



194  
201

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESTUDIO CITOGÉNICO EN ALGUNAS ESPECIES  
PRODUCTORAS DE SEMILLAS DEL  
GÉNERO *Amaranthus* L.**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**B I O L O G O**  
P R E S E N T A  
**REYES RUBI VELASCO**



MÉXICO, D. F.

1992

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## **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.

## I N D I C E

	Paqs.
RESUMEN	1
INTRODUCCION	4
ANTECEDENTES	8
OBJETIVOS	44
MATERIAL Y METODOS	45
RESULTADOS	49
DISCUSION	52
CONCLUSIONES	59
BIBLIOGRAFIA	61

## RESUMEN

El presente trabajo contribuye a la caracterización cromosómica de cinco taxa de *Amaranthus*: *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo azteca, *Amaranthus cruentus* L. tipo mexicano, ambos tipos cultivados y apreciados por su semilla. *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo mixteco, planta semicultivada que crece en asociación con maíz, frijol, calabaza, tomatillo y epazote. Se siembra a "Chorrillo" superficialmente en el momento de barbechar la milpa antes de sembrar el maíz. Cuando ya se ha desarrollado se cosecha como verdura dejando algunas plantas al final del ciclo de cultivo para que al quedar las semillas en la milpa el año siguiente vuelva haber plantas para verdura. *Amaranthus hybridus* L., especie ruderal que crece en los márgenes de los cultivos de maíz y *Amaranthus hybridus* L. y *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo mixteco, planta arvense, utilizadas ambas como verdura. Estos taxa representan parte del gradiente de germoplasma que existe en nuestro país. Fueron colectados en el Distrito Federal y los estados de México, Morelos y Puebla.

Se determinaron los números cromosómicos somáticos ( $2n$ ) y se informan por primera vez los cariotipos para cada uno de los taxa estudiados, en poblaciones mexicanas, así mismo se analizaron las variaciones cromosómicas entre estos para establecer las diferencias interespecíficas.

Se observó que a pesar de existir en los cinco taxa analizados marcadas diferencias morfológicas, fisiológicas y en los ambientes ecológicos donde crecen, presentan cierta semejanza en la simetría de sus cariotipos. Sus cromosomas son muy pequeños midiendo entre 0.5 - 1.8  $\mu$ m: se observan cromosomas metacéntricos (m), submetacéntricos (sm), subtelocéntricos (st), telocéntricos (t) y la presencia de entre 6 y 11 pares de satélites.

Los números y la fórmula cromosómica observada en los taxa analizados son las siguientes: En *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo azteca se observó  $2n=34$  con  $6m + 3sm + 3st + 5t$ , no existiendo variaciones en las tres poblaciones estudiadas. *Amaranthus cruetus* L. tipo mexicano con  $2n=34$  y un cariotipo de  $6m + 3sm + 2st + 6t$ , resultando estos parecidos. En *Amaranthus hybridus* L. se observó en cada una de las 10 plantas analizadas,  $2n=34$  en (76%),  $2n=32$  en (16%) y  $2n=33$  en (8%). Variaciones similares se han informado para plantas híbridas entre *Amaranthus hypochondriacus* L.  $n=16$  y *Amaranthus hybridus* L. africano  $n=17$ , la fórmula cromosómica para el  $2n=34$  es  $5m + 3sm + 3st + 6t$ . *Amaranthus hybridus* L.  $\times$  *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo mixteco con  $2n=34$  y presentó  $5m + 2sm + 3st + 7t$ . El cariotipo de *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo mixteco resultó el más diferente en relación con los otros cuatro, ya que presentó  $2n=32$  y cuya fórmula cromosómica es  $8m + 1sm + 3st + 4t$ .

La aparición de cromosomas metacéntricos, submetacéntricos, subtelocéntricos y telocéntricos en todos los taxa estudiados sugiere que en la evolución de estos cariotipos han estado involucrados rearrreglos estructurales en sus cromosomas, como son deleciones e inversiones paracéntricas como ya ha sido observado en híbridos de especies del género *Amaranthus* (Khoshoo y Pal, 1972; Pal y Khoshoo, 1973).

## INTRODUCCION

México debido a la gran diversidad de condiciones orográficas, climatológicas, geológicas e hidrológicas que presenta, alberga un gran número de especies vegetales (Rzedowski, 1981), así mismo está localizado, en el área que Vavilov (1951), denominó el Centro Mesoamericano de origen de las plantas cultivadas. Se considera que en nuestro país existen entre 5000 a 7000 especies de plantas útiles, de las cuales entre 1000 a 1500 son comestibles, lo que refleja el amplio espectro de recursos fitogenéticos disponibles (Caballero, 1985). Sin embargo diversos autores han discutido el marcado interés en el aprovechamiento de los recursos vegetales por el hombre en la actualidad. En particular en el caso de las plantas comestibles se ha señalado que la producción mundial de alimentos se basa en un conjunto no mayor de 50 especies, aunque existen varios miles de especies diferentes que también son útiles para la alimentación (Caballero y Sarukhán, 1982). Los más optimistas calculan en 80000 el número de plantas comestibles del mundo (Biswas y Biswas, 1975). Esto representa una gran posibilidad de ampliar el número de plantas usadas en la alimentación del hombre. Sin embargo esto requiere de intensos estudios para: detectar, conocer, evaluar, propagar y posteriormente poder utilizar el recurso en todo su potencial. Este es el caso de algunos taxa de *Amaranthus* originarios de México y en donde se encuentra

representada una amplia gama de su germoplasma (Gauer, 1950; Gauer, 1977)

El género *Amaranthus* esta constituido por cerca de 50 especies (Feine et al., 1979) y crece en climas templados y tropicales. En México existen varias formas de amaranto en distintas etapas de domesