae

Según Lawrence (1951), la familia comprende aproximadamente 800 especies, siendo los géneros que se citan a continuación los más grandes: *Alternanthera*, 170 spp; *Ptilotus*, 100 spp; *Gomphrena*, 90 spp; *Celosia*, 60 spp. y *Amaranthus*, 50 spp.

El género *Amaranthus* perteneciente a la subfamilia Amaranthoideae (Taktajan, 1966, citado por Cronquist, 1981), es un grupo difícil desde el punto de vista taxonómico. Su clasificación se basa de manera fundamental en caracteres florales (Mapes, 1984; Alejandre y Gómez, 1986). Sauer (1967 y 1976) indica la existencia de 60 especies de amaranto nativas de América y 15 de Europa, Asia, África y Australia.

Varias especies de amaranto se consumen por sus hojas, sobre todo en el trópico húmedo (Daloz, 1980 y Sánchez, 1980). De acuerdo con Sauer (1967), sólo tres especies son domesticadas y utilizadas por sus granos o semillas, de ahí que se les llame amarantos de grano, y son: *A. hypochondriacus*, *A. cruentus* y *A. caudatus*.

Los amarantos son extremadamente plásticos y capaces de prosperar en un amplio rango de ambientes (Hauptli, 1977). Son plantas C<sub>4</sub> que requieren de 3/5 a 2/3 partes de agua en relación con el agua que necesita una planta C<sub>3</sub> para producir la misma cantidad de materia vegetal, y son de rápido crecimiento bajo condiciones de 30° a 35°C de temperatura (Hauptli, 1977; Grubben, 1980 y Lee, 1983).

Respecto a fotoperiodo, diferentes variedades de *A. hypochondriacus* están reportadas como plantas de día corto (Suárez, 1984).

El ciclo agrícola explicado por el diccionario Agropecuario de México como "el periodo de tiempo en que se lleva a cabo el desarrollo de diferentes cultivos, desde su siembra hasta su cosecha", existen diversos informes (Herrera, 1989; Alejandre y Gómez, 1986).

*Amaranthus hypochondriacus* es una planta herbácea de 1.5 a 2.0 m de altura, tallo ramificado desde la base y marcado con estrías

longitudinales, hojas largas, pecioladas y ovadas que miden aproximadamente 15 cm de largo y 10 cm de ancho. Sus inflorescencias están en panículas terminales o axilares muy ramificadas de aproximadamente 50 cm de largo (Alejandre y Gómez, 1986). La inflorescencia terminal es la más grande, se llama comunmente panoja (Estrella, 1986; Suárez y Cervantes, 1987).

La unidad básica de la inflorescencia es un pequeño glomérulo, formado por lo general por una flor estaminada inicial y un número indefinido de flores pistiladas; cada una de las flores presenta una bráctea persistente de punta espinosa y cinco tépalos libres. Tienen cinco estambres las flores maculinas y un ovario las flores femeninas (Singh, 1961; Sebastian y Deshpande, 1974; Edwards, 1980). El estilo presenta tres ramificaciones plumosas (Bailey, 1914 citado por Alejandre y Gómez, 1986).

En el ovario se localiza un óvulo de tipo campilótropo, ligeramente aplanado y casi circular, que al desarrollarse origina una semilla lenticular, generalmente blanca, de más o menos 1.0 a 1.5 mm de diámetro, teniendo un peso de 1000 semillas de 0.6 a 1.2 g. (Jain y Haupli, 1980 y Saunders y Becker, 1984 citados por Teutónico y Knorr, 1985).

La semilla se ubica en el fruto llamado utrículo o cápsula que abre transversalmente (Irving, *et al*, 1980; Sánchez, 1980; Alejandre, 1981; Irving y Becker, 1985). Toker (1986) hace referencia a la producción de 1-2 millones de semillas por planta.

Para Sebastian y Deshpande (1974), el ovario tiene un óvulo anfítropo y un saco embrionario de tipo Polygonum. Woodcock (1931), en un estudio sobre el desarrollo de la semilla de *Amaranthus caudatus* L., encontró un embrión curvo y una pequeña cantidad de endospermo arriba de la radícula; el funículo sólo estaba presente en etapas tempranas de la semilla y el micrópilo era formado por el tegumento interno.

Como producto del desarrollo del embrión, el endospermo libre nuclear empieza a ser celular en la parte micropilar y calazal del saco embrionario, en la región chalazal permanece en condición nuclear por un tiempo. El saco embrionario está completamente lleno de endospermo libre nuclear por el tiempo en que los cotiledones aparecen en el embrión; en esta etapa cada célula de la nucela tiene pequeños granos de almidón.

En semilla madura el embrión curvo está en contacto con la testa y casi rodea completamente el perispermo. Este autor señala que la mitad del embrión son los cotiledones y que el perispermo está lleno de granos de almidón. De acuerdo con Esau (1972) y Cutter (1971), se entiende por

perispermo el tejido de reserva que se forma a partir de la nucela y por lo tanto es un tejido diploide. La palabra perispermo viene del griego y significa alrededor de la semilla.

En 1940 se publicó el artículo: A Contribution to the embryology of the Amaranthaceae (Kajale, 1940), en donde se presenta el estudio embriológico de seis especies representantes de seis géneros no estudiados de la familia: *Celosia argentea* Linn; *Allmania nodiflora* Br; *Amaranthus viridis* Linn; *Cyathula tomentosa* Moq; *Pupalia lappaceae* Moq. y *Aerva lanata* Juss. También describe algunas etapas en el desarrollo de *Alternanthera sessilis*, *Gomphrena globosa* y *Bosia amherstiana*.

En *Celosia argentea*, *Allmania nodiflora*, *Amaranthus viridis*, *Cyathula tomentosa*, *Pupalia lappaceae*, y *Aerva lanata* el desarrollo y forma del óvulo muestra poca variación. En *Cyathula tomentosa*, *Pupalia lappacea* y *Aerva lanata* el óvulo es penduloso, a diferencia de *Celosia argentea*, *Allmania nodiflora* y *Amaranthus viridis* que era erecto. En todas las especies el micrópilo es endóstomo.

Existe la tendencia a suprimir la segunda división meiótica en la célula micropilar de la diada en *Celosia argentea*, *Amaranthus viridis*, *Pupalia lappacea* y *Aerva lanata*. En estas plantas sólo aparece una hilera de tres células, dos megasporas y una célula de la diada, como resultado usual de la megasporogénesis.

En la mayoría de las especies (excepto *Aerva lanata*) las antípodas se diferencian antes que el aparato del huevo.

El endospermo es nuclear en su inicio, pero más tarde forma células, excepto en *Alternanthera*. Todas las especies desarrollan perispermo.

*Bosia amherstiana*, *Allmania nodiflora*, *Amaranthus viridis* y *Cyathula tomentosa* presentan un espacio de aire bien desarrollado entre los dos tegumentos en la parte calazal del óvulo. *Pupalia lappacea* además exhibe un segundo espacio de aire cerca del primero, entre la nucela y el tegumento interno. Los espacios desaparecen durante el desarrollo del embrión.

Existe un trabajo sobre el depósito de taninos de la testa de *A. hypochondriacus* en el que se muestra que la exotesta de la semilla blanca no presenta taninos condensados dentro de vacuolas (Suárez y Engleman, 1980).

Sobre la estructura de la semilla madura ya se cuenta con información. Irving, *et al* (1980), en la segunda conferencia de amaranto celebrada en Pensilvania, exponen los resultados de sus trabajos morfológicos e histoquímicos de *A. hypochondriacus*, sobre la estructura y distribución de nutrientes dentro de la semilla madura. Sin embargo, posteriormente estos autores (Irving, *et al* 1981), hacen referencia a que hubo un error en la identificación de la especie que era *A. cruentus* sobre la que realizaron sus estudios morfológicos.

Los mismos autores señalan que la estructura de *A. cruentus* es muy parecida a *Beta vulgaris*. y la diferencia sería que en amaranto el embrión rodea el perispermo. Corner (1976) considera que semillas de *Amaranthaceae* son estructuralmente como *Chenopodiaceae*.

Irving y Becker (1985) encontraron que *A. cruentus* tiene una cubierta seminal de dos capas que rodea el embrión; el endospermo perdura en una porción pequeña en la punta de los cotiledones y la radícula. Tanto el embrión como el endospermo tienen dos tipos de cuerpos de proteína: unos con globoides y otros sin éstos. Los cuerpos con globoides fueron más abundantes en el embrión que en el endospermo. Además mucha de la proteína del perispermo se localizó como material de matriz, pero sin evidentes cuerpos de proteína.

#### 4. Composición Química.

Casillas (1977) indica para la semilla de alegría de *A. leucocarpus* S. Wats (que debe corresponder a *A. hypochondriacus* según Sauer, 1976), los siguientes valores en su composición:

Carbohidratos	50.60 %
Proteína	14.16 %
Extracto etéreo	6.50 %
Fibra cruda	15.70 %
Cenizas	2.70 %
Humedad	10.25 %

Al comparar estos resultados con otros de la literatura, al parecer no existen fuertes diferencias entre *A. hypochondriacus* y *A. cruentus*, que son las dos especies de más amplio cultivo en la región central de México (Iturbide y Gómez, 1986).

La proteína de la semilla contiene alrededor de 4.5 a 5.0% de lisina y 4.4% de aminoácidos azufrados, y ambos se encuentran limitados en

los cereales conocidos (Senft, 1980, citado por Teutónico y Knorr, 1985; Jaik y Tena, 1986).

Particularmente para *A. hypochondriacus* se informa 62% de almidón (Becker, *et al* 1980; Betschard, *et al* 1981), este almidón se localiza fundamentalmente en el perispermo (Irving, *et al* 1980).

Saunders (1984) disectó a mano el perispermo de amaranto, encontrando que representaba el 74% del peso de la semilla completa, y la fracción testa-embrión pesaba 26%. Esta última fracción en *A. cruentus* representó el 25% del peso total de la semilla (Betschard, *et al*, 1981).

En *A. cruentus* 65% de la proteína total se ubica en la fracción testa-embrión, y el 35% en el perispermo (Becker y Saunders, 1984). Estos autores señalan que los cuerpos proteínicos están ubicados en los tejidos embrionarios y del endospermo, y que el tamaño de las células y de los cuerpos varía.

El calcio, magnesio, cobre, manganeso, zinc y fierro, son abundantes en la fracción testa-embrión (Betschard, *et al* 1980).

## 5. Almidón

El almidón contiene cantidades variables de amilosa y amilopectina (Conn y Stumpf, 1978). La amilosa es la fracción soluble en agua y que constituye del 10 al 20% del almidón. La fracción insoluble es la amilopectina (Laguna, 1964).

La amilosa es una cadena larga sin ramificación constituida de 300 a 350 unidades de D-glucosa, unidas por puentes alfa 1-4. Adopta una forma helicoidal como de resorte, dando una vuelta alrededor del eje cada seis unidades de glucosa. La amilosa forma micelas hidratadas al ponerse en contacto con el agua, las que en presencia de yodo dan un color azul (Laguna, 1964; Lehninger, 1975).

La amilosa puede ser hidrolizada por la alfa amilasa, enzima encontrada en la saliva y jugo pancreático; ésta enzima hidroliza la cadena, atacando a los enlaces alfa 1-4 al azar, dando como resultado la producción de maltosa y de glucosa. La  $\beta$  amilasa es una enzima vegetal que hidroliza también la amilosa, atacando la parte terminal no reductora, originando así unidades sucesivas de maltosa (Conn y Stumpf, 1978).

La amilopectina es una cadena altamente ramificada, presenta ramas formadas por 24 a 30 unidades de glucosa. La parte principal tiene

puentes glucosídicos de tipo alfa 1-4 y los puentes de ramificación son de tipo alfa 1-6. La amilopeptina en presencia de yodo produce una coloración rojo violeta (Laguna, 1964; Lehninger, 1975).

La amilopeptina también puede ser atacada por la alfa y la  $\beta$  amilasa, pero éstas no pueden hidrolizar los enlaces glucosídicos alfa 1-4 que se encuentran cerca de un punto de ramificación, ni tampoco los propios enlaces alfa 1-6. Por ello el producto de hidrólisis de estas enzimas es un núcleo altamente ramificado llamado dextrina límite de la amilopeptina original (Conn y Stumpf, 1978). Sólo la amilo 1-6 glucosidasa ataca a la amilopeptina a nivel de la ramificación (Laguna, 1964).

El almidón se sintetiza en cloroplastos. Se hidroliza, se transporta como glucosa y se resintetiza en el amiloplasto como almidón de reserva (Curtis, 1976).

Esau (1972) indica que después de la fecundación en *Dianthus* el contenido de almidón en la planta baja rápidamente y que mucho almidón se halla en el saco embrionario maduro y se usa durante el desarrollo temprano del embrión. Señala que "la nucela tiene dos periodos de acumulación. Uno asciende en los estadios tempranos del desarrollo del óvulo y alcanza el máximo en la madurez del saco embrionario. En el otro, se forma el depósito definitivo en el perispermo."

Los amiloplastos forman los granos de almidón de diferente diámetro, p.e. en el tubérculo de *Solanum tuberosum* 70 a 100  $\mu$ m, en el cariósipide de *Triticum* de 30 a 40  $\mu$ m y en cariósipide de *Zea mays* de 5 a 30  $\mu$ m (Fahn, 1974). En diferentes especies de *Amaranthus*, el diámetro de los granos de almidón oscila de 0.75 a 3.5  $\mu$ m (cuadro 1).

Los granos de almidón suelen presentar capas concéntricas. Esta estratificación se podría explicar por la alternancia de capas ricas en agua y capas ricas en almidón respectivamente (Hess, 1955 citado por Roth, 1976), o bien, por la alternancia de amilosa y amilopeptina (Muhlethaler, 1955 citado por Roth, 1976). Otros opinan que las capas oscuras son más ricas en agua y menos refringentes, y las capas claras presentan menos agua y son más refringentes (Curtis, 1976).

"En los gránulos de almidón las moléculas están dispuestas radialmente, lo que da por resultado que con la luz polarizada se vea un dibujo entrecruzado" (Esau, 1972).

El hilo (hilo para Roth, 1976; Esau, 1972 y Curtis, 1976, o bien, hilum para Fahn, 1974 y Cutter, 1978) es el centro de origen de los granos de

almidón. En un amiloplasto puede formarse uno o más granos que pueden permanecer separados -granos simples-, o pueden crecer juntos y presentar 2 ó más hila -granos compuestos- (Esau, 1972; Cutter, 1978). *Fagopyrum*, *Oryza* y *Avena* tienen granos compuestos (Fahn, 1974).

Según Cutter (1978) y Esau (1977) en los granos de almidón de los cereales, el número de estratificaciones corresponde al número de días de crecimiento. Los granos amiláceos que contienen principalmente amilopectina (con menos de 1% de amilosa) se denominan tipo "waxy" o ceroso, cuando la amilosa se aproxima o excede al 1% los granos se consideran de tipo normal (Brimhall, 1945 y National Starch Prod. 1953 citados por Kintner, 1986).

Okuno y Sakaguchi (1981, 1982 y 1984) hacen referencia a que se han identificado los dos tipos de almidón en el endospermo de gramíneas como: *Oryza sativa*, *Hordeum vulgare*, *Sorghum bicolor* (L.) Moench y *Panicum miliaceum*. Los mismos dos tipos se han identificado en semillas de *A. hypochondriacus* y al parecer existen dos grupos de semillas de acuerdo a su apariencia y contenido de amilosa: 1) Semillas opacas de tipo ceroso o "waxy", que con I<sub>2</sub>KI producen una coloración café rojiza y contienen de 0.0 a 0.3% de amilosa. 2) Semillas translúcidas, de tipo normal, que con I<sub>2</sub>KI producen coloración azul, con 6.7% de amilosa.

Las propiedades del almidón del perispermo de *A. hypochondriacus* están determinadas por un gene mayor simple. El alelo tipo normal es dominante y el alelo ceroso es recesivo (Okuno y Sakaguchi, 1982). Los mismos autores enfatizan que en este estudio es la primera vez que se diferencia el almidón ceroso del normal y sus propiedades en el perispermo de dicotiledóneas.

Se llama temperatura de gelificación, a la temperatura cuando los granos de almidón comienzan a hincharse hasta romper las débiles ligaduras de hidrógeno (Kintner, 1986). De acuerdo con Lorenz (1981), esta temperatura es característica de las especies botánicas y de las variedades de las que se obtiene el almidón. El contenido de amilosa y el tamaño de los granos de almidón se han reportado como factores que influyen en la gelificación (Greenwood, 1976 citado por Becker, *et al*, 1981).

En el cuadro 1 se presentan las características del almidón del perispermo de diferentes especies de amaranto (Okuno y Sakaguchi, 1982; Okuno y Sakaguchi, 1981; Okuno y Sakaguchi, 1984; Becker *et al*, 1981; Lorenz 1981; Sugimoto, *et al*, 1981; Tomita *et al*, 1981; Wolf *et al*, 1950; Mac Masters, *et al*, 1955; Modi y Kulkarni, 1976; Goering, 1967 y Subba y Goering, 1970).



En relación a la solubilidad del almidón, Modi y Kulkarni, (1976) encontraron 100% de amilopectina en *Amaranthus paniculatus* y observaron que era más soluble que el almidón de maíz.

El rango de temperatura de gelificación y solubilidad del almidón en *A. paniculatus*, *A. hypochondriacus*, maíz y trigo se observan en el cuadro 2, en donde se aprecia que el almidón de amaranto tiene mayor temperatura de gelificación y mayor solubilidad que los cereales (Modi y Kulkarni, 1976; Lorenz, 1981).

## 6. Reventado

Uno de los procesos más comunes para transformar la semilla de amaranto en un alimento, es el reventado, llamado también "tostado". El reventado es un proceso que se realiza por varios motivos: mejora la apariencia, sabor, color, aroma, digestibilidad y facilita la molienda del grano para la obtención de la harina (Betschard *et al.*, 1981; Bressani, 1983 y 1986; Jaik y Tena, 1986).

Dependiendo de la forma como se realice el reventado, puede casi no haber pérdida de lisina, que de acuerdo con Bressani (1986), la pérdida es de 0.58 y 0.91%, y según Jaik y Tena (1986) es de 0.93%. Por otro lado, hay pérdidas considerables informadas por Bestchard *et al* (1981) 15%, 1987, Tovar y Carpenter (1982, citados por Soriano, *et al* 1987) 30%, Pant (1985) señala de 25 a 36% y Tena (1987) un 20, 38 ó 59%.

Se busca un alto volumen de reventado por dos razones: 1) El grano se hace más quebradizo y suave, favoreciendo un producto de mayor preferencia en el mercado, y 2) El reventado hace completamente comestible la semilla y aumenta su digestibilidad con respecto a la semilla cruda (Eldredge y Thomas, 1959).

El incremento de volumen de semilla reventada va de 390% (Jaik y Tena, 1986) hasta 1050% (Saunders y Becker, 1984 citados por Teutónico y Knorr, 1985).

Al parecer el alto volumen de reventado se atribuye al reducido tamaño de los granos de almidón, a su forma isodiamétrica, bajo contenido de amilosa, bajo poder de hinchazón, alta solubilidad, gran capacidad para retener agua y alto rango de temperatura de gelificación (Vázquez, *et al.*, 1987). También influye de manera importante la humedad de la semilla, el tiempo y condiciones de almacenamiento, la temperatura de reventado, la

madurez de la semilila y el fenotipo de la planta (Mac Masters *et al*, 1955; Vázquez, *et al*, 1987).

En una investigación se informa que con el reventador de aire caliente construido por Dayton Electric Mfo. Co. de USA, a 250 °C durante 5 a 10 segundos, se obtiene un buen reventado de amaranto y se mantiene la calidad y cantidad de proteína (Vázquez, *et al*, 1987). Posteriormente quedó demostrado que la mejor temperatura es de 220 °C para que exista el máximo de reventado conservando la cantidad y calidad de proteína, usando el mismo tipo de reventador (Salazar y López, 1989).

En maíz es donde más se ha estudiado el proceso de reventado (Arias, 1973; Roqueñi, 1971 y Rojo, 1972). Durante este proceso los granos (cariópsides) de maíz palomeros se inflan de 2 a 3 veces su talla normal justo antes de que el reventado ocurra (Brunson, 1955). El 14% de humedad es el óptimo para lograr el mejor reventado (Eldredge, 1949 citado por Jungenheimer, 1976).

Por otro lado, en los genotipos de maíz, las enfermedades, insectos y sequía, bajan la producción, afectan la calidad del grano y reducen la expansión del reventado (Jungenheimer, 1976).

Eldredge y Thomas (1959) hacen referencia a que el proceso de reventado en maíz no es una gran explosión, sino millones de diminutas explosiones, tantas como cada uno de los granos de almidón que se expanden y revientan. El reventado es afectado por el grosor o dureza de la matriz protéica que rodea al grano de almidón. Ellos señalan que la cantidad de expansión está determinada por el porcentaje relativo de almidón suave y duro que exista en el grano, aunado al contenido de humedad.

Textualmente Jungenheimer (1976) escribe que para maíz, "Weatherwax (1922) creyó que la habilidad de reventado estaba condicionada por la proporción relativa de endospermo vítreo, en donde los granos de almidón están embebidos en un material coloidal, elástico, el cual limita y resiste la presión de vapor generada dentro del grano hasta lograr una fuerza explosiva".

Cano (1973) escribe que "según Weatherwax (1922) el agua contenida en los granos de este polisacárido se evapora por efecto del calentamiento, por lo cual se crea una presión de vapor; esta presión no se transmite sino que queda confinada en los alveolos de proteína que contienen a los gránulos hacia un cierto límite de resistencia traspuesto, el cual, ocurre una liberación súbita, simultánea y violenta de los gránulos. Esta explosión en miniatura determina a la vez un considerable aumento del

tejido". Este investigador observó que las paredes celulósicas son destruídas debido a una completa obliteración de toda la estructura.

Una opinión contraria es la de Reeve y Walker (1969, citado por Cano, 1973), para quienes la estructura celular del endospermo de maíz se conserva a pesar de la expansión y que inclusive los granos de almidón no revientan, sólo gelifican.

Cano (1973) encontró que gran parte del tejido endospermico del maíz ya reventado, no es posible reconocerle las células ya que sufren deformación y destrucción de paredes, y al parecer aumentos en volumen. Sin embargo, el parénquima de ciertos lugares se conserva más o menos inalterado, pero en general su continuidad se pierde por la presencia de perforaciones o hendiduras en los límites de varias células, lo que sugiere que posibles espacios intercelulares estén vinculados en la formación de cavidades, a manera de vías de escape al vapor generado por el calentamiento. También esas perforaciones o hendiduras se pueden formar en otros sitios, a expensas de muchas células en cuyo caso sus límites son irregulares.

El mismo autor refiere que algunos fragmentos de paredes pueden localizarse en el interior de grietas o bien, adheridas a sus periferias, y que el lumen de una cavidad puede ser orbicular, elíptico, poligonal o de forma indefinida y su contorno está formado por restos de paredes intactas. Además sus diámetros son variables, desde unas micras hasta varios milímetros.

## 7. Germinación

Duffus y Slaughter (1985) consideran a la germinación como un proceso de cambio a partir de una pequeña estructura que vive con abastecimiento mínimo, a una planta que crece activamente y que debe de llegar a ser autosuficiente antes de que los materiales de reserva se terminen.

Resulta interesante que Derek y Black (1985) enfatizan que en la literatura científica, el término germinación es usado frecuentemente de manera vaga y algunas veces incorrecta, por ello aclaran su significado al decir que "La germinación empieza con la toma de agua por la semilla (imbibición) y termina con el inicio de elongación por el eje embrionario, usualmente radícula", por ello incluiría numerosos eventos que no son independientes, sino que se combinan en este proceso de germinación. Aclaran que "La germinación en sentido estricto no incluye crecimiento de plántula, el cual comienza cuando la germinación termina".

De acuerdo con Van Overbeek (1970, citado por Rojas y Róvalo, 1985 y por Rojas y Ramírez, 1987), la germinación en gramíneas involucra varias etapas: 1) El agua penetra la semilla, hidratándola, y la semilla se hincha. 2) El embrión sintetiza ácido giberélico que induce a la aleurona a sintetizar y secretar amilosa. 3) Por acción de esta enzima el almidón pasa a glucosa. 4) El embrión forma citocininas que junto con el ácido giberélico, induce la síntesis de otras enzimas y la aleurona pasa a proteína soluble. 5) El embrión se divide de manera activa y posteriormente la radícula rompe la testa y emerge. 6) Las células del endospermo y después las del embrión sintetizan auxinas bajo cuya inducción las células se alargan, se inicia la diferenciación de tejidos y el crecimiento direccional del tallo y la raíz.

Salisbury y Ross (1978) señalan que los fisiólogos de semillas consideran cuatro etapas durante el proceso de germinación: 1) La hidratación o imbibición, durante la cual el agua penetra el embrión e hidrata proteínas y otros coloides. 2) La formación o activación de enzimas que van a incrementar la actividad metabólica. 3) La elongación de las células radiculares, proceso seguido por la emergencia de radícula. 4) El subsecuente crecimiento de la plántula.

Hay que tener en consideración que el control de la formación de enzimas para la germinación por parte del ácido giberélico no es una regla general para todas las semillas. El mecanismo se conoce en gramíneas, en donde la giberelina es liberada por el embrión y de esta manera da la señal para la síntesis de amilasa y otras enzimas hidrolíticas como proteasas, nucleasas, y lipasas (Ray, 1975).

En relación a trabajos específicos de germinación en semillas de amarantos cultivados por sus granos, la literatura es muy pobre.

En un trabajo se vio la influencia de la germinación de *A. hypochondriacus* tipo Nepal 78 S-125 sobre las propiedades fisicoquímicas de la harina y la estructura microscópica del almidón, no evaluando el porcentaje de germinación (Paredes, *et al*, 1988). En semilla almacenada de la cosecha anterior en Tulyehualco, D.F., se corrió una prueba de germinación a 100 semilla de 25°C con dos repeticiones, obteniendo en ambos casos 95 y 97% de germinación (Alejandre y Gómez, 1986).

### III MATERIALES Y METODOS

#### 1. Trabajo de Campo

El 20 de junio de 1988 se sembró en los terrenos de CIFAP-Méx., ubicado en el municipio de Texcoco en el estado de México, semilla de *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo Mercado 153-5-3 producida y proporcionada por este centro de investigaciones. La localidad se encuentra a 2249 m.s.n.m. con clima templado y suelo arcillo-arenoso.

La temperatura y precipitación en la localidad, durante los meses en que el amaranto permaneció en campo se presentan en el cuadro 3.

A partir del día de la siembra, semanalmente se visitó el terreno de cultivo para observar el desarrollo del mismo.

Con la finalidad de conocer la fenología de la planta se anotó el número de días a: 1) Establecimiento de plántula. 2) Aparición de hojas cotiledonarias. 3) Inicio de floración (la palabra floración se usará solamente para las flores estaminadas, al igual que Jian-min, 1988). 4) Liberación de semilla madura hidratada.

Por otro lado, se registraron los aspectos reelevantes de todo el cultivo para conocer el ciclo agrícola. Se cuantificó a partir de siembra el número de días a: 1) Emergencia de plántula. 2) Período de floración (de inicio a final). 3) Cosecha.

Además, para apoyar la discusión sobre el ciclo de vida y ciclo agrícola, se consideró importante medir la altura total y longitud de panoja de 100 plantas tomadas al azar y casi secas.

##### 1.1 Muestreos

Cuando el cultivo inició la floración, se etiquetaron 20 plantas; las plantas escogidas tuvieron longitud de 9 a 10 cm de panoja. A partir de ese día se muestreó semanalmente (cada siete días) y al azar las panojas, hasta que se cosechó todo el cultivo, haciendo un total de 13 muestreos.

En cada muestreo se tomó la primer rama lateral a partir de la última hoja verde de la panoja (Fig. 1), fijándose en una solución modificada

de FAA (Roth, 1964). La segunda rama lateral se cortó y llevó en fresco (dentro de una bolsa de plástico con unas gotas de agua) al laboratorio para el trabajo anatómico.

## 1.2 Elaboración de ejemplares de herbario

Dos ejemplares de *A. hypochondriacus* L. tipo Mercado 153-5-3, están depositados en el herbario de la Facultad de Ciencias de la UNAM (FCME), éstos fueron identificados por el Ing. Eduardo Espitia del CIFAP-Méx.

## 2. Trabajo Morfológico

Las características externas de semillas maduras se observaron como microscopio estereoscópico. Para tener conocimiento del peso y dimensiones de la semilla recién cosechada se obtuvo: 1) Peso de 100 semillas (cuatro repeticiones). 2) Desviación estándar del diámetro y largo (el largo se considera como la distancia que cubre la línea recta del hilo hacia la parte media del embrión) de 40 semillas.

También se obtuvo el color de semilla con la ayuda del Atlas de colores de Smithe (1975) y con el Methuen Handbook of Colour de Kornerup y Wanscher (1978).

## 3. Trabajo Anatómico

La panoja de la alegría tiene un eje central y una gran cantidad de ramificaciones laterales (inflorescencias) de diferente tamaño (Fig. 3 y 4). Una ramificación lateral está formada por muchos glomérulos (Fig. 5). Un glomérulo presenta una flor central grande masculina, rodeada por dicasios de flores femeninas (Fig. 6 y 7).

### 3.1 Observación en fresco de almidón

Con ayuda de microscopio estereoscópico, una aguja y navaja, se cortó el glomérulo basal de la segunda rama lateral (inflorescencia) (Fig. 1). Con pinzas de punta fina se disectaron las dos flores pistiladas localizadas a los lados de la flor estaminada (Fig. 6), separando los ovarios. De éstos se tomó uno al azar, y cuando el tamaño de la semilla lo permitía, se le hizo un corte transversal en la parte media y se aplicó la prueba de Lugol (Johansen, 1940).

Prueba de Lugol (Johansen, 1940). Tíñe almidón de color azul a negro o de café a rojo.

1. En el tejido fresco aplicar 1 ó 2 gotas de solución de I<sub>2</sub>KI.
2. Después de unos segundos observar coloración.

### 3.2 Inclusión en parafina

Con la ayuda del microscopio estereoscópico, una aguja y una navaja, se cortaron los dos glomérulos basales de la primer rama lateral (inflorescencia) (Fig. 1). Con pinzas de punta fina se disectaron las dos flores femeninas localizadas a los lados de la flor masculina de cada glomérulo (Fig. 6). Los 4 óvulos o semillas se volvieron a fijar en FAA.

#### Técnica de inclusión

1. Quitar el FAA de los óvulos o semillas. Lavar dos veces con agua de la llave; 5 min. en cada cambio con ligera agitación.
2. Deshidratar con alcohol etílico al 30% y 50%, 15 minutos.
3. Pasar a eosina al 1% en etanol 70%, durante 24 horas (Engleman, E.M. 1989, comunicación personal).
4. Deshidratar con alcohol etílico al 84% y 95%, 15 minutos.
5. Deshidratar con etanol 100%, una hora.
6. Pasar a xileno, 30 minutos.
7. Pasar a xileno-parafina (1:1), 24 hr en estufa a 56 °C.
8. Dejar en parafina, 4 días a 56 °C.

Usando microtomo giratorio 820 American Optical, se hicieron cortes seriados de 5 a 10  $\mu$ m en plano longitudinal, para localizar el corte mediano. En un portaobjetos limpio se agregó un poco de adhesivo de Haupt (Johansen, 1940) y unas gotas de formaldehído al 5%. El portaobjetos se colocó en una plancha caliente a 50°C, hasta que se extendieron los cortes, después se dejó escurrir el exceso de formaldehído. Ya secos los portaobjetos, se guardaron en cajas para preparaciones.

Los cortes se desparafinaron con tres cambios de xileno y alcoholes graduales 100%, 96%, 70% y 50%, dando tres minutos en cada cambio.

Las tinciones aplicadas para elaborar preparaciones fijas fueron:

-Safranina-Verde fijo (S-V). (E. M. Engleman, 1989. Comunicación personal).



-Azul de Metileno y Rojo de Rutenio (Locquin y Langueron, 1985).

### 3.3 Pruebas histoquímicas en cortes desparafinados

- Acido peryódico-Reactivo de Schiff (APS) (Jensen, 1962). Tiñe polisacáridos insolubles de color rosa.
- Rojo O de aceite (E. M. Engleman, 1989. Comunicación personal). Tiñe cutícula y grasas.
- Azul de bromofenol mercúrico (Mazia, *et al*, 1953). Tiñe proteínas.
- Azul negro de naftol (E. M. Engleman, 1989. Comunicación personal). Tiñe proteínas.
- Lugol (Johansen, 1940). Tiñe almidón de color azul o negro, o de café a rojo.

### 3.4 Observación con luz polarizada

Se hizo la observación al microscopio con luz polarizada de las preparaciones teñidas con S-V, para corroborar la presencia de granos de almidón mediante la birrefringencia, a través del desarrollo de la semilla.

### 3.5 Observación con microscopio electrónico de barrido.

Diferentes estructuras fueron observadas con el microscopio electrónico de barrido (MEB) Joel 35 CX, en el Laboratorio de Microscopía Electrónica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.

El fruto abierto, semilla madura y semilla reventada fueron montados en sostenedores circulares de muestras, sujetados con cinta adhesiva y cubiertos con carbón y oro. Este material seco no se expuso a fijador. Después se observaron al MEB.

Para determinar la estructura (forma y tamaño) de los granos de almidón del amaranto, y compararla con maíz palomero, así como con la semilla de amaranto reventada se hizo lo siguiente: Semillas de amaranto y granos de maíz fueron cortados con navaja en plano transversal las primeras y longitudinal los segundos, y junto con semilla reventada fueron fijados 6 h en glutaraldehido 3% -paraformaldehido 1.5% en buffer S-collidina, pH 7.2 con sacarosa 0.1 M. Después se lavó con cuatro cambios de media hora en solución buffer collidina, pH 7.2 con sacarosa 0.05%. Posteriormente se postfijó 6 hr en 2% OsO<sub>4</sub> en frío. A continuación se dieron tres lavados de 20 minutos con el buffer y se deshidrató con alcoholes etanólicos graduales 30%, 50%, 70%, 80%, 96% y dos cambios en 100%

durante 30 minutos en cada uno (G. Laguna, 1989. Comunicación personal). Finalmente se enjuagó en acetona y llevó a secado por punto crítico.

Las muestras secas se seccionaron con una navaja y se montaron con cinta adhesiva en sostenedores circulares, y se cubrieron con carbón y oro. Los especímenes fueron observados al MEB.

#### **4. Determinación de Humedad, Reventado, Germinación y Almidón.**

##### **4.1 Materia prima**

El 22 de noviembre de 1988 se cosechó con trilladora el amaranto de los terrenos del CIFAP-Méx. El material trillado se introdujo a costales de polietileno, de aquí se pasó dos veces por una máquina limpiadora de semilla de amaranto. De la semilla limpia se tomaron 10 kilos y en bolsas de papel se llevaron al Laboratorio de Tecnología de Alimentos y sorgo del mismo CIFAP para la determinación de humedad, reventado y germinación.

##### **4.2 Determinación de humedad**

El porcentaje de humedad se obtuvo mediante el secado de dos gramos de semilla a 135°C durante 1 hr, realizando el cálculo mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso húmedo}} \times 100$$

Se obtuvo el valor promedio del porcentaje de humedad de dos repeticiones para corroborar los datos obtenidos.

##### **4.3 Lotes de almacenamiento**

Para observar el efecto del tipo de almacenamiento (diferentes humedades) a través del tiempo, sobre el reventado y la germinación, con la semilla cosechada se formaron cuatro lotes de almacenamiento:

Lote 1. 2 kg de semilla guardada en un costal de tela de manta (22 de Nov. de 1988).

Lote 2. 2 kg de semilla guardada en un costal de manta dentro de un desecador con gel de sílice seco (22 de Nov. de 1988).

Lote 3. 2 kg de semilla guardada herméticamente en un frasco (22 de Nov. de 1988).

Lote 4. 2 kg de semilla asoleada por dos días y guardada en costal de manta (24 de Nov. de 1988).

Se sacó semilla de los lotes de cada siete días, durante 63 días (diez fechas de muestreo), y se determinaron humedad, reventado y germinación.

Los lotes permanecieron a temperatura ambiente dentro del Laboratorio del INIFAP. Los resultados de la influencia de los tratamientos en humedad, reventado y germinación, fueron analizados estadísticamente mediante el ANVA según un modelo completamente aleatorio. Se aplicó la prueba de Tukey en la comparación múltiple de medias. Todo a una  $p < 0.05$ .

#### 4.4 Reventado

Se siguió la marcha ligeramente modificada usada en el INIFAP, para reventar semilla de amaranto. La marcha consistió en:

1. Pasar aproximadamente 50 g de semilla por un tamiz de malla cuadrada de 1.5 x 1.5 mm.
2. Pasar la semilla por un tamiz de malla circular de 1.0 mm.
3. Pesar 20 g de semilla (por duplicado).
4. Medir el volumen de la semilla en probeta de 50 ml.
5. Introducir la semilla al reventador de amaranto No. 4 construido por Dayton Electric Mfg. Co. de USA, a 220° C aproximadamente de 2 a 3 seg.
6. Medir el volumen de semilla reventada y no reventada (todo junto), dando una agitación manual a la probeta de 250 ml.
7. Pesar la semilla reventada y no reventada (todo junto) en un vaso de 250 ml.
8. Separar la semilla reventada de la no reventada mediante el tamiz de malla cuadrada de 1.5 x 1.5 mm.
9. Medir el volumen de semilla no reventada.
10. Pesar la semilla no reventada.

Se determinó en los lotes 1, 2, 3 y 4:

- a) Volumen de reventado (cm<sup>3</sup>).
- b) Volumen de expansión de reventado mediante la fórmula:

$$\text{No. Vol. expansión de reventado} = \frac{\text{vol. final semilla reventada}}{\text{vol. inicial de semilla}}$$

Se trabajó con 4 tratamientos de almacenamiento, 10 subtratamientos de tiempo y 2 repeticiones.

Para observar el efecto de reventado sobre la anatomía de la semilla, se fijó ésta en FAA, y se procesó mediante la técnica de inclusión en parafina (sección 3.2), sometiendo algunos cortes a todas las pruebas histoquímicas (sección 3.3). Las laminillas teñidas con S-V fueron observadas bajo luz polarizada.

#### 4.5 Porcentaje de germinación

Unidades de 100 semillas se pusieron a germinar en cajas petri, sobre doble papel absorbente (scottoallas jumbo) y tapadas con doble papel del mismo. Se sellaron con cinta para cubrir y se mantuvieron a 25°C en estufa durante 7 días. Se obtuvo el porcentaje de germinación directamente, tomando como criterio de germinación la emergencia de la radícula.

Se trabajó con 4 tratamientos (lotes de almacenamiento), 10 subtratamientos de tiempo (fechas de muestreo: día 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 y 63) y cuatro repeticiones por subtratamiento. La unidad experimental fue de 100 semillas.

#### 4.6 Determinación de almidón

Esta parte se realizó en el Laboratorio de Bioquímica Vegetal de la Universidad Autónoma Metropolitana de Iztapalapa.

Del tratamiento 1 (costal de manta) se fijó 20 g de semilla en FAA a los 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 y 63 días de almacenamiento.

La semilla se fijó en FAA para su procesamiento posterior. Después se preparó de la siguiente manera:

1. Quitar el FAA y lavar dos veces con agua de la llave, tres minutos en cada uno.
2. Lavar dos veces con agua destilada, 2 horas en cada lavado.
3. Dejar 12 horas en agua destilada.
4. Secar la semilla en estufa a 60 °C durante 24 horas.
5. Moler 2 g de semilla seca en el molino eléctrico tipo 4-041 Braun.

Después se aplicó la técnica de extracción de almidón proporcionada por Díaz-Pontones (comunicación personal), a partir de 1 g de semilla molida. Posteriormente se purificó el almidón mediante la formación del complejo almidón-butanol, según la metodología de Schoch (1940, citado por Díaz-Pontones, comunicación personal). A continuación se pesó 5 mg de almidón de amaranto, 5 mg de amilosa (Sigma), 5 mg de amilopectina (Sigma) y 5 mg de almidón (Merck), gelificando en KOH 0.5 N. Los tres últimos sirvieron para correr las curvas estándar.

A todas las muestras se les sometió a la técnica yodo espectrofotométrica, leyendo a la absorbancia de 660 nm para amilosa-I<sub>2</sub>, 620 nm para almidón-I<sub>2</sub>, y 540 nm para amilopectina-I<sub>2</sub>. Se tuvieron cinco repeticiones de cada corrida. Se determinó el espectro de absorción del almidón-I<sub>2</sub>, en las 10 fechas de almacenamiento. Se cuantificó el contenido de almidón-I<sub>2</sub>, en semilla fijada en FAA, y en 1 g de semilla sin fijar (26 de Junio de 1989).

## IV RESULTADOS

### 1. FENOLOGIA Y CICLO AGRICOLA

*Amaranthus hypochondriacus* es una hierba anual. Su ciclo fenológico duró 112 días (4 meses) desde el establecimiento de la plántula hasta la producción de semilla madura.

El establecimiento de la plántula, con dos hojas cotiledonarias, se presentó a los 10 días después de siembra. Posteriormente la planta desarrolló abundante follaje verde. A los 56 días después del establecimiento de la plántula, se presentó el inicio de floración en las flores masculinas basales de la panoja principal, y de aquí, tardó otros 56 días para producir las semillas maduras.

Hasta el momento no se tenía referencia a la duración de las etapas fenológicas de una planta de amaranto, en cambio es frecuente encontrar información sobre la duración total del ciclo agrícola. En este caso el ciclo agrícola de las plantas sometidas a un manejo temporalero con un solo riego de auxilio, tuvo una duración de 156 días (5 meses) desde siembra hasta cosecha, que se efectuó cuando las plantas estaban completamente secas (cuadro 4).

La altura de planta (gráfica 1) y la longitud de la panoja (gráfica 2) fueron heterogéneas. El mayor porcentaje de plantas tuvo una altura de 1.05 m. a 1.24 m.

### 2. DESARROLLO DE SEMILLA

#### 2.1 FLOR FEMENINA

La flor en anthesis presenta cinco tépalos y un pistilo formado por un ovario globoso, que contiene un óvulo en placentación basal (Fig. 16), con tres estigmas recorridos en su cara interna por abundantes tricomas pluricelulares, los cuales inician su diferenciación desde etapas tempranas en la formación del óvulo (Fig. 15).

#### 2.2 MORFOLOGIA EXTERNA DE FRUTO

El fruto es un utrículo (Fig. 10), fruto parecido a una cápsula con una sola semilla y que abre transversalmente por la parte media, quedando

unida la parte basal del pericarpio a los tépalos y desprendiéndose la parte apical, liberando así la semilla.

## 2.3 MORFOLOGIA EXTERNA DE SEMILLA

La semilla es opaca, de forma lenticular, de color crema No. 54 de Smithe (1975), que corresponde a la lámina 4 A3 amarillo pálido del Methuen handbook of colour (Kornerup y Wanscher, 1978). De largo tuvo 1.48 +/- 0.12 mm y de diámetro 1.16 +/- 0.10 mm. El promedio de peso de 100 semillas fue de 0.087 g (Fig. 2).

## 2.4 ANATOMIA

### 2.4.1. Ovulo

En una etapa temprana en la formación del óvulo, el primordio de éste surge como una protuberancia de tejido nucelar a partir de la placentia del ovario. Se observa una protodermis, la célula parietal hipodérmica y una célula grande con un núcleo conspicuo que corresponde a la célula madre de las megasporas en posición subhipodérmica, por ello, el óvulo es crasinucelado (Fig. 11). En este momento el primordio de óvulo inicia su curvatura.

A continuación se presenta una división periclinal en las células parietales y se notan dos células grandes producto de la primer división meiótica de la célula madre de las megasporas (Fig. 12).

Posteriormente se observan tres células que pudieran corresponder a la etapa de tétrada de megasporas en donde la cuarta célula estaría por debajo y no se aprecia, o bien, una célula producto de la primera división meiótica está lista para sufrir su segunda división, mientras que la otra ya se dividió (Fig. 13 y 14). En esta fase continúa la curvatura del óvulo (Fig. 15).

El óvulo, listo para ser fecundado, es de tipo campilótropo, bitégmico y funiculado (Fig. 16). Su nucela curva contiene un saco embrionario monospórico, formado por el aparato del huevo (una ovocélula y dos sinérgidas) localizando en la zona micropilar (Fig. 28 y 17), y una célula central grande probablemente con dos núcleos que están por fusionarse, apreciándose bien los nucleólos (Fig. 18, 19 y 20).

#### 2.4.2. Cubierta seminal

En el primordio del óvulo dos tegumentos surgen de la placenta y cubren todo el tejido nucelar; éstos son el tegumento interno y el externo (Fig. 11). Cada uno de ellos consiste sólo de dos estratos (Fig. 14), excepto en la parte del tegumento interno que forma al micrópilo, en donde existen 3 ó 4 capas de células (Fig. 28).

En sección longitudinal del óvulo en anthesis se aprecia la cubierta seminal que consta de cuatro capas: exotesta, endotesta, exotegmen y endotegmen. Cada una formada por células más o menos cúbicas (Fig. 21).

Cuando el embrión está en forma de corazón, se observa: 1) Exotesta con células grandes, extendidas, paralelas a la superficie de la semilla, con citoplasma, vacuolas y núcleo. 2) Endotesta de células grandes alargadas en sentido oblicuo. 3) Exotegmen con células chicas ligeramente extendidas en su eje paralelo a la superficie de la semilla. 4) Endotegmen de células parecidas a las del exotegmen (Fig. 22). La exotesta y endotesta presentan abundantes granos de almidón (Fig. 22, 23 y 51).

A continuación hay obliteración, de las células del exotegmen (Fig. 23). El resto de la cubierta tendrá por ello solo tres capas, que corresponden a exotesta, endotesta y endotegmen (Fig. 24).

En semilla madura la cubierta seminal está formada por una capa de exotesta, cuya pared externa presenta una matriz celulósica y estalactitas celulósicas. Está acompañada de endotegmen uniestratificado, existiendo entre ambas capas restos de paredes obliteradas de endotesta y exotegmen (Fig. 25). El endotegmen ha adquirido engrosamientos fibrosos en su pared (Fig. 25, 26 y 27).

#### 2.4.3. Región micropilar, hilar y calazal

El micrópilo es endóstomo, originado por el tegumento interno cuya proyección sale más allá del tegumento externo, encontrándose cerca del funículo (Fig. 28 y 33).

En etapas tempranas del desarrollo se observó la presencia de epístasis correspondiente a células nucleares conteniendo una masa granulosa probablemente de taninos condensados. El epístasis se localizó en la zona micropilar de la nucela y se presentó a través de siete cortes seriados de ocho micras cada uno (Fig. 29 y 31).



El haz vascular sube del funículo hasta la calaza, sin penetrar a la nucela (Fig. 29). En semilla madura se colapsan la calaza y el haz vascular (Fig. 30).

El pequeño hilo está formado por una masa de células colapsadas, distinguiéndose entre éstas los engrosamientos de los vasos de xilema (Fig. 30).

#### 2.4.4. Cutícula nucelar

A partir de etapas tempranas, es evidente la gruesa cutícula nucelar que envuelve por completo la nucela y la separa de la cubierta seminal (Fig. 32).

En etapa de embrión globular, la cutícula penetra en la epístasis a través de la nucela invaginada, recorriendo aproximadamente la mitad del tejido nucelar en dirección al embrión (Fig. 33).

La tinción para grasa evidenció las aristas de las células engrosadas, y anastomosadas en la zona de la calaza (Fig. 34).

### 2.5 EMBRIOGENESIS

El desarrollo estructural de la semilla a partir de óvulo en anthesis, dura de 14 a 28 días.

#### 2.5.1. Etapa temprana en el desarrollo del embrión

El suspensor presenta células producto de divisiones transversales. En la base de éste, se observó una célula grande, con mucho protoplasma preparándose para una división transversal de acuerdo a la posición del huso (Fig. 35 y 36).

En otra secuencia de cortes se hizo patente un suspensor curvo sin célula haustorial, rodeado por endospermo nuclear (Fig. 37, 38, 38, 40 y 41).

El cuerpo del embrión contiene una pared horizontal (Fig. 40). En el lado externo de ella hay dos núcleos grandes separados por una pared longitudinal (fig. 41). Ello demuestra que ambos planos de división se presentan al diferenciarse el cuerpo del embrión.

En una etapa posterior el cuerpo del embrión está octante en forma de embudo, rodeado por endospermo nuclear (Fig. 42). Después se observa la etapa de cuerpo del embrión globular (fig. 43).

La siguiente etapa es un embrión en forma de corazón de pocas células en el suspensor, con dos notorias zonas poco voluminosas que originarán a los cotiledones. Ahora el embrión está rodeado de endospermo celular (Fig. 44 y 51). Todo el embrión presenta cuerpos de proteína.

### 2.5.2. Embrión maduro

El embrión maduro es curvo y rodea el perispermo. Sus dos cotiledones abarcan casi la mitad de su cuerpo, y el eje radícula-hipocótilo ocupa la otra mitad (Fig. 46). Sin notorio el meristemo apical y el procámbium en hipocótilo y cotiledones (Fig. 45). La radícula del embrión tiene cofia (Fig. 47 y 48).

## 2.6. FORMACION DEL ENDOSPERMO

El desarrollo temprano del endospermo es de tipo nuclear (Fig. 49). Por el tiempo en que el cuerpo del embrión es globular el endospermo permanece en estado libre nuclear (Fig. 43).

Después de un tiempo los núcleos libres empezarán a rodearse por paredes celulares, iniciándose así la celularización del endospermo, que va de la parte central hacia los extremos del saco embrionario (Fig. 50, 51 y 52). Se observó acumulación de endospermo nuclear en el extremo calazal del saco.

En semilla madura sólo permanecen uno o dos estratos de endospermo cubriendo gran parte de la radícula (Fig. 47 y 48). También arriba de la punta de los cotiledones existen algunas células del endospermo (Fig. 53 y 56). Todas las células endospermicas son ricas en cuerpos de proteína (fig. 54).

## 2.7 PERISPERMO

La nucela formada por células parenquimatosas (Fig. 16, 31 y 32), origina el tejido de reserva llamado perispermo, que en la semilla madura se localiza en toda la parte central, rodeado por el embrión (Fig. 46, 47 y 56).

Las células perispérmicas observadas con el objetivo de inmersión, presentan forma isodiamétrica y gran cantidad de granulitos aglutinados de almidón (Fig. 55), que vistos al microscopio electrónico de barrido, exhiben una estructura poliédrica de caras lisas, de aproximadamente 1  $\mu$ m de diámetro (Fig. 57). Los granos tienen apariencia de cristales con ángulos similares entre diferentes lados, es frecuente la simetría hexagonal. Los granos de almidón del amaranto son pequeñísimos en comparación con los del maíz palomero (Fig. 58), que tienen un diámetro aproximado de 12  $\mu$ m.

## 2.8 HISTOQUIMICA

**Proteínas.** Con azul de bromofenol mercúrico el embrión globular tiñe ligeramente y cuando madura da una fuerte coloración, lo que indica abundante proteína. El endospermo en semilla madura reacciona de manera similar al embrión, y en ambos tiñen los cuerpos de proteína.

Con el colorante azul negro de naftol se detectó en semilla madura, la presencia de color azul, lo que quizás sugiere la existencia de proteína en exotesta. Así mismo se tiñó la matriz proteica en la que están los granos de almidón del perispermo.

**Lípidos.** A partir de etapas tempranas se distingue bien la cutícula nucelar que da reacción positiva ante esta prueba. El endotegmen con engrosamientos fibrilares tiñe con la misma intensidad de la cutícula.

**Carbohidratos.** Todas las paredes celulares durante el desarrollo tiñen de rosa, debido a la presencia de polisacáridos insolubles. La exotesta y endotesta de la cubierta seminal, cuando el embrión está en forma de corazón, presentan granos de almidón que adquieren el color rosa. Los pequeños granos de almidón del perispermo en semilla madura también toman este color.

### 2.8.1. Almidón

**Lugol.** En la prueba en fresco se observó una tinción café-rojiza en todas las etapas de los óvulos y semillas. Durante los primeros cuatro muestreos el colorante llenó todo el volumen de la semilla. Después, siempre se presentó el mismo color restringido al perispermo. El color café-rojizo indica abundancia de amilopectina en el almidón, clasificándose como de tipo "waxy" o ceroso.

Los granos de almidón de exotesta y endotesta, observados en cortes desparafinados teñidos con lugol, tiñen de azul, denotando la presencia de almidón de tipo normal.

El ovario que cubre al primordio de óvulo es rico en granos de almidón, al igual que los tépalos. Durante el desarrollo de la cubierta seminal, cuando el embrión está en etapa de corazón, la exotesta y endotesta tienen granos de almidón que producen la clásica cruz al ser observados bajo luz polarizada.

En semilla madura sólo se observa birrefringencia en la exotesta debido a su abundante celulosa. También brillan las paredes de la última capa del perispermo que colinda con la cutícula nucelar.

En los pequeños granos de almidón del perispermo, no se presentó la birrefringencia.

## 2.9 ANOMALIAS

Se obtuvo una secuencia de etapa temprana en el desarrollo del embrión, donde no se presenta el patrón descrito en esta tesis. El lugar del embrión está ocupado por una masa celular con abundantes núcleos conspicuos y vacuolas. Aquí hay variación temprana en los planos de división del suspensor y del cuerpo del embrión. En esta etapa el endospermo localizado en el saco embrionario es de tipo nucelar. No se sabe si pudiese corresponder a una semilla abortiva.

En una sola semilla madura se presentaron tres cotiledones, (Fig. 56).

## 3. EFECTOS DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLA

### 3.1 REVENTADO

#### 3.1.1. Efecto de recipiente de almacenamiento.

La comparación de medias entre tratamientos, demostró que el tratamiento 1 (bolsa de manta) y el 4 (sol y bolsa de manta), tuvieron un comportamiento similar en porcentaje de humedad, volumen y peso de semilla reventada, volumen y peso de semilla sin reventar. En cambio si hubo diferencia con el tratamiento 3 (frasco) y con el 2 (desecador), como se muestra en el cuadro 5.

### 3.1.2. Contenido de humedad

En la comparación de medias entre tratamientos, el tratamiento 1 (bolsa de manta) y el 4 (sol y bolsa de manta), presentaron estadísticamente la misma humedad de 8.3% a diferencia del tratamiento 2 (deseCADOR) que fue el más bajo con 7.0%, y del tratamiento 3 (frasco) que fue el más alto con 8.6% (cuadro 5 y 6).

En la gráfica 3 se observa que la semilla del desecador abatió a través del tiempo su contenido de humedad, y al final presentó el menor porcentaje de ésta, en cambio, la semilla del frasco tendió a conservar su humedad inicial.

Por otro lado, la comparación de medias entre las diez fechas de muestreo de semilla almacenada (cuadro 7), evidenció que a los 0 y 7 días, estadísticamente su humedad se conserva (8.4-8.9%), después ésta es diferente y disminuye (7.7-8.1%) de los 21 a los 63 días.

### 3.1.3. Volúmenes de expansión

De acuerdo a la comparación de medias, se obtuvo un volumen de reventado similar en todos los tratamientos, excepto para el desecador que presentó el menor valor (Fig. 59, cuadro 5). Sucede lo mismo en relación a los volúmenes de expansión (cuadro 8), en donde la semilla del desecador va disminuyendo gradualmente su volumen a través del tiempo, como se observa en el histograma (gráfica 4).

### 3.1.4. Anatomía e histoquímica de semilla reventada

La semilla reventada no logró expandirse a tal grado de perder la cubierta seminal como se aprecia en las figuras 60,61, 62 y 63.

La cubierta seminal fue fraccionada al igual que otras partes de la semilla y bajo el microscopio compuesto fue posible identificar diferentes estructuras como: Exotesta, con restos de paredes obliteradas de endotesta; Cutícula nuclear con endotegmen; Cutícula nuclear con endospermo (Fig. 66); Embrión y restos celulares de perispermo (Fig. 65). Radícula con células ligeramente aplastadas y separadas entre sí (fig. 66 y 67). Paredes rotas y contenido del perispermo con apariencia gelatinosa que tiñe con la prueba de proteínas, confirmando así la existencia de matriz proteica.

Se vieron al microscopio electrónico de barrido, células de diferente tamaño infladas y regiones donde había orificios y muchas paredes celulares (Fig. 61, 62 y 63).

El comportamiento de las diferentes estructuras ante las pruebas histoquímicas fue similar al que se presenta en semilla normal.

El perispermo en semilla reventada sin fijar dio color café oscuro en presencia de Lugol, señalando abundancia de almidón. Las paredes rotas del perispermo con luz polarizada brillaron, debido a la celulosa.

Es importante enfatizar la presencia de cutícula y endotegmen lipídicos que se conservaron a pesar de haber sido sometidas a 220°C (Fig. 66).

### 3.2. GERMINACION

Al destapar las cajas de petri para hacer el conteo de semillas germinadas, se encontró heterogeneidad, ya que había semillas hinchadas; plántulas con hipocótilo y dos cotiledones laminares; semillas sólo con radícula de diferentes longitudes (Fig. 68).

Fue evidente al comparar las medias entre tratamientos, que todos son iguales con 44-51% de germinación (cuadro 5). Cuando se compararon las medias para fechas de muestreo, se presentó que estadísticamente no hay diferencia significativa entre 63 días y 0 días de almacenamiento, a pesar de que se tiene 71.6% contra 51.2% de germinación respectivamente (cuadro 7). Se encontró que no hay patrón definido entre las diez fechas de almacenamiento en cada uno de los tratamientos (cuadro 9, gráfica 5).

Un mes antes de la cosecha (20 de octubre de 1988), en el campo de cultivo se vio que en el surco habían plántulas de amaranto, no sabiendo si provenían de amarantos silvestres o del propio cultivo, por ello, se procedió a determinar el porcentaje de germinación de la panoja muestreada por triplicado de 100 semillas por caja de petri, resultando una germinación promedio de 48.3%. Por lo anterior no hay latencia.

### 3.3 ALMIDON

#### 3.3.1. Contenido de Almidón

Se encontró que la cantidad de almidón en semilla almacenada y fijada de la bolsa de manta (tratamiento 1), fue muy bajo, de 0.239 g a 0.118 g por gramo de semilla (cuadro 10).

En semilla sin fijar se cuantificó 0.57 g por gramo de semilla, es decir, más del doble que en semilla fijada.

#### 3.3.2. Contenido de Amilosa y Amilopectina

El espectro de absorción mostró que su máximo se localiza a 532 nm, lo que significa que es un almidón muy rico en amilopectina (gráfica 6), prácticamente la curva se encima a la curva estandar de amilopectina. La misma respuesta se obtuvo en todas las fechas de muestreo.

## V. DISCUSION

### 1. CICLO DE VIDA Y CICLO AGRICOLA

La planta tardó 56 días a partir del inicio de floración para dar semillas que estén maduras, liberándose de los utrículos. Es importante señalar que en el trabajo anatómico se encontró que la semilla tardó para estar completa desde el punto de vista estructural, de 14 a 28 días. El resto del tiempo que permanece en la planta es probable que lo ocupe para madurar bioquímicamente y deshidratarse. Durante este tiempo también el fruto sufrirá cambios y finalmente abrirá y liberará la semilla.

Herrera (1989) sembró semillas de *Amaranthus hypochondriacus* proveniente del Campo Agrícola del ITESM C.Q., en Salvatierra Guanajuato, y encontró 14 días de periodo de floración. En cambio, en Chapingo con el genotipo Mercado 153-5-3, el periodo fue de 35 días. La diferencia en el número de días del periodo, puede deberse al diferente genotipo de semilla, así como a la influencia del clima y suelo de las localidades.

La duración del ciclo agrícola es similar a la presentada por diversos autores para el cultivo de la alegría (Herrera, 1989; Suárez y Cervantes, 1987).

Existen varios factores que seguramente influyeron en la duración del ciclo de vida de la planta y en el comportamiento agrícola del cultivo. Estos son:

1. Tipo de inflorescencia. El amaranto presenta una inflorescencia principal (panoja) con gran número de flores, cada una en diferente estado de desarrollo. Por ello, cuando las flores de la base están abiertas, las flores de las puntas permanecen cerradas. Ello significa que se cosechó en función de tener madura la mayoría de la semilla en el cultivo.

2. Criterio de madurez óptimo para cosecha. En relación con el estado de madurez óptimo para la cosecha, por un lado Salazar y López (1989)



encontraron en Morelos que "el 100% de los productores entrevistados utilizaban como el indicador más confiable para encontrar el momento más adecuado de cosecha cuando al frotar la panoja con las manos la semilla se desprende fácilmente. Cuando ocurre esto se observa la desaparición del estado lechoso y la aparición del aspecto cristalino en el centro de la semilla... Los agricultores asocian la presencia de "ojito" cristalino con un estado de madurez óptimo".

Por otro lado, Alvarez (1989) informa que en Tulyehualco y Tlaxcala los campesinos consideran a la semilla madura y lista para cosecha cuando "se frota entre las manos una pequeña parte de la inflorescencia, si espina y las semillas se desprenden fácilmente, se podrán segar. Sólo cuando la semilla no presente "agüita u ojo" que corresponde a la parte central cristalina y blanda, se podrá cosechar".

En campo se consideró este último criterio de madurez para cosecha, observando que pocas plantas lo presentaban a los 4 meses, en cambio la mayoría del cultivo estuvo completamente seco a los 5 meses, teniendo el follaje de las plantas durante este mes diferentes tonalidades verde-amarillentas.

3. Efecto de helada temprana. Reyna (1986) afirma que las heladas tempranas afectan poco el grano. Casi a mediados del periodo de floración (10 de septiembre) se presentó una helada temprana y no se descarta la posibilidad de que haya afectado el desarrollo de las plantas, ya que las puntas de las inflorescencias se observaban "quemadas".

4. Material genético. El material genético utilizado en la presente investigación, no resultó todo lo homogéneo que se esperaba respecto a la altura de la planta (gráfica 1) y longitud de panoja (gráfica 2). La altura de planta osciló de 65 cm a 1.64 m; teniendo el 43% de las plantas una altura en el rango de 1.05 a 1.24 m. Por otro lado, la longitud de la panoja varió de 28 cm a 61 cm., existiendo una relación inversa entre altura de planta y longitud de panoja.

De todo lo anterior se desprende la necesidad de que los fitomejoradores sigan trabajando de manera interdisciplinaria, a fin de lograr mayor homogeneidad en altura y longitud de panoja, lo que sea más conveniente desde el punto de vista agrícola. Además, también sería deseable que buscaran la indehiscencia del fruto para evitar pérdida de semilla, por supuesto, sin descuidar el aspecto calidad de ésta. Es probable que de esta manera el ciclo de vida de plantas individuales y el ciclo agrícola del cultivo sería parecido y además, se incrementaría el rendimiento de semilla.

## 2. DESARROLLO DE SEMILLA

El óvulo de *Amaranthus hypochondriacus* es similar al de *Amaranthus leucocarpus* estudiado por Sebastián y Desphande (1974), en lo referente a que ambos son óvulos bitégmicos, crassinucelados y con micrópilo endóstomo.

Al comparar el óvulo de *Amaranthus hypochondriacus* con la descripción hecha por Kajale (1940) al óvulo de *A. viridis*, se observa que son muy parecidos, excepto que esta última especie presenta un espacio de aire localizado entre los dos tegumentos en etapa de fecundación, espacio que desaparece durante el desarrollo del embrión. El espacio de aire parece ser característico de las Centrospermae y se ha informado para Chenopodiaceae, Portulacaceae y Cactaceae (Bhargava, 1936; Netolitzky, 1926 y Neumann, 1935, citados por Kajale, 1940), no encontrándose en *Amaranthus hypochondriacus*.

De acuerdo a la embriología de Bhojwani y Bhatnagar (1974), *Amaranthus hypochondriacus* presenta un saco embrionario monospórico, debido a que es una megaspora la que da origen a éste.

Sebastian y Desphande (1974) describen para *Amaranthus leucocarpus* un saco embrionario tipo Polygonum en el que los núcleos polares se fusionan en la parte media del saco, siendo clara la presencia de antípodas que persistirán todavía cerca del estado de cuatro células del

endospermo. El mismo tipo Polygonum se ha informado para *Celosia cristata*, otra Amaranthaceae (Aruna, 1968), y para *A. viridis* (Kajale, 1940).

En *Amaranthus hypochondriacus* se siguieron dos secuencias de cortes completas del saco embrionario, y se encontró solamente el aparato del huevo acompañado por una célula central con dos núcleos grandes, ésto hace suponer que las antípodas quizás degeneren antes de la apertura de la flor y por ello no se observaron. Este supuesto se apoya en hallazgos de autores que han descrito la presencia de antípodas, en diferentes amarantáceas (Joshi, 1935; Kajale, 1935, 1937. citado por Sebastian y Desphande en 1974; Kajale, 1940). Arunda (1968) señala que las antípodas al igual que las sinérgidas pueden degenerar tempranamente como sucede en *Celosia cristata*.

Sin embargo. el hecho de haber observado el aparato del huevo y una sólo célula central sugiere también la posibilidad de que el saco embrionario sea de tipo Oenothera. Este tipo de saco embrionario lo informan Bhojwani y Bhatnagar (1974) como exclusivo de Onagraceae, y aclaran que se puede presentar como anomalía.

El desarrollo de la testa (exotesta y endotesta) coincide con la descripción hecha por Suárez y Engleman (1980). Estos autores aplicaron pruebas histoquímicas para detectar lignina, celulosa, hemicelulosa, cutícula, taninos, substancias pécticas y polisacáridos.

El endotegmen con engrosamientos fibrilares corroboran la afirmación de Kowal (1954): "El tegmen de las semillas del género *Amaranthus* L. tienen en las paredes internas de las células, bandas que son características de las Centrospermae".

La semilla madura de *Amaranthus hypochondriacus* presenta una cubierta seminal de dos capas: exotesta y endotegmen. En *A. cruentus* también es de dos capas: pero no se especifica cuál es su origen (Irving y Becker, 1985). En el caso de *A. caudatus*, su cubierta seminal es de tres capas: exotesta, endotesta y endotegmen dado que el exotegmen se oblitera (Woodcock, 1931). En vista de lo anterior, sería conveniente seguir

estudiando la ontogenia de las cubiertas seminales de otras especies con el propósito de aportar elementos que apoyen la taxonomía.

La presencia de la cutícula nucela invaginada en la zona micropilar (fig. 33), sugiere que quizás existe para sellar la entrada a otros tubos polínicos; de éste no se encontró referencia en la literatura consultada.

En la escasa literatura se hace referencia al desarrollo del embrión de *Gomphrena celosioides* Marth, una amarantácea que en proembrión de dos células, su célula apical se divide transversalmente para dar el tipo Solanad (Padhye, 1962 citado por Corner, 1976 y por Sebastian y Desphande, 1974). En otros, como de *Celosia cristata* y *Aerva tomentosa*, se presenta el tipo Chenopodiad (Aruna, 1968; Sachar y Murgal, 1958). En el caso de *Amaranthus hypochondriacus* no se observaron suficientes cortes en etapas iniciales, por lo que el tipo de desarrollo del embrión no se pudo determinar.

Para Corner (1976) el óvulo y la semilla de las Amaranthaceae es "esencialmente como las Chenopodiaceae", siendo esto confirmado por *Amaranthus hypochondriacus* en las diez características siguientes:

1. Ovulo campilótrofo, solitario, basal, bitérmico y crasinucelado.
2. Tegumento externo e interno de dos células de grosor.
3. Micrópilo endóstomo.
4. Forma lenticular de la semilla.
5. Perispermo amiláceo.
6. Cubierta seminal madura formada de exotesta y endotegmen.
7. Estalactitas en la pared externa de la exotesta.
8. Desarrollo de endospermo tipo nuclear.
9. Embrión curvo.
10. Endospermo alrededor de la radícula.

El embrión globular y en etapa de corazón de la especie aquí estudiada es similar a la presentada en esquemas para *A. leucocarpus* por Sebastian y Desphande (1974).

El embrión maduro curvo de amaranto fue denominado por Kajale (1940), en *A. viridis* con el nombre de embrión anular, señalando que es característico de las *Amaranthaceae*.

*Amaranthus hypochondriacus* al igual que *Amaranthus cruentus* estudiado por Irving y Becker (1985), presenta en la semilla madura el embrión con endospermo arriba de la punta de los cotiledones y de la radícula, a diferencia de *A. viridis* que presenta una capa de endospermo rodeando el embrión casi por completo (Kajale, 1940). Al igual que en *A. cruentus* (Irving y Becker, 1985), en *A. hypochondriacus* el endospermo es rico en cuerpos de proteína. Kajale (1940) considera que el desarrollo de endospermo libre nuclear es característico de los miembros de *Amaranthaceae*.

Woodcock (1931) en *Amaranthus caudatus* y Kajale (1940) en *A. viridis* observaron que el endospermo libre nuclear empieza a ser celular en la parte micropilar del saco embrionario y a los lados, en la región calazal, permanecía en condición libre nuclear por un tiempo. En *A. hypochondriacus*, el endospermo permanece en condición nuclear por un tiempo tanto en el extremo calazal como en el micropilar.

En *Aerva tomentosa* (Sachar y Murgal, 1958) y *Celosia cristata* (Aruna, 1968), el endospermo libre nuclear inicia la formación de paredes en la etapa de embrión globular, sucediendo lo mismo en *A. hypochondriacus*.

En la mayoría de los trabajos sobre almidón de *A. hypochondriacus*, se informa la presencia de granos de almidón con 1 a 3  $\mu\text{m}$  de diámetro (Okuno y Sakaguchi, 1981, 1982, 1984; Becker *et al*, 1981; Lorenz, 1981; Sugimoto, *et al*, 1981). El diámetro encontrado en el presente trabajo (1  $\mu\text{m}$ ) cae dentro de este rango.

Los granos de almidón son pequeños (1  $\mu\text{m}$ ) en comparación con los granos amiláceos convencionales que refiere Fahn (1974): tubérculo de papa de 70 a 100  $\mu\text{m}$ , grano de trigo 30 a 40  $\mu\text{m}$  y grano de maíz de 5 a 30

um. Siendo también el más pequeño en comparación con el de otras plantas (Radley, 1976).

El microscopio electrónico de barrido permitió apreciar que los granos amiláceos del perispermo son poliédricos de superficies lisas, similares a los observados por Paredes, *et al* (1988).

El pequeño tamaño de los granos, aunado al aspecto cristalino y coloración café rojiza ante el Lugol, son indicadores de su alto contenido de amilopectina. Sugimoto, *et al*, 1981 informaron 100% de amilopectina en el almidón de *Amaranthus hypochondriacus*.

Debido al pequeño tamaño de los granos de almidón del perispermo, no se obtuvo la birrefringencia bajo luz polarizada, sin embargo la presencia de un almidón rico en amilopectina quedó confirmada con el lugol al dar una coloración café-rojiza.

Es interesante el hecho de que, durante el desarrollo de la cubierta seminal, se presente en exotesta y endotesta almidón de tipo normal que tiñe con Lugol de color azul y por otro lado, que el perispermo tiña de color café-rojizo siendo almidón tipo "waxy" o ceroso.

Por ser semillas opacas y dar color café-rojizo con  $I_2KI$ , se clasifican como semillas de almidón tipo "waxy" o ceroso con altos contenidos de amilopectina (Okuno y Sakaguchi, 1981, 1982 y 1984; Kintner, 1986).

Respecto al tamaño y peso de semilla, éste fue ligeramente mayor al señalado en trabajos previos para la misma especie (Paredes, *et al*, 1988; Herrera, 1989).

El endospermo amiláceo en maíz se ha clasificado en dos tipos y cuya proporción cambia dependiendo de la variedad: 1) Endospermo harinoso con células prominentes, granos de almidón grandes y redondos, presencia de matriz proteica que se rompe durante el secado para formar hoquedades que dan una apariencia blanca (Wolf *et al*, 1952 citado por

Sanabria, 1986). 2) Endospermo vítreo con matriz protéica densa que no se destruye con el secado y tiene mayor porcentaje de proteína que el harinoso (Hinton, J. 1953, citado por Sanabria, 1986). En el caso de amaranto, su perispermo se puede clasificar como de tipo vítreo.

Si se considera la clasificación por textura del endospermo de maíz, propuesta por Cano (1973), el perispermo del amaranto se ubicaría dentro de textura amilífera reticular, que corresponde en la terminología usual a cristalina o everta.

### 3. ALMACENAMIENTO DE SEMILLA

A pesar de haber diferencia estadísticamente significativa en el contenido de humedad en semilla de los tratamientos 1 (costal) y 4 (sol y costal) con respecto al 3 (frasco), esta no se reflejó en el volumen de reventado, siendo igual para los tres tratamientos (cuadro 5). Probablemente se debió a que presentó este último sólo 0.3% menos humedad (cuadro 5 y 6).

Sin embargo el mayor valor numérico en volumen de reventado (135 cm<sup>3</sup>) lo obtuvo la semilla del frasco (trat. 3), (recordar que estadísticamente fue igual al trat. 1 y 4), lo cual confirma lo encontrado por Salazar y López (1989) en *A. cruentus*, de que a mayor humedad dentro de ciertos límites, es mayor el volumen de reventado. Así la semilla del desecador (trat. 2) presentó menor humedad (7.0%) y por ende, mayor volumen y peso de semilla sin reventar (cuadro 5). Desde este punto de vista el mejor recipiente de almacenamiento fue el de vidrio.

Como era lógico, el volumen de expansión se comportó similar al volumen de reventado, habiendo únicamente diferencia en la semilla del desecador (trat. 2), que tuvo menor número de volúmenes de expansión (cuadro 8 y gráfica 4).

Fue interesante encontrar que la semilla recién cosechada presentó 8.9% de humedad y 5.07 volúmenes de expansión, y a los 63 días, el rango de volúmenes de expansión para los tratamientos 1 (costal), 3

(frasco) y 4 (sol y costal) fue de 5.34-5.65, con un rango de humedad de 8.1 a 8.6% (cuadro 6 y 8). Ello significa que la semilla de *A. hypochondriacus* tipo Mercado 153-5-3 al ser cosechada tiene una humedad que le permite reventar, y que almacenada por cualquiera de los tratamientos 1, 3 y 4 mantendrá durante dos meses el mismo volumen de reventado y volúmenes de expansión.

Aún así, se considera que la semilla de amaranto deberá de acondicionarse de 12 a 14% de humedad para obtener el máximo de reventado que es de 9.5 volúmenes de expansión sin detrimento de la proteína (Salazar y López, 1989).

En relación al mecanismo de reventado, el hecho de que la cutícula nucelar y el endotegmen se conserven a pesar de haber sido sometidos a 220°C, sugiere que posiblemente estos funcionan como una doble capa que encierra el embrión y el perispermo, semejando una doble bolsa que hará que el agua del almidón no se pierda con facilidad, sino al contrario, que el vapor de agua aumente cada vez a mayor presión durante el calentamiento. Así, fue sugerido para maíz por Weatherwax (1922, citado por Cano, 1973), respecto a que el agua contenida en los granos de almidón se evapora por acción del calentamiento, con lo cual se crea una presión de vapor que queda confinada en los "alveolos de proteína" (que correspondería a la matriz protéica) que contienen los granos, hacia un cierto límite de resistencia. Traspuesto éste, hay una liberación súbita y violenta de los granos que provocaría un volumen mayor y por consecuencia se llegaría a la ruptura de paredes debido a la explosión.

La existencia de una matriz protéica en amaranto apoya la hipótesis de Eldredge y Thomas (1959), respecto a que ésta juega un papel directo en el proceso de reventado. Esto también es apoyado por Cano (1973) en maíz.

Por otro lado, no todas las células sufrieron explosión, ya que en la fotomicrografía del MEB se observan algunas células incrementadas en volumen, seguramente porque los granos amiláceos no revientan, únicamente gelifican. Informe similar lo hace Reeve y Walker (1969,



citados por Cano, 1973), cuando expresan que la estructura celular del endospermo del maíz se conserva a pesar de la expansión y que los granos de almidón no revientan sólo gelifican.

En resumen, se puede decir que en el mecanismo de reventado del amaranto, algunas células que no explotan sólo gelifican su almidón e incrementan volumen, otras, debido a la mayor presión de vapor sostenida por la matriz protéica se llegan a la explosión y ruptura celular.

La semilla sin fijar presentó 0.57 g de almidón por gramo de semilla, es decir, el 57% de ésta es almidón, valor cercano al informado para la misma especie por Becker, et al, (1980, 1981), y dentro del rango de 50-70% encontrado por Sugimoto *et al*, (1981).

Por el contrario, en semilla fijada se tuvieron valores del 12% al 24% de almidón, que están por debajo del 57% de semilla sin fijar. Este menor porcentaje pudiera deberse a dos causas:

1. El fijador. Las muestras permanecieron 7 meses en medio ácido (FAA), facilitando la hidrólisis del almidón y reflejándose en su decremento.
2. Punto de Gelificación. La semilla fijada fue lavada y posteriormente secada a 60°C, existiendo la posibilidad de que parte del almidón haya alcanzado su punto de gelificación y por ende se haya perdido durante la marcha de extracción. Esta posibilidad existe a pesar de que los rangos de temperatura de gelificación escritos para la especie *A. hypochondricus* con almidón "waxy" o ceroso, son superiores: 62-65°C (Okuno y Sakaguchi, 1981), 62-68°C (Lorenz, 1981), y de 63-78°C (Tomita *et al*, 1981).

Independientemente de la cantidad de almidón encontrada en semilla almacenada, fue importante conocer que en *A. hypochondriacus* L. tipo Mercado 153-5-3, existe almidón tipo "waxy" o ceroso.

Tomita *et al* (1981) señalan que en gramíneas como cebada, maíz, mijo, arroz y sorgo, es común encontrar el mutante "waxy" o ceroso, siendo poco frecuente en plantas de otras familias. Enfatizan que esos mutantes producen granos de almidón en el endospermo y en el polen que se tiñen de café-rojizo con solución de yodo. Consideran al almidón como

tipo 2, según la clasificación que maneja Kintner (1986), dado que es un mutante de genotipo recesivo con abundante amilopectina.

Este último hecho se refleja en el espectro de absorción (gráfica 6), cuyo pico se localiza a 532 nm, siendo parecido al encontrado en *A. hypochondriacus* tipo "waxy" o ceroso por diversos autores: 537.5 nm (Okuno y Sakaguchi, 1981), 521-529 nm. (Tomita *et al*, 1981), 530-540 nm (Sugimoto, *et al*, 1981) y 538-540 (Okuno y Sakaguchi, 1984). En todos se cuantificaron de 0.0-0.3% de amilosa, hasta 100% de amilopectina. Comportamiento similar está informado para maíz y arroz ceroso o waxy (Sugimoto, *et al*, 1981).

En algunos trabajos se considera que "en adición a la cantidad y calidad de proteína en la semilla, *Amaranthus hypochondriacus* tiene potencial como recurso concentrado de amilopectina" (Saunders, 1984; Betschart, *et al*, 1980).

Es lógico pensar que se le pudiera dar a este amaranto un uso similar al maíz ceroso (waxy), que fue desarrollado como cultivo especial para usarse en pegamentos y otros usos industriales que requieren de almidón de cadena ramificada (Jugenheimer, 1981). Asimismo se conoce el uso de la semilla de *A. hypochondriacus* en la industria de la elaboración de cerveza (Sauer, 1967).

Respecto a la germinación, los datos presentados en esta investigación son válidos de acuerdo a la metodología seguida, sin embargo, deberán considerarse con cautela tomando en cuenta que los porcentajes pudieran ser mayores. Esto se apoya en que por curiosidad, se dejaron las cajas de petri de la última fecha de muestreo (63 días de almacenamiento) con las semillas que no habían germinado y dos días después, otras ya estaban germinadas.

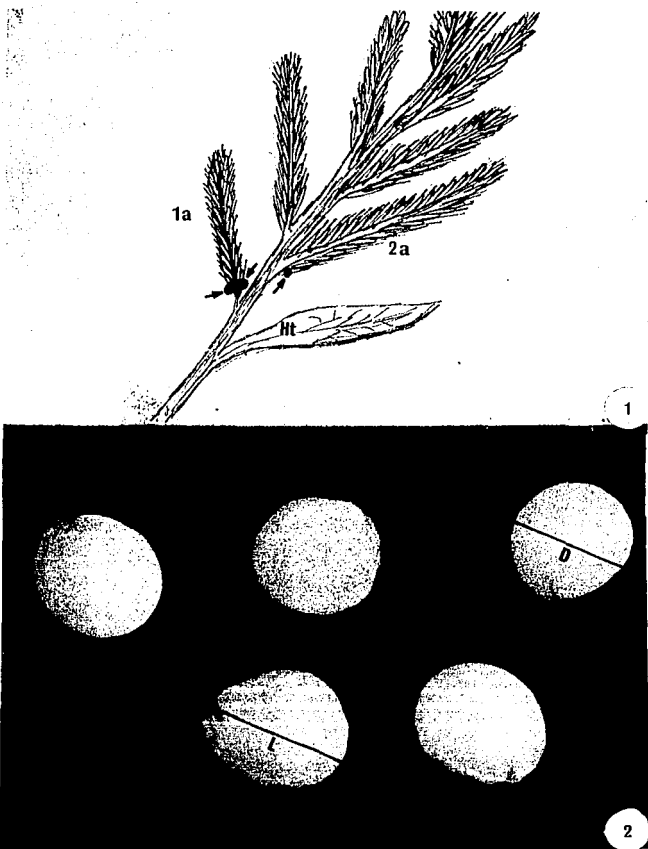
Dado que se obtuvo un 48.3% de germinación un mes antes de la cosecha, y el encontrar que la comparación de medias entre tratamientos (41-51%) son iguales, llega a pensar que la especie aquí estudiada no tiene problemas de latencia, lo que es idóneo desde el punto de vista agronómico.

Sin embargo, es deseable que se tengan porcentajes de germinación mayores, por lo que las investigaciones sobre germinación deberán de continuarse.

# LAMINAS

## LAMINA I. PANOJA Y SEMILLA

- Fig. 1. Muestreo de panoja. Primer inflorescencia (1a).  
Segunda inflorescencia (2a). Hoja terminal (Ht).  
Glómérulos muestreados (flechas).**
- Fig. 2. Semilla de amaranto. Largo (L), Diámetro (D).  
20 X.**



## LAMINA II. ESTRUCTURA DE PANOJA

Fig. 3. Panoja. Ramas laterales (flechas).

Fig. 4. Ramas laterales de diferentes tamaños.

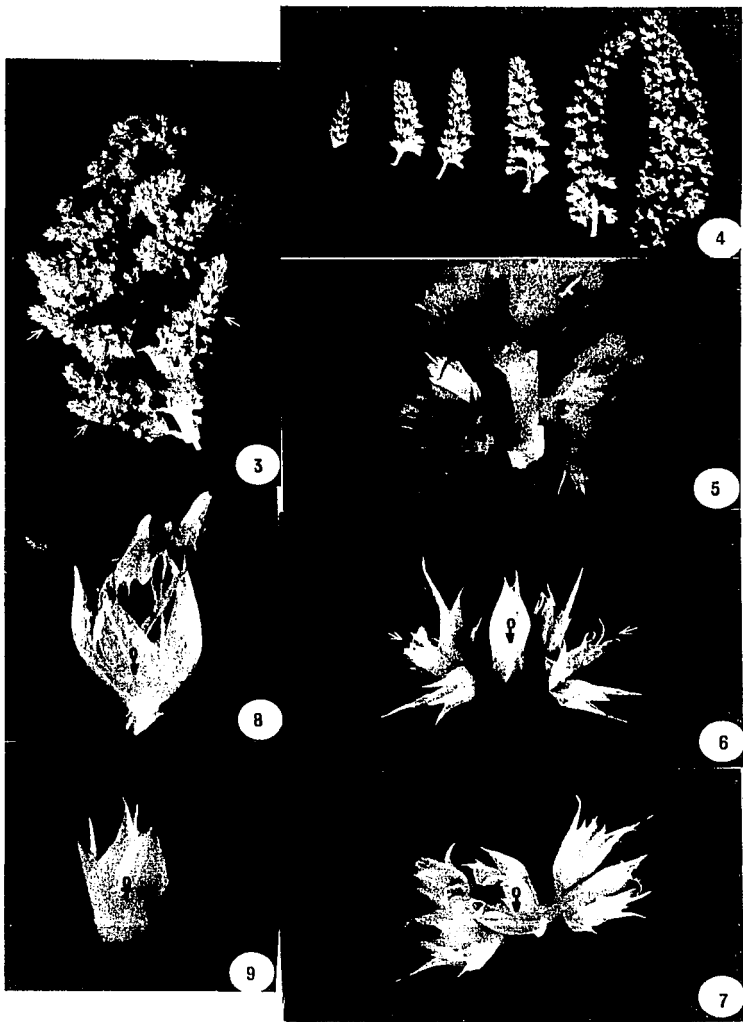
Fig. 5. Rama lateral. Glomérulo (g). 2.5 X.

Fig. 6. Glomérulo. Flor masculina cerrada (♂). Flores femeninas (flechas). 3 X.

Fig. 7. Glomérulo. Flor masculina abierta (♂). 3 X.

Fig. 8. Flor masculina (♂). 4 X.

Fig. 9. Flor femenina (♀). 4 X.





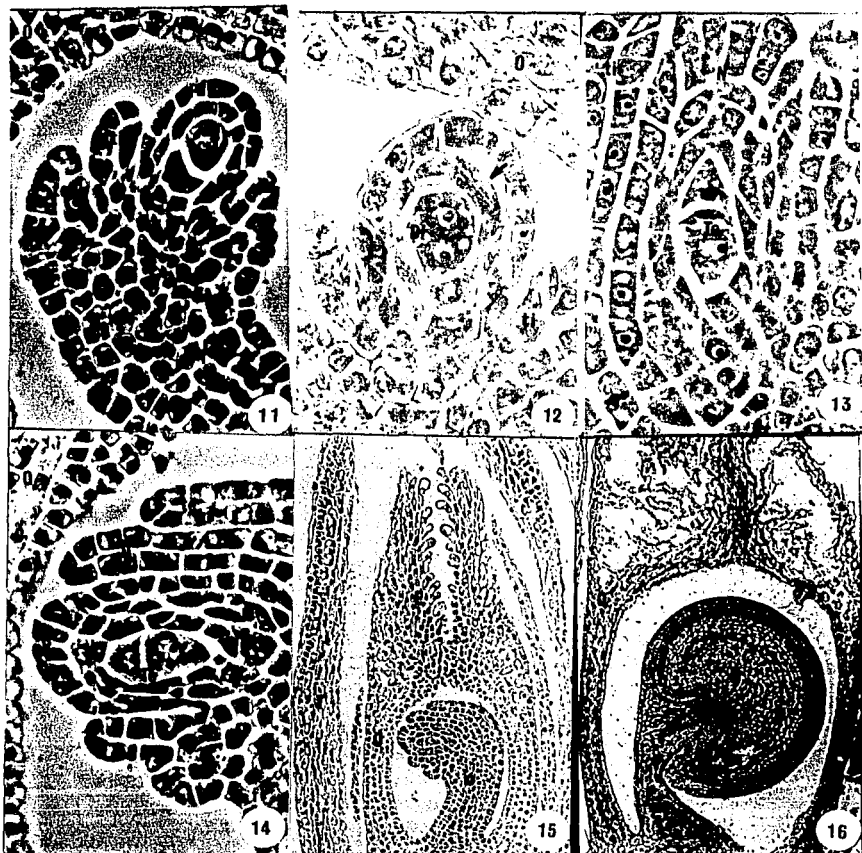
**LAMINA III. FRUTO**

**Fig. 10. Fruto con una semilla. Fruto (F). Semilla (s). Tépalos (T).  
MEB. 22 X.**



#### LAMINA IV. DESARROLLO DEL OVULO

- Fig. 11. Corte long. etapa temprana en la formación del óvulo. Protodermis (P). Célula parietal (cp). Célula madre de la megaspora (CM). Primordio de tegumento interno (ti). Primordio de tegumento externo (te). Funículo (f). Ovario (O). 256 X. Contraste de fase.
- Fig. 12. Corte long. etapa temprana en la formación del óvulo. Protodermis (P). Célula parietal en división periclinal (flecha). Diada (Di). Primordio de tegumento interno (ti). Ovario (O). 400 X. Contraste de fase.
- Fig. 13. Corte long. etapa temprana en la formación del óvulo. Tegumento interno (ti). Nucela (N). Tétrada probable (Te). 400 X. Contraste de fase.
- Fig. 14. Corte long. etapa temprana en la formación del óvulo. Tegumento externo (te). Tegumento interno (ti). Protodermis (P). Células parietales (cp). Tétrada probable (Te). Funículo (f). Ovario (O). 256 X. Contraste de fase.
- Fig. 15. Corte long. de pistilo joven. Ovario (O). Estigma séstil (E). Etapa temprana en formación del óvulo (o). Tépallo (T). 64 X. Contraste de fase.
- Fig. 16. Corte long. de óvulo en etapa de antesis. Funículo (f). Nucela (N). Saco embrionario (Se). Ovario (O). 40 X. Contraste de fase.



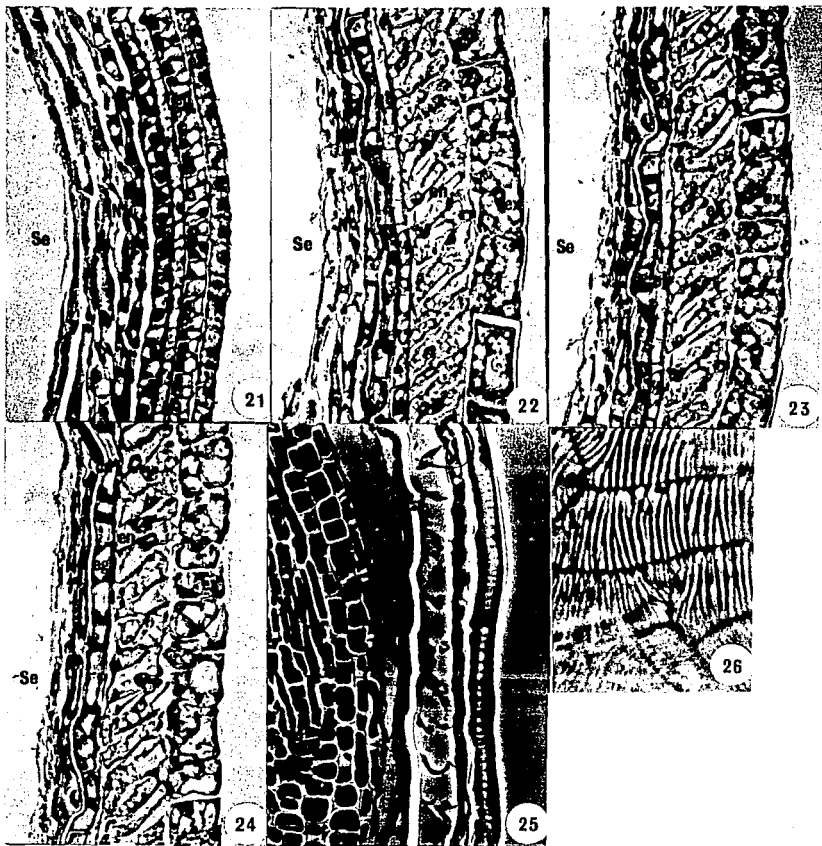
## LAMINA V. SACO EMBRIONARIO

- Fig. 17. Saco embrionario con aparato del huevo. Ovocélula (Ov). Sinérgida (S). Nucela (N). 400 X. Contraste de fase.
- Fig. 18. Saco embrionario parte central. Mismo corte de fig. 17. Núcleo (Nu). 400 X. Contraste de fase.
- Fig. 19. Saco embrionario parte central. Siguiendo corte a fig. 17. Núcleo (Nu). Nucléolo (nu). 400 X. Contraste de fase.
- Fig. 20. Saco embrionario parte central. Mismo corte de fig. 19, en otro plano de enfoque, Nucléolo (nu). 400 X. Contraste de fase.



## LAMINA VI. DESARROLLO DE CUBIERTA SEMINAL

- Fig. 21. Corte long. cubierta seminal en desarrollo. Exotesta (ex). Endotesta (en). Exotegmen (et). Endotegmen (eg). Cutícula nucelar (cn). Nucela (N). Saco embrionario (Se). 160 X. Contraste de fase.
- Fig. 22. Corte long. cubierta seminal en desarrollo. Exotesta (ex). Endotesta (en). Exotegmen (et). Endotegmen (eg). Cutícula nucelar (cn). Nucela (N). Saco embrionario (Se). 160 X. Contraste de fase.
- Fig. 23. Corte long. cubierta seminal en desarrollo. Exotesta (ex). Endotesta (en). Exotegmen (et). Obliteración de exotegmen (flecha). Endotegmen (eg). Cutícula nucelar (cn). Nucela (N). Saco embrionario (Se). 160 X. Contraste de fase.
- Fig. 24. Corte long. cubierta seminal en desarrollo. Exotesta (ex). Endotesta (en). Endotegmen (eg). Cutícula nucelar (cn). Nucela (N). Saco embrionario (Se). 160 X. Contraste de fase.
- Fig. 25. Corte long. cubierta seminal madura. Exotesta (ex). Obliteración de exotesta y endotegmen (ob). Cutícula nucelar (cn). Embrión (Em). 160 X. Contraste de fase.
- Fig. 26. Vista superficial de endotegmen. Endotegmen (eg). 400 X. Con traste de fase.





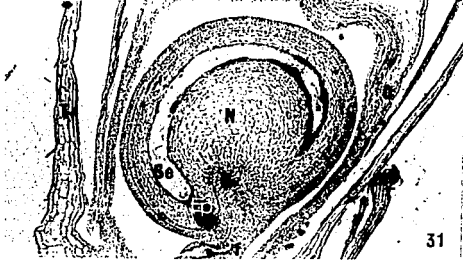
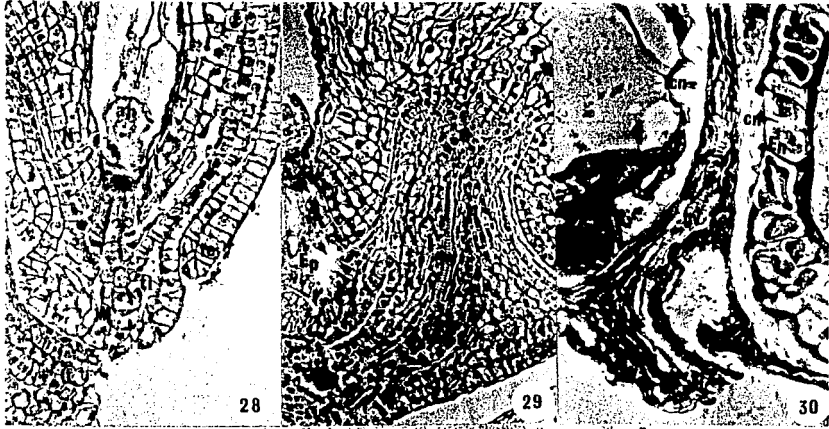
**LAMINA VII. ENDOTEGMEN**

**Fig. 27. Endotegmen (eg). MEB. 2600 X.**



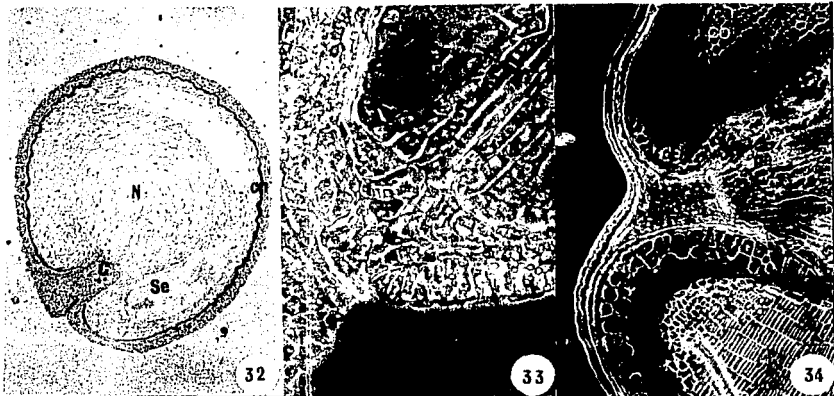
## LAMINA VIII. REGION MICROPILAR, CALAZAL E HILAR

- Fig. 28. Corte long. región micropilar óvulo en antesis.  
Tegumento externo (te). Tegumento interno (ti). Nucela (N). Funiculo (f). Micrópilo endóstomo (M). Aparato del huevo (ah). 160 X. Contraste de fase.
- Fig. 29. Corte long. región de calaza en etapa temprana de embriogénesis. Calaza (C). Haz vascular (hv). Epístasis (Ep). Nucela (N). Funiculo (f). 100 X. Contraste de fase.
- Fig. 30. Corte long. región hilar en semilla madura. Hilo (H). Haz vascular obliterado (hv). Cutícula nucelar (cn). Endospermo (En). 160 X. Contraste de fase.
- Fig. 31. Corte long. en etapa temprana de embriogénesis. Epístasis (Ep). Nucela (N). Saco embrionario (se). Funiculo (f). Calaza (C). Ovario (O). Tépalos (T). 25.2 X. Contraste de fase.



## LAMINA IX. CUTICULA NUCELAR Y SUSPENSOR

- Fig. 32. Corte long. etapa temprana de embriogénesis. Tinción Rojo O. de aceite. Cutícula nucelar (cn). Nucela (N). Saco embrionario (se). Calaza (C). 25.2 X. Campo claro.
- Fig. 33. Corte long. etapa temprana de embriogénesis. Tinción Rojo O. de aceite. Cutícula nucelar penetrando nucela (flecha). Nucela (N). Funículo (f). Micrópilo (M). Tegumento interno (ti). 160 X. Contraste de fase.
- Fig. 34. Corte long. de semilla madura. Tinción Rojo O. de aceite. Aristas de células engrosadas (flecha). Perispermo (pe). Cotiledones (co). Radícula (r). Endospermo (En). 64 X. Contraste de fase.
- Fig. 35. Corte long. etapa temprana de embriogénesis. Suspensor (Su). Célula grande del suspensor (ch). Observe huso (flecha). 400 X. Contraste de fase.
- Fig. 36. Corte long. etapa temprana de embriogénesis. Mismo óvulo que fig. 35, con otro enfoque. 400 X. Contraste de fase.



## LAMINA X. EMBRIOGENESIS

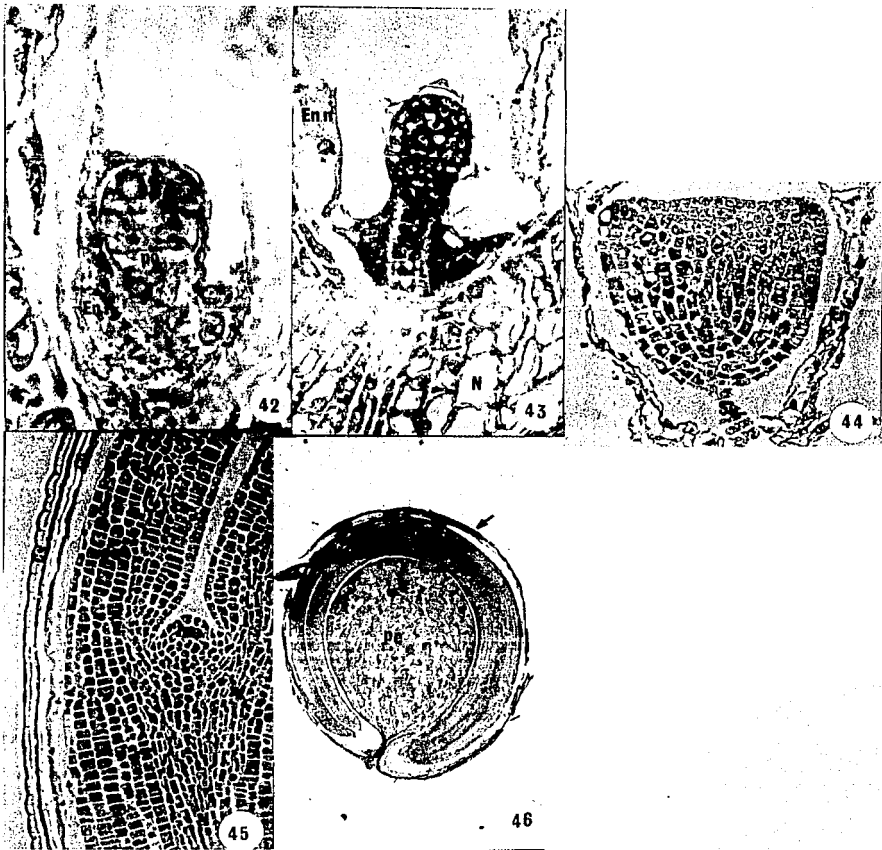
Fig. 37,38,39,40 y 41. Secuencia de cortes long. en etapa temprana de embriogénesis. Suspensor (Su). Cuerpo del embrión (ce). Pared longitudinal (flecha). Endospermo nuclear (Enn). 400 X. Contraste de fase.





## LAMINA XI. EMBRIOGENESIS

- Fig. 42. Corte long. etapa temprana de embriogénesis.  
Proembrión octante (po). Endospermo nuclear (Enn). 400 X. Contraste de fase.
- Fig. 43. Corte long. embrión en etapa globular. Suspensor (Su).  
Cuerpo del embrión (ce). Nucela (N). Endospermo nuclear (Enn). 160 X. Contraste de fase.
- Fig. 44. Corte long. embrión en etapa de corazón. Suspensor (Su).  
Primordio de cotiledón (pc). Endospermo (En). 128 X.  
Contraste de fase.
- Fig. 45. Corte long. embrión maduro. Cubierta seminal (cs).  
Cutícula nucelar (cn). Procámbium (flecha). Cotiledón (co). Meristemo apical (ma). 81.9 X. Contraste de fase.
- Fig. 46. Corte long. semilla madura. Cubierta seminal (flecha).  
Embrión curvo (Em). Perispermo (pe). 12.8 X. Campo claro.

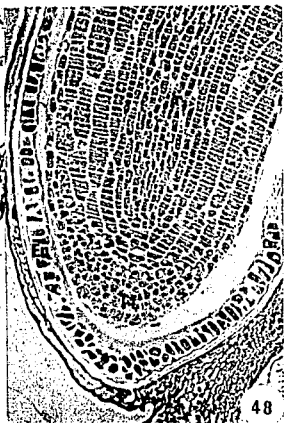


## LAMINA XII. PERISPERMO Y ENDOSPERMO

- Fig. 47. Corte long. semilla madura. Perispermo (pe). Radícula (r). Endospermo (En). Cotiledón (co). 40 X. Contraste de fase.
- Fig. 48. Corte long. radícula semilla madura. Radícula (r). Cofia (cf). Endospermo (En). 64 X. Contraste de fase.
- Fig. 49. Endospermo nuclear (Enn). 400 X. Contraste de fase.
- Fig. 50. Endospermo nuclear preparándose para la celularización. Endospermo nuclear (Enn). 400 X. Contraste de fase.
- Fig. 51. Corte long. semilla con embrión en etapa de corazón. Embrión (Em). Endospermo celular (Enc). Cutícula nucelar (cn). Cubierta seminal con granos de almidón (cs). 64 X. Contraste de fase.
- Fig. 52. Endospermo celular (Enc). 400 X. Contraste de fase.



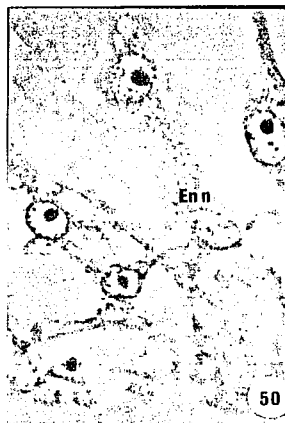
47



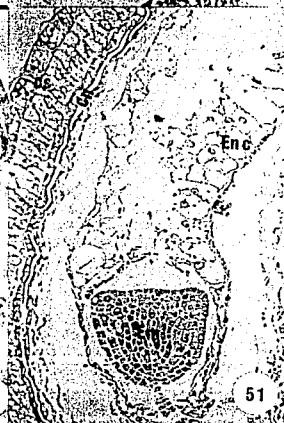
48



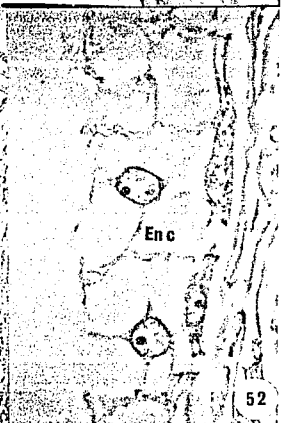
49



50



51



52

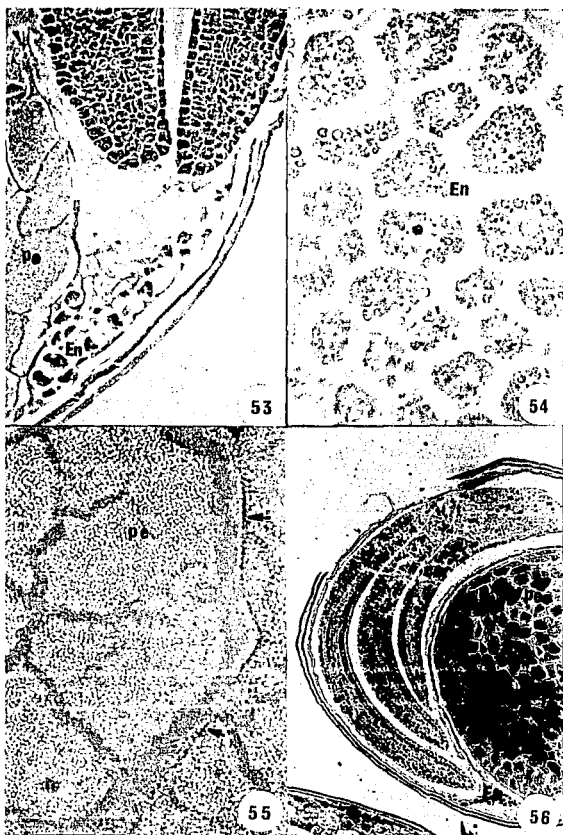
### LAMINA XIII. PERISPERMO Y ENDOSPERMO

Fig. 53. Corte long. cotiledones en semilla madura. Cotiledón (co). Endospermo (En). Perispermo (pe). 100 X. Contraste de fase.

Fig. 54. Endospermo (En) con cuerpos de proteína. Corte tangencial. 400 X. Contraste de fase.

Fig. 55. Perispermo (pe) con granos de almidón. Pared celular (flecha). Los puntos oscuros son proteína. 400 X. Contraste de fase.

Fig. 56. Corte long. semilla madura. Cotiledón (co). Perispermo (pe). Endospermo (En). 25.2 X. Campo claro.



**LAMINA XIV. GRANOS DE ALMIDON**

**Fig. 57. Granos de almidón en amaranto. MEB. 8800 X.**

**Fig. 58. Granos de almidón en maíz palomero. MEB. 600 X.**

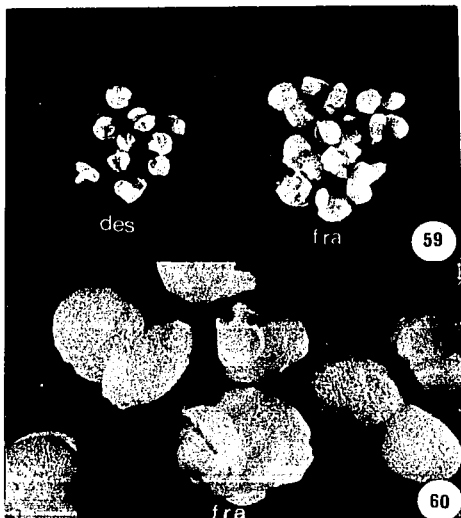




**LAMINA XV. SEMILLA REVENTADA**

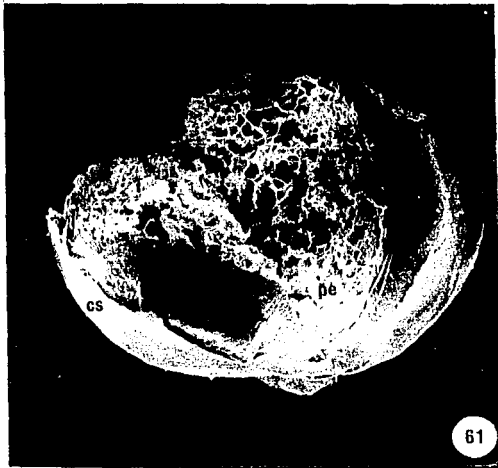
**Fig. 59. Semilla reventada a los 63 días de almacenamiento.  
Lote 2 del desecador (des). Lote 3 del frasco (fra). 4 X.**

**Fig. 60. Semilla del frasco (lote 3) reventada a los 63 días de  
almacenamiento. Cubierta seminal (cs). 14 X.**



**LAMINA XVI. SEMILLA REVENTADA**

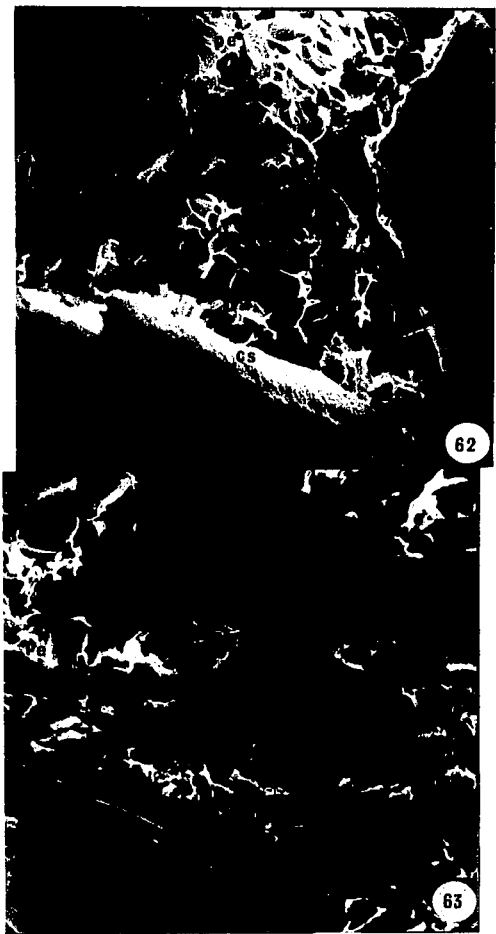
**Fig. 61. Semilla del desecador (lote 2, 63 días) reventada.  
Cubierta seminal (cs). Perispermo (pe). MEB. 60 X.**



**LAMINA XVII. SEMILLA REVENTADA**

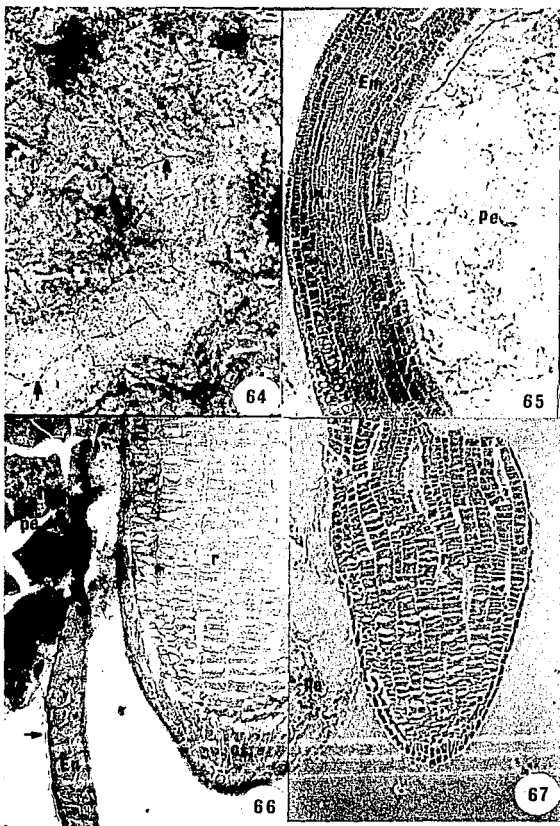
**Fig. 62. Semilla del costal (lote 1, 63 días) reventada. Cubierta seminal (cs). Perispermo (pe). MEB. 180 X.**

**Fig. 63. Semilla del costal (lote 1, 63 días) reventada. Cubierta seminal (cs). Perispermo (pe). MEB. 240 X.**



#### LAMINA XVIII. SEMILLA REVENTADA

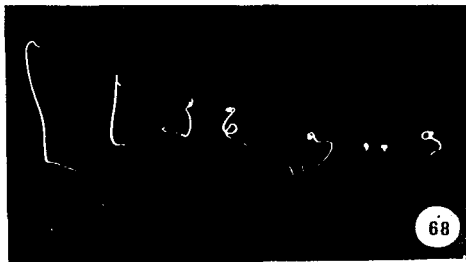
- Fig. 64. Perispermo de semilla reventada. Paredes celulares (flecha). 100 X. Contraste de fase.
- Fig. 65. Corte long. semilla reventada. Embrión (Em). Perispermo (pe). 40 X. Contraste de fase.
- Fig. 66. Corte long. semilla reventada. Radícula (r). Cofía (cf). Perispermo (pe). Endospermo (En). Cutícula nucelar (flecha). 128 X. Campo claro.
- Fig. 67. Corte long. semilla reventada. Radícula (r). Perispermo (pe). 100 X. Contraste de fase.





**LAMINA XIX. SEMILLA GERMINADA**

**Fig. 68. Semillas de amaranto germinadas a los siete días.**



## CUADROS

**Cuadro 1. CARACTERISTICAS DEL ALMIDON PERISPERMICO EN ESPECIES DE *Amaranthus*.**

Espece y cita	Diámetro granos de almidón. (um)	Forma de granos	Tipo (s) Almidón	Amilosa %	Amilopectina	Reacción I2	Rango T (°C) Gelificación.
<i>A. hypochondriacus</i> (1)	-	-	ceroso normal	0.0-0.3 6.7	-	caf-roj. azul	-
" " (2)	1-3	esféricos	ceroso normal	0.0-0.3 6.7	-	caf-roj. azul	62-64 65
" " (3)	-	-	-	7.2	-	-	62-68
" " (4)	-	angulares poligonales	-	7.2	-	-	62-68
" " (5)	1	redondos	ceroso normal	0 14	-	caf-roj. azul	-
" " (6)	1	redondos y poligonales	ceroso normal	22	100	-	63-78 59-76
<i>A. leucosperma</i> (7)	1-3.5	-	ceroso	-	-	caf-roj.	-
<i>A. cruentus</i> (8)	1-3	esféricos	ceroso	-	-	caf-roj.	-
<i>A. caudatus</i> (2)	1-3	esféricos	norma	4.4	-	azul	54
<i>A. paniculatus</i> (9)	3.2	circular	ceroso	-	100	-	63-74
<i>A. retroflexus</i> (10)	-	esférico	-	4.9	-	-	-
<i>A. retroflexus</i> (11)	0.75-1.25	-	-	-	-	-	-

- No se hace referencia

**Datos tomados de:**

(1) Okuno y Sakaguchi, 1983; (2) Okuno y Sakaguchi, 1981; Okuno y Sakaguchi, 1984; (3) Becker *et al.* 1981; (4) Lorenz, 1981; (5) Sugimoto *et al.* 1981; (6) Tomita *et al.* 1981; (7) Wolf *et al.* 1950; (8) Mac Masters, *et al.* 1955; (9) Modi y Kulkarni, 1967; (10) Goering, 1967; (11) Subba y Goering, 1970.

**Cuadro 2. RANGO DE TEMPERATURA DE GELIFICACION Y SOLUBILIDAD DEL ALMIDON EN DOS ESPECIES DE AMARANTO Y DOS CEREALES.**

ESPECIE	RANGO DE TEMP. GELIFICACION (°C)	SOLUBILIDAD EN AGUA (%).
<i>A. paniculatus</i> (1)	63-74	a 30°C= 1.6 ± 0.02
Maíz (1)	57-68	a 30°C= 0.4 ± 0.0264
<i>A. hypochondriacus</i> (2)	62-68	a 60°C= 9.12 a 70°C= 14.21 a 80°C= 32.76 a 90°C= 37.43
Trigo (2)	52-56	a 60°C= 1.67 a 70°C= 2.35 a 80°C= 2.48 a 90°C= 8.21

Datos tomados de: (1) Modi y Kulkarni, 1976; (2) Lorenz, 1981.

**Cuadro 3. TEMPERATURA Y PRECIPITACION EN CHAPINGO, EDO. DE MEXICO EN 1988.**

Mes	Temperatura (° C)		Precipitación (mm.)
	Promedio máx.	Promedio mín.	
Junio	24.7	11.0	101.1
Julio	23.7	10.4	108.3
Agosto	24.1	10.2	58.6
Septiembre	23.6	8.1	100.9
Octubre	23.6	6.3	15.2
Noviembre	24.8	2.5	14.6

Datos proporcionados por la Estación Climatológica de la Universidad Autónoma de Chapingo.

**Cuadro 4. CICLO AGRICOLA EN *A. hypochondriacus* L.  
TIPO MERCADO 153-5-3. CHAPINGO, MEX.1988.**

Etapa	Fecha	Días después de la siembra.
Siembra	20 - Junio	0
Emergencia de la Plántula	30 - Jun. a 4 - Jul	10 - 14
Inicio de Floración	25 - Agosto	66
Final de Floración	29 - Septiembre	101
Cosecha	22 - Noviembre	156

**Cuadro 5. EFECTO DE RECIPIENTE DE ALMACENAMIENTO  
EN EL POTENCIAL DE REVENTADO Y GERMINACION  
DE *Amaranthus hypochondriacus* L. TIPO  
MERCADO 153 - 5 - 3 . "TUKEY"**

Humedad (%)	Vol. Rev. (cm. <sup>3</sup> )	Peso Rev. (g.)	Vol. Sin/Rev. (cm. <sup>3</sup> )	Peso s/Rev. (g.)	Germin. (%)
3 8.6 a	3 135.0 a	4 16.2 a	2 6.3 a	2 3.2 a	3 50.9 a
1 8.3 b	4 131.1a	1 15.9 ab	3 5.7 ab	3 2.6 b	1 50.0 a
4 8.3 b	1 129.4a	3 15.9 b	1 5.4 ab	1 2.3 bc	2 48.4 a
2 7.0 c	2 93.4 b	2 15.3 c	4 5.0 b	4 2.1 c	4 43.8 a
Tratamientos: 1) Bolsa            2) Desecador 3) Frasco    4) Sol y bolsa					

Misma letra no hay diferencia significativa a P ( .05)



**Cuadro 6. PORCENTAJE DE HUMEDAD EN SEMILLA  
ALMACENADA DE *A. hycochondriacus* L.  
TIPO MERCADO 153-5-3.**

Tratamiento	D I A S										
	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	Media
1	8.9	8.7	8.6	8.0	8.4	7.9	8.1	8.0	8.2	8.1	8.3 b
2	8.9	7.8	7.2	6.7	6.9	6.6	6.5	6.5	6.6	6.3	7.0 c
3	8.9	8.8	8.7	8.2	8.6	8.5	8.5	8.8	8.7	8.6	8.6 a
4		8.3	8.4	8.0	8.3	7.9	8.2	8.2	8.2	8.1	8.3 b

Tratamientos: 1. Bolsa 2. Desecador 3. Frasco 4. Sol y bolsa.

Valores en cada fecha  $\bar{x}$  de 2 repeticiones. a,b,c, obtenidos del cuadro 5.

**Cuadro 7. EFECTO DE FECHA DE MUESTREO DE ALMACENAMIENTO EN EL PORCENTAJE DE HUMEDAD Y GERMINACION DE *Amaranthus hypochondriacus* L. TIPO MERCADO 153 - 5 - 3. "Tukey"**

Días	Humedad Media (%)		Días	Germinación (%)	
0	8.9	a	63	71.6	a
7	8.4	ab	56	63.1	ab
14	8.3	bc	49	54.6	abc
28	8.1	bcd	42	54.3	abc
56	7.9	bcd	28	51.7	abc
49	7.9	cd	0	51.2	abc
42	7.8	cd	21	42.8	bc
63	7.8	d	14	42.6	bc
35	7.7	d	7	41.9	bc
21	7.7	d	35	33.7	c

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.  $p < 0.05$

**Cuadro 8 . VOLUMEN DE EXPANSION EN SEMILLA  
ALMACENADA DE *A. hypochondriacus*  
L. TIPO MERCADO 153-5-3.**

TRATA- MIENTOS.	D I A S									
	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63
1	5.07	5.30	5.30	5.30	5.46	5.15	4.76	4.84	5.23	5.38
2	5.07	4.34	4.03	4.23	4.03	3.69	3.42	3.19	3.46	3.34
3	5.07	5.26	5.30	5.42	5.50	5.61	5.38	5.26	5.61	5.65
4		4.96	5.34	5.46	5.38	5.19	5.26	5.07	5.30	5.34

Tratamientos: 1. Costal      2. Desecador      3. Frasco      4. Sol + Costal

**Cuadro 9. PORCENTAJE DE GERMINACION EN SEMILLA  
ALMACENADA DE *A. hypochondriacus*  
L. TIPO MERCADO 153- 5- 3.**

Tratamientos	D I A S									
	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63
1	45	42	60	24	55	46	39	65	60	80
2	45	48	37	50	67	36	44	44	60	56
3	45	47	34	44	43	35	68	60	56	79
4		47	40	53	43	19	66	51	78	72

Tratamientos: 1. Bolsa      2. Desecador      3. Frasco      4. Sol y bolsa

Valores  $\bar{x}$  de 4 repeticiones.

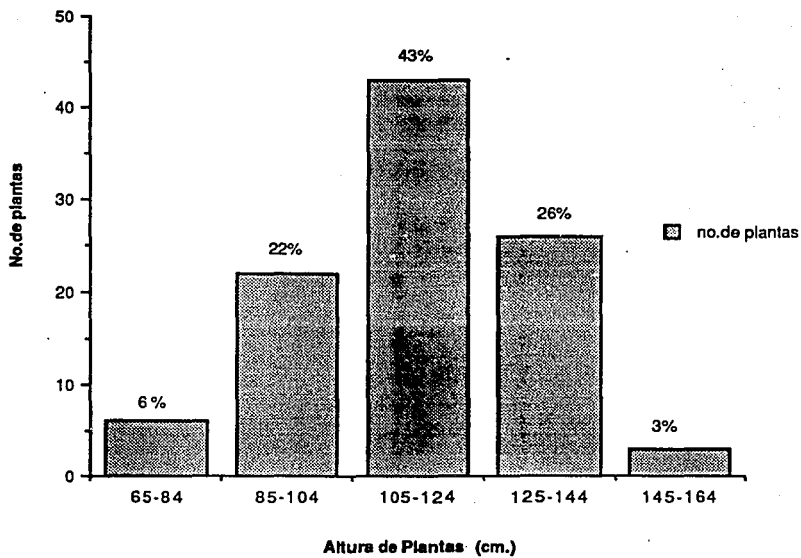
**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

**Cuadro 10. CANTIDAD DE ALMIDON EN 1 g DE SEMILLA DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE A. *hypochondriacus* L. TIPO MERCADO 153 - 5 - 3.**

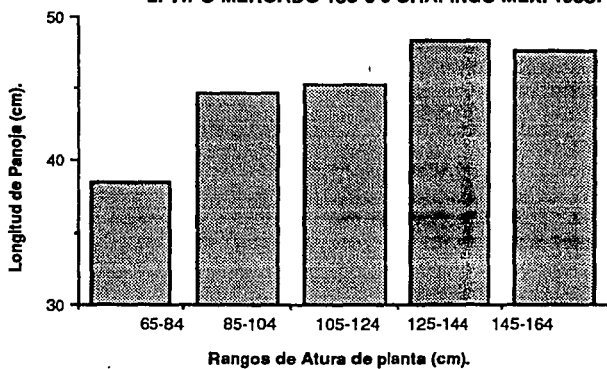
Tiempo de Almacenamiento (días)	Cantidad de Almidón (mg)
0	239.1 ± 14.64
7	272.5 ± 36.28
14	173.9 ± 24.65
21	267.7 ± 27.50
28	160.3 ± 12.30
35	136.5 ± 17.80
42	152.2 ± 12.50
49	118.6 ± 14.70
56	223.7 ± 21.13
63	148.3 ± 20.32

# GRAFICAS

**Gráfica 1. ALTURA DE 100 PLANTAS SECAS DE *A. hypochondriacus*  
TIPO MERCADO 153-5-3. CHAPINGO MEX. 1988.**

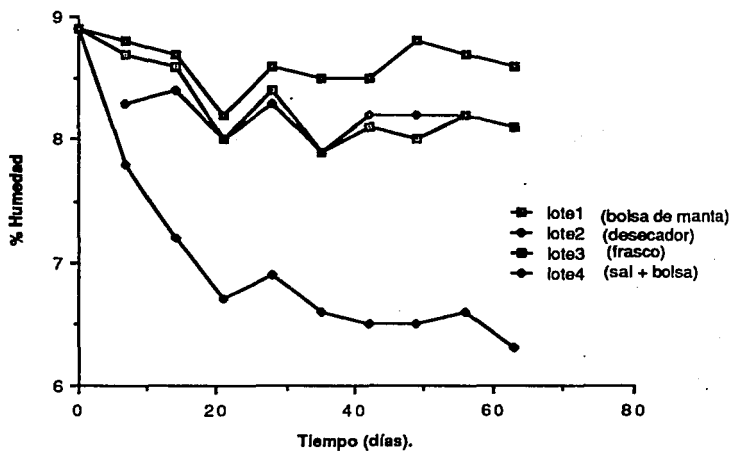


**Gráfica 2. LONGITUD DE PANOJA EN 100 PLANTAS DE *A. hypochondriacus*  
L. TIPO MERCADO 153-5-3 CHAPINGO MEX. 1988.**

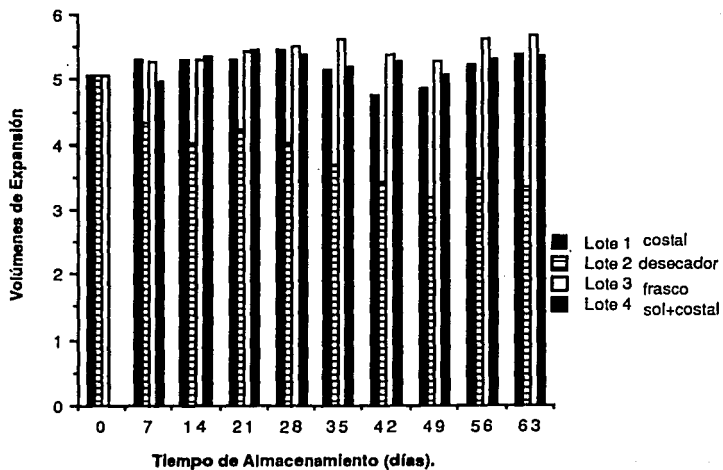




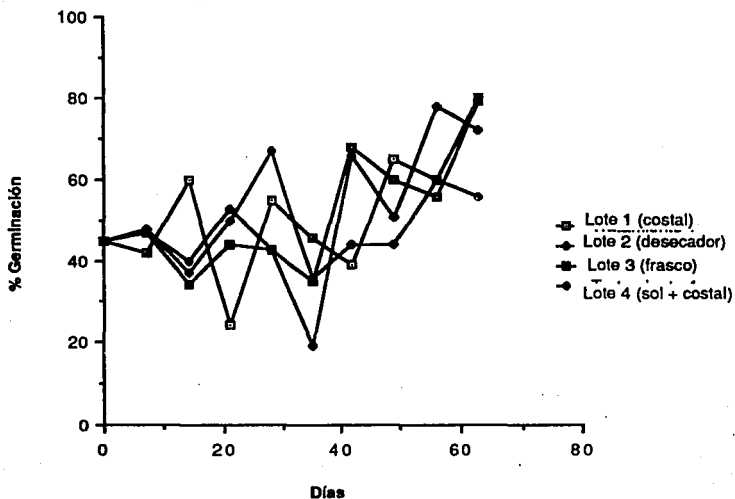
**Gráfica 3. PORCENTAJE DE HUMEDAD EN SEMILLA ALMACENADA DE  
*A. hypochondriacus* L. TIPO MERCADO 153-5-3.**



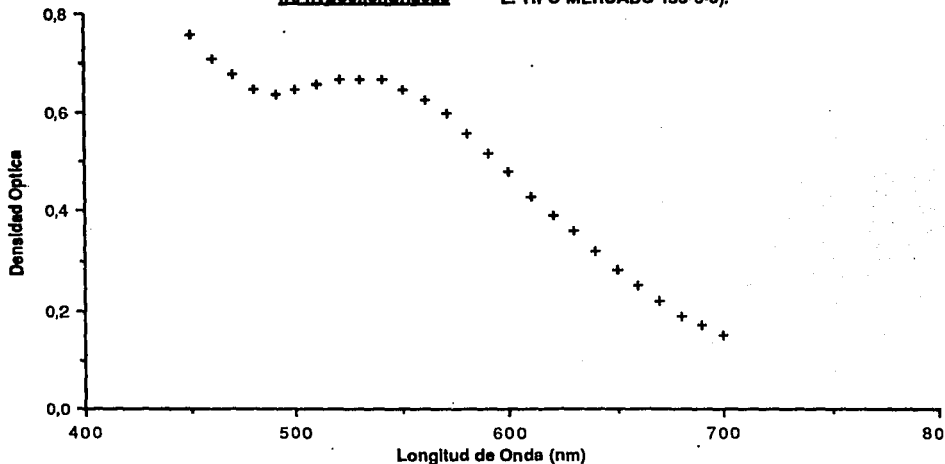
**Gráfica 4. VOLUMENES DE EXPANSIÓN DE LA SEMILLA DE *A. hypochondriacus* L. TIPO MERCADO 153-5-3 EN 4 LOTES DE ALMACENAMIENTO.**



**Gráfica 5. PORCENTAJE DE GERMINACION EN SEMILLA ALMACENADA DE *A. hypochondriacus* L. TIPO MERCADO 153-5-3.**



Gráfica 6. ESPECTRO DE ABSORCIÓN DEL COMPLEJO ALMIDÓN-YODO DE AMARANTO FIJADO (*A. hypochondriacus* - L. TIPO MERCADO 153-5-3).



- 2.10. El almidón del perispermo es de tipo "waxy" o ceroso, muy rico en amilopectina, y tiñe de color café-rojizo con el I<sub>2</sub>KI.
- 2.11. En semilla madura el embrión, el endospermo, la cubierta seminal y la matriz que rodea los granos amiláceos del perispermo, presentan proteína.

### 3. EFECTOS DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLA

- 3.1. El mejor recipiente de almacenamiento durante 63 días para la semilla de *A. hypochondriacus*, fue el de vidrio.
- 3.2. La semilla recién cosechada, al igual que la almacenada por diferentes métodos -excepto en desecador-, conservaron el mismo volumen de reventado.
- 3.3. En el reventado algunas células sólo gelifican su almidón e incrementan su volumen, otras explotan.
- 3.4. El comportamiento histoquímico en semilla reventada fue similar al presentado por semilla no sometida al proceso térmico.
- 3.5. Fue baja la cantidad de almidón extraído de semilla fijada en FAA y detectado en comparación con semilla sin fijar.
- 3.6. El espectro de absorción del complejo almidón-yodo tuvo un pico de 532 nm, siendo el almidón muy rico en amilopectina.
- 3.7. La semilla de *A. hypochondriacus* tipo Mercado 153-5-3 bajo las condiciones usadas en este trabajo, no mostró latencia.

## VII. NECESIDADES DE INVESTIGACION

### AREA: BOTANICA ESTRUCTURAL

Con la finalidad de tener elementos que contribuyan en la resolución de la problemática taxonómica de las especies del género *Amaranthus*, se requiere:

1. Estudiar la morfología floral de las especies del género.
2. Continuar las investigaciones sobre el desarrollo de semilla en especies silvestres y cultivadas.
3. Dilucidar el tipo de saco embrionario, así como el tipo de desarrollo del embrión en *A. hypochondriacus*, y de otras especies.
4. Estudiar la microesporogénesis en diferentes especies.

### AREAS: BIOQUIMICA VEGETAL Y FISIOLOGIA VEGETAL

1. Para conocer con mayor precisión el comportamiento del almidón durante el almacenamiento de semilla, es conveniente repetir el experimento de almacenamiento y no fijar, sino ir corriendo semanalmente la técnica de extracción de almidón para cuantificar la cantidad real de este polisacárido. Así mismo, se deberá separar amilosa y amilopectina para ser estudiadas y cuantificadas por separado.

2. Sería importante ensayar en el laboratorio, posibles usos industriales del almidón -p.e. pegamentos, cosméticos, almidón estándar para curvas tipo-, así como la redituabilidad de su extracción.

3. Sería interesante caracterizar a la matriz protéica que rodea los granos de almidón del perispermo.

4. Es necesario profundizar en las investigaciones de fisiología de la germinación de las diferentes especies, y relacionar esta información con la dinámica de almidones.

## AREA: AGRONOMIA

1. Es conveniente continuar las investigaciones sobre el comportamiento de otros factores que según diversos autores (Roqueñí, 1971; Rojo, 1972; Arias, 1973) repercuten de manera importante en el volumen de expansión como son: la especie, tipo o variedad, zona climática, dosis de fertilización y densidad de siembra entre otros.

2. De igual forma, es necesario impulsar las investigaciones sobre germinación en *A. hypochondriacus*, L. tipo Mercado 153-5-3, como en otros tipos y especies mejoradas, sin olvidar estudiar previamente el comportamiento germinatorio de los genotipos nativos de las zonas productoras de alegría.

3. Deberán continuarse los trabajos de fitomejoramiento, que lleve a disminuir la dehiscencia del fruto, a fin de abatir hasta donde sea posible la pérdida de semilla, con lo que se incrementaría el rendimiento. De igual manera se deberán continuar las investigaciones que lleven a lograr mayor homogeneidad en altura de planta y tamaño de panoja, para facilitar la cosecha y mecanización del cultivo.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar, J., y Alatorre, G. 1978. MONOGRAFIA DE LA PLANTA DE ALEGRIA. pp. 157-203 In: Memoria del Grupo de Estudios Ambientales, A. C. Memoria. Año 1, 261 pp. (ciudad no mencionada).
- Alejandre, I.G. 1981. FERTILIZACION Y DENSIDAD DE POBLACION EN AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus* L.). Tesis de Licenciatura. Univ. Aut. de Chapingo. Méx. 169 pp.
- Alejandre I., G., y Gómez L., F. 1986. CULTIVO DEL AMARANTO EN MEXICO. Univ. Aut. de Chapingo. México. 245 pp.
- Alvarez E., P. N. 1989. ESTUDIO COMPARATIVO DEL CULTIVO TRADICIONAL DEL AMARANTO EN DOS REGIONES DE LA MESETA DE ANAHUAC; TULYEHUALCO, D.F. Y SAN MIGUEL DEL MILAGRO, NATIVITAS, TLAXCALA. Tesis de biólogo. Fac. de Ciencias, UNAM. 64 pp.
- Anónimo. 1886. CULTIVO DE LA ALEGRIA. Bol. Soc. Agrícola Mex. 10:42-43, 49-51.
- Arias M., F. R. 1973. EFECTO DE LA DISTANCIA DE SIEMBRA SOBRE EL RENDIMIENTO Y EXPANSION DEL MAIZ PALOMERO N.L.V.S. 100 (*Zea mays* L. subespecie everta en Apodaca, N.L.). Tesis de Licenciatura. Agronomía. ITESM C. Monterrey.
- Aruna, P. 1968. STRUCTURE AND DEVELOPMENT OF SEED IN CELOSIA CRISTATA LINN. J. Indian Bot. Soc. 47 (3-4): 381-387.
- Becker, R., Grosjean, O. K., y Lorenz, K. 1980. SACCHARIDES AND STARCH OF GRAIN AMARANTH. p. 58 In: Proceedings of the Second Amaranth Conference. Rodale Press. Emmaus, Pennsylvania. 184 pp.
- Becker, R., Irving, D. W. y Saunders, R. M. 1986. PRODUCTION OF DEBRENNE AMARANTH FLOUR BY STONE MILLING. Lebensm-wiss Technol. 19 (5):372-375).
- Becker, R., y Saunders, R. M. 1984. EL AMARANTO: SU MORFOLOGIA, COMPOSICION Y USOS COMO ALIMENTO Y FORRAJE. El Amarantho y su potencial. Boletín No. 1. Guatemala.
- Becker, R., Wheeler, E. L., Lorenz, K., Stafford, A. E., Grosjean, O. K., Betschard, A. A., y Saunders, R. M. 1981. A COMPOSITIONAL STUDY OF AMARANTH GRAIN. J. Food Sci. 46: 1175-1180.
- Betschard, A. A., Irving, D. W., Shephard, A. D., Wheeler, E. L., y Saunders, R. M. 1980. NUTRITIONAL STUDIES ON AMARANTHUS HYPOCHONDRIACUS AND ITS MILLING FRACTIONS. p. 59 In: Proceedings of the Second Conference. Rodales Press. Emmaus, Pennsylvania. 184 pp.
- Betschard, A. A., Irving, D. W., Shepherd, A. D., y Saunders, R.M. 1981. AMARANTHUS CRUENTUS: MILLING CHARACTERISTICS,



DISTRIBUTION OF NUTRIENTS WITHIN SEED COMPONENTS, AND THE EFFECTS OF TEMPERATURE ON NUTRITIONAL QUALITY. J. Food Sci. 46:1181-1187.

- Bhojwani, S. S., y Bhatnagar, S. P. 1974. THE EMBRYOLOGY OF ANGIOSPERMS. Vikas Publishing house PVT LTD. New Delhi. 279 pp.
- Bressani, R. 1983a. Editorial. El Amaranto y su Potencial. Boletín No, 2. Guatemala.
- Bressani, R. 1983. CALIDAD PROTEINICA DE LA SEMILLA DE AMARANTO CRUDA Y PROCESADA. El Amaranto y su Potencial. Botetín No. 3. Guatemala.
- Bressani, R. 1986. EFECTO DEL PROCESAMIENTO TERMICO HUMEDO Y SECO SOBRE LA CALIDAD PROTEINICA DEL GRANO DE AMARANTO. pp. 344-353 In: El Amaranto *Amaranthus* spp. (Alegría). Su Cultivo y Aprovechamiento. Chapingo, Méx. 557 pp.
- Brunson, A. M. 1955. POPCORN. pp. 423-440 In: Sprague, G. F. Ed. Corn and Corn Improvement. Academic Press. New York. 221 pp.
- Casillas, G.F. J. 1977. ANTEPROYECTO TECNICO ECONOMICO DE UNA PLANTA INDUSTRIALIZADORA DE SEMILLA DE ALEGRIA. Tesis Profesional. Fac. de Química. UNAM. Méx. D.F.
- Cano, C. G. 1973. ESTUDIO MORFOLOGICO COMPARADO DEL FRUTO DE NUEVE RAZAS MEXICANAS DE MAIZ (*Zea mays* L.). Tesis de maestría. Rama de Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. 60 pp.
- Conn, E. E., y Stumpf, P. K. 1978. BIOQUIMICA FUNDAMENTAL. Ed. Limusa, Méx. 631 pp.
- Corominas, J. y Pascual, J. A. 1984. DICCIONARIO ETIMOLOGICO CASTELLANO E HISPANICO. Ed. Gredos. Madrid, España. Vol. 1. 938 pp.
- Corner, E. J. 1976. THE SEED OF DICOTYLEDONS. Cambridge University Press. London. 311 pp.
- Cronquist, A. 1981. AN INTEGRATED SYSTEM OF CLASSIFICATION OF FLOWERING PLANTS. Columbia University Press. New York. 1262 pp.
- Cruces, C. R. 1986. LO QUE MEXICO APORTO AL MUNDO. Ed. Panorama. Méx. 139 pp.
- Curtis, P. J. 1976. INTRODUCCION A LA CITOLOGIA VEGETAL. Univ. Aut. de Chapingo, Méx. 262 pp.
- Cutter, E. G. 1971. PLANT ANATOMY. Part 2. ORGANS. Edward Arnold. London, Great Britain. 343 pp.
- Cutter, E. G. 1978. PLANT ANATOMY. part 1. CELLS AND TISSUES. Edward Arnold. London, Great Britain. 315 pp.
- Daloz, Ch. 1980. AMARANTH AS A LEAF VEGETABLE: HORTICULTURAL OBSERVATIONS IN A TEMPERATE CLIMATE. pp. 68-73 In: Proceedings of the Second Amaranth Conference. Emmaus, PA. USA. 184 pp.
- Derek, B.J. y Black, M. 1985. SEEDS. PHYSIOLOGY OF DEVELOPMENT AND GERMINATION. Plenum Press. New York. 367 pp.

- Duffus, C., y Slaughter, C. 1985. LAS SEMILLAS Y SUS USOS (Traducido del inglés por el Dr. Fidel Márquez). AGT Editor, Méx. 188 pp.
- DICCIONARIO AGROPECUARIO DE MEXICO. 1982. Instituto Nacional de Capacitación del Sector Agropecuario. Méx. 402 pp.
- Edwards, D. A. 1980. GRAIN AMARANTH CHARACTERISTICS AND CULTURE. Organic Gardening and Farming Research Center. New Crops Department. Rodale Press. Maxatawnny, Pennsylvania. 24 pp.
- Eldredge, J. C., y Thomas, W. I. 1959. POPCORN... ITS PRODUCTION, PROCESSING AND UTILIZATION. Iowa State Univ. Sci. Technol. Ames, Iowa. Bulletin: 3-16.
- Esau, K. 1972. ANATOMIA VEGETAL (traducido del inglés por el Dr. José Pons). Ed. Omega, S.A. Barcelona, España. 779 pp.
- Esau, K. 1977. ANATOMY OF SEEDS PLANTS. John Wiley and Sons. New York. 550 pp.
- Estrella, E. 1986. EL PAN DE AMERICA. Mundo Científico. 77:162-172.
- Fahn, A. 1974. PLANT ANATOMY. Pergamon Press, New York. 611 pp.
- Feine, L. B., Harwood, R. R., Kauffman, C.S., y Senft, J. P. 1979. AMARANTH, GENTLE GIANT OF THE PAST AND FUTURE. pp. 41-64. In: G.A. Ritchie, Ed. AAAS Selected Symposium 38. Westview Press, Colorado. 259 pp.
- Goering, K. J. 1967. NEW STARCHES. II. THE PROPERTIES OF THE STARCH CHUNKS FROM AMARANTHUS RETROFLEXUS. Cereal Chemistry. 44: 144-153.
- Gómez, O. S., y Tena, F. J. A. 1986. CAMBIOS EN LA CONCENTRACION DE LISINA Y PROTEINA DURANTE LA GERMINACION DEL AMARANTO. pp. 502-512. In: El Amaranto, *Amaranthus* spp. (Alegría) Su cultivo y Aprovechamiento. Chapingo, Méx. 557 pp.
- Grubben, G. J. H. 1980. CULTIVATION METHODS AND GROWTH ANALYSIS OF VEGETABLE AMARANTH, WITH SPECIAL REFERENCE TO SOUTH-BENIN. pp. 63-67. In: Proceedings of the Second Amaranth Conference. Rodale Press. Emmaus, Pennsylvania. 184 pp.
- Hauptli, H. 1977. AGRONOMIC POTENTIAL AND BREEDING STRATEGY FOR GRAIN AMARANTHS. pp. 71-82. In: Proceedings of the First Amaranth Seminar. Rodale Press. Pennsylvania. 130 pp.
- Herrera C., F. 1989. ESTUDIO DE DOS ESPECIES DE AMARANTO (*A. hypochondriacus* L. y *A. cruentus* L.) PARA FORRAJE Y GRANO BAJO CONDICIONES DE RIEGO Y TEMPORAL EN SALVATIERRA GUANAJUATO. Tesis. Depto. Fitotecnia. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Querétaro. 66 pp.
- Irving, D. W., y Becker, R. 1985. SEEDS STRUCTURE AND COMPOSITION OF POTENTIAL NEW CROPS. Food Microstructure. SEM Inc., AMF O'Hare (Chicago). IL. Vol. 4: 43-53.
- Irving, D.W., Bestchard, A. A., y Saunders, R. M. 1980. MORPHOLOGICAL STUDIES ON AMARANTHUS HYPOCHONDRIACUS. p. 60. In: Proceedings

- of the Second Amaranth Conference. Rodale Press. Emmaus, Pennsylvania. 184 pp.
- Irving, D. W., Betschard, A. A., y Saunders, R. M. 1981. MORFOLOGICAL STUDIES ON AMARANTHUS CRUENTUS. J. Food Sci. 46: 1170-1174
  - Jaik, D.A., y Tena, F. J. A. 1986. OPTIMIZACION DEL PROCESO DE TOSTADO DE LA SEMILLA DE ALEGRIA (AMARANTHUS HYPOCHONDRIACUS) Y DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE TOSTADORA. pp. 397-405. In: El Amaranto *Amaranthus* spp. (Alegría). Su Cultivo y Aprovechamiento. Chapingo, Méx. 557 pp.
  - Jensen, W.A. 1962. BOTANICAL HISTOCHEMISTRY. PRINCIPLES AND PRACTICE. Freeman, San Francisco. 408 pp.
  - Jian-min, L., Xing-hai, L., y Shu-an, W. 1988. OBSERVACION DE LA ESTRUCTURA DE RACIMOS Y REGLAS DE INFLORESCENCIAS DEL *Amaranthus caudatus* L. El Amaranto y su Potencial. Guatemala. Boletín No. 2: 5-8.
  - Johansen, D. A. 1940. PLANT MICROTECHNIQUE. McGraw-Hill, New York. 553 pp.
  - Jugenheimer, R. W. 1976. CORN IMPROVEMENT, SEED PRODUCTION AND USES. Wiley, New York. 670 pp.
  - Jugenheimer, R. W. 1981. MAIZ. VARIEDADES, METODOS DE CULTIVO Y PRODUCCION DE SEMILLAS. (traducido del inglés por Rodolfo Piña). Ed. LIMUSA, Méx. 841 pp.
  - Kajale, L. B. 1940. A CONTRIBUTION TO THE EMBRYOLOGY OF THE AMARANTHACEAE. Proc. Nat. Inst. Sci. India. 6 (4):597-625.
  - Kintner, P. K. 1986. AMARANTH RESEARCH. STARCH. Rodale Research Center. Emmaus, PA. USA. No. 7
  - Kornerup, A., y Wanscher, J. H. 1978. METHUEN HANDBOOK OF COLOUR. Eyre Methuen. London.
  - Kowal, T. 1954. Cechy morfologiczne i anatomiczne nasion rodzaju *Amaranthus* L. oraz klucze do ich oznaczania (Características morfológicas y anatómicas de las semillas del género *Amaranthus* L. y claves para su determinación). Monog. Bot. 2:162-193.
  - Laguna, J. 1964. BIOQUIMICA. La Prensa Médica Mexicana. Méx. 676 pp.
  - Lawrence, G. H. M. 1951. TAXONOMY OF VASCULAR PLANTS. The Macmillan. New York. 823 pp.
  - Lees, P. 1983. AMARANTO. EL SUPERCULTIVO DEL FUTURO. Agricultura de las Américas. Agosto. pp. 16-17 y 32.
  - Lehninger, A. L. 1975. BIOCHEMISTRY. Second Edition. Worth, New York. 1104 pp.
  - Locquin, M., y Langeron, M. 1985. MANUAL DE MICROSCOPIA. Labor, Barcelona, España. 373 pp.

- Lorenz, K. 1981. AMARANTHUS HYPOCHONDRIACUS - CHARACTERISTICS OF THE STARCH AND BAKING POTENTIAL OF THE FLOUR. *Starch, Stärke* 33. (5) :149-153.
- MacMasters, M. M., Baird, P. D., Hozapfel, M. M., y Rist, C. E. 1955. PREPARATION OF STARCH FROM AMARANTHUS CRUENTUS SEED. *Econ. Bot.* 9 (3): 300-302.
- Maheswari, P. 1950. AN INTRODUCTION TO THE EMBRYOLOGY OF ANGIOSPERMS. McGraw-Hill. New York. 453 pp.
- Martineau, J. R. 1985. RESUMEN AGRONOMICO DEL AMARANTO DE GRANO, DESCRIPCION BOTANICA. *El Amaranto y su Potencial*. Guatemala. Boletín No. 4.
- Mapes, C. 1984. UNA REVISION SOBRE LA UTILIZACION DEL GENERO AMARANTHUS EN MEXICO. pp. 388-403. In: *Primer Seminario Nacional del Amaranto*. Memoria Vol. 1. 403 pp.
- Mazia, D., Brewer, P. A., y Alfert, M. 1953. THE CYTOCHEMICAL STAINING AND MEASUREMENT OF PROTEIN WITH MERCURIC BROMPHENOL BLUE. *Biol. Bull.* 104: 57-67.
- Modi, J. D., y Kulkarni, P. R. 1976. NEW STARCHES: THE PROPERTIES OF THE STARCH FROM AMARANTHUS PANICULATUS LINN. *Acta Alimentaria*. 5 (4) : 399-402.
- Molina G., J. (Ed). 1983. RECURSOS AGRICOLAS DE ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS DE MEXICO. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx. 159 pp.
- National Academy of Science. 1975. UNDEREXPLOITED TROPICAL PLANTS WITH PROMISING ECONOMIC VALUE. Washington, D. C., USA. 188 pp.
- National Research Council. 1984. AMARANTH: MODERN PROSPECTS FOR AN ANCIENT CROP. National Academic Press. Washington, D. C. USA. 80 pp.
- Noguérón, H. 1886. CULTIVO DE LA ALEGRIA. *Bol. Soc. Agrícola Mex.* 10:42-43.
- Okuno, K., y Sakaguchi, S. 1981. GLUTINOUS AND NON-GLUTINOUS STARCHES IN PERISPERM OF GRAIN AMARANTHS. *Cereal Research Communications* 9 (4): 305-331.
- Okuno, K., y Sakaguchi, S. 1982. INHERITANCE OF STARCH CHARACTERISTICS IN PERISPERM OF AMARANTHUS HYPOCHONDRIACUS. *J. Heredity* 73: 467.
- Okuno, K., y Sakaguchi, S. 1984. DIFFERENTIATION OF STARCH PROPERTY IN PERISPERM OF GRAIN AMARANTHS. *Japan Agric. Res. Quarterly* 18 (1): 1-5.
- Pant, K. C. 1985. EFFECT OF HEAT PROCESSING (POPPING) ON PROTEIN NUTRITIONAL QUALITY OF GRAIN AMARANTH. *Nutrition Reports International* 32 (5): 1089-1098.
- Paredes L., O., Cárabez T., A., Pérez H., S., y González C., J. 1988. INFLUENCE OF GERMINATION ON PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF AMARANTH

- FLOUR AND STARCH MICROSCOPIC STRUCTURE. *Starch, Stärke* 40 (8): 290-294.
- Radley, J. A. (Ed). 1976. EXAMINATION AND ANALYSIS OF STARCH AND STARCH PRODUCTS. Applied Science Publishers, London.
  - Ray, P. M. 1975. LA PLANTA VIVIENTE. (traducido del inglés por el Ing. Antonio Marino). CECSA. Méx. 272 pp.
  - Reyna T., T. 1986. REQUERIMIENTOS CLIMATICOS PARA EL CULTIVO DEL AMARANTO (AMARANTHUS SPP). EN MEXICO pp. 81-89. In: el Amaranto *Amaranthus* spp ( Alegría ). Su Cultivo y Aprovechamiento. C. P. Chapingo, Méx. 577 pp.
  - Rojas G., M., y Ramírez R., H. 1987. CONTROL HORMONAL DEL DESARROLLO DE LAS PLANTAS. Noriega Editores, LIMUSA. Méx. 239 pp.
  - Rojas G., M., y Róvalo M. 1985. FISIOLOGIA VEGETAL APLICADA. McGraw-Hill. Méx. 298 pp.
  - Rojo V., L. 1972. MEJORAMIENTO GENETICO DE LA CAPACIDAD DE EXPANSION POR SELECCION RECURRENTE EN LAS VARIEDADES NL-VS 100 Y NL-VS 101 DE MAIZ PALOMERO (ZEA MAYS L. SUBESPECIE EVERTA BAILEY). Tesis Agronomía. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. 65 pp.
  - Roqueñif B., A. 1971. ENSAYO DE RENDIMIENTO Y DE LA CAPACIDAD DE EXPANSION EN 14 VARIEDADES DE MAIZ PALOMERO (ZEA MAYZ L. SUBESPECIE EVERTA) EN APODACA, N.L. Tesis agronomía. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. 70 pp.
  - Roth, I. 1964. MICROTECNIA VEGETAL. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela, 88 pp.
  - Roth, I. 1976. ANATOMIA DE LAS PLANTAS SUPERIORES, Universidad Central de Venezuela, Ed. de la Biblioteca. Caracas. 245 pp.
  - Sachar, R. C., y Murgal, P. 1958. EMBRYOLOGY OF AERVA TOMENTOSA FORSK. *Curr. Sci.* 27: 105-107.
  - Salazar C., L., y López E., J. 1989. CONDICIONES DE HUMEDAD DE SECADO, ACONDICIONAMIENTO Y TEMPERATURA PARA EL REVENTADO DE SEMILLAS DE AMARANTHUS CRUENTUS. Tesis. Depto. de Industrias Agrícolas. Univ. Aut. Chapingo. Méx. 126 pp.
  - Salisbury, F. B., y Ross, C.W. 1978. PLANT PHYSIOLOGY. Wadsworth, Belmont, Calif. 422 pp.
  - Sanabria T., R. 1986. INVESTIGACION DE LA VARIACION DEL CONTENIDO DE ACEITE Y DE LA COMPOSICION DE ACIDOS GRASOS DE DIFERENTES RAZAS DE MAIZ EN MEXICO. Tesis de Quím. biól. Universidad de Sonora, México. 113 pp.
  - Sánchez M., A. 1980. POTENCIALIDAD AGROINDUSTRIAL DEL AMARANTO. Centro de Estudios Económicos y Sociales del Tercer Mundo. Méx. 238 pp.

- Santfín H., C. 1986. PASADO, PRESENTE Y FUTURO DEL AMARANTO. Cuadernos de Nutrición. Documentos 4(1):18-32.
- Sauer, J. D. 1950. THE GRAIN AMARANTHS: A SURVEY OF HISTORY AND CLASSIFICATION. Ann. Missouri Bot. Gard. 37: 561-632.
- Sauer, J. D. 1967. THE GRAIN AMARANTHS AND THEIR RELATIVES: A REVISED TAXONOMIC AND GEOGRAPHIC SURVEY. Ann. Missouri Bot. Gard. 54 (2):103-137.
- Sauer, J. D. 1976. GRAIN AMARANTHS. PP. 4-7. In: Evolution of Crop plants. Simmonds, N.W. (Ed). Longman, London. 339 pp.
- Sauer, J. D. 1977. THE HISTORY OF GRAIN AMARANTHS AND THEIR USES CULTIVATION AROUND THE WORLD. pp. 9-16. In: Proceedings of the First Amaranth Seminar. Rodale Press. Emmaus, Pennsylvania. 133 pp.
- Saunders, R. M. 1984. NUTRITIONAL AND STARCH COMPOSITION STUDIES WITH GRAIN AMARANTH. PP. 46-62. In: Proceedings of the Third Amaranth Conference. Grain Amaranth: Expanding Consumption through Improved Cropping, Marketing and Crop Development. Rodale Press. Emmaus, Pennsylvania. 233 pp.
- Sebastian, K. T., y Deshpande, B. D. 1974. INFLORESCENCE ANATOMY AND FLORAL MORPHOLOGY OF AMARANTHUS LEUCOCARPUS WATS. Acta Bot. Acad. Sci. Hung. 18 (3-4): 355-361.
- Schmidt, D. 1977. GRAIN AMARANTH: A LOOK AT SOME POTENTIALS. pp. 121-130. In: Proceedings of the First Amaranth Seminar. Emmaus, PA. USA. 130 pp.
- Singh, H. 1961. GRAIN AMARANTHS BUCKWHEAT AND CHENOPODS. Indian Council of Agricultural Research. New Delhi. 43 pp.
- Smithe, F. B. 1975. NATURALIST'S COLOR GUIDE. The American Museum of Natural History. USA.
- Soriano J., Brito, de la F., y Tovar, L. 1987. VALOR NUTRITIVO DE SEMILLAS DE AMARANTO PROCESADAS MEDIANTE UN SISTEMA DE LECHO FLUIDIZADO. pp. 233-241. In: Coloquio Nacional del Amarantho. Memoria. Instituto de Desarrollo Estatal para la Acción Social. Qro. 312 pp.
- Sosa C., R. 1983. USO DE AGENTES MUTAGENICOS EN EL MEJORAMIENTO DE ESPECIES VEGETALES. Cuaderno de Investigación. Universidad Agronómica del Estado de Méx.
- Suárez R., G., y Engleman, E. M. 1980. DEPOSITO DE TANINOS EN LA TESTA DE AMARANTHUS HYPOCHONDRIACUS L. (ALEGRÍA). Agrociencia 42:35-50.
- Suárez R., G. 1984. EFECTO DE LA DURACION DEL DIA EN LA FLORACION DE SIETE VARIEDADES DE AMARANTO (AMARANTHUS HYPOCHONDRIACUS L.). Resúmenes del 9o. Congreso Mexicano de Botánica. Méx. D.F. 202-203.

- Suárez R., G., y Cervantes S., J. M. 1987. ESTUDIO MORFOLOGICO Y EVALUACION DE RENDIMIENTO DE A. CRUENTUS L. BAJO CONDICIONES DE RIEGO Y TEMPORAL EN QUERETARO. pp. 2-10. In: Memoria del Coloquio Nacional del Amaranto. Instituto de Desarrollo Estatal para la Acción Social. Qro. 311 pp.
- Subba, R. P. V., y Goering, K. J. 1970. NEW STARCHES V. PROPERTIES OF THE SMALL STARCH GRANULES FROM AMARANTHUS RETROFLEXUS. Cereal Chem. 47 (5): 655-661.
- Sugimoto, Y., Yamada, K., Sakamoto, S., y Fuwa, H. 1981. SOME PROPERTIES OF NORMAL -AND WAXY- TYPE STARCHES OF AMARANTHUS HYPOCHONDRIACUS L. Starch, Stärke 33. (4):112-116.
- Tena F., J. A. 1987. EFECTO DE DIFERENTES TRATAMIENTOS FISICOQUIMICOS EN LA CALIDAD NUTRICIONAL DEL AMARANTO. p. 232. In: Coloquio Nacional del Amaranto. Memorias. Instituto de Desarrollo Estatal para la Acción Social. Qro. Méx. 312 pp.
- Teutonico, R. A., y Knorr, D. 1985. AMARANTH: COMPOSITION, PROPERTIES, AND APPLICATIONS OF A REDISCOVERED FOOD CROP. Food Technology. 39 (4): 49-60.
- Tomita, Y., Sugimoto, Y., Sakamoto, S., y Fuwa, H. 1981. SOME PROPERTIES OF STARCHES OF GRAIN AMARANTHS AND SEVERAL MILLETS. J. Nutr. Sci. Vitaminol. 27:471-484.
- Tucker, B. J. 1986. AMARANTH: THE ONCE AND FUTURE CROP. BioScience 36 (1): 9-13.
- Vázquez C., M. G., Espitia R., E., y Márquez S., A. R. 1987. EFECTO DE LOCALIDAD, METODOS DE REVENTADO Y GENOTIPO EN EL POTENCIAL DE REVENTADO Y CALIDAD PROTEINICA DEL AMARANTO. pp. 242-254. In: Coloquio Nacional del Amaranto. Memoria. Instituto de Desarrollo Estatal para la Acción Social. Qro. Méx. 312 pp.
- Velasco L., A. M. L., y Heyden, D. 1986. EL USO Y LA REPRESENTACION DEL AMARANTO EN LA EPOCA PREHISPANICA SEGUN FUENTES HISTORICAS Y PICTORICAS. pp. 8-22. In: El Amaranto *Amaranthus* spp. (Alegría). Su Cultivo y Aprovechamiento. C.P. Chapingo, Méx. 577 pp.
- Wolf, M. J., MacMasters, M. M., y Rist, C. E. 1950. SOME CHARACTERISTICS OF THREE SOUTH AMERICAN SEEDS FOR FOOD. Cereal Chem. 27: 219-222.
- Woodcock, E. F. 1931. SEED DEVELOPMENT IN AMARANTHUS CAUDATUS L. Papers Mich. Acad. Sci. 15:173-178.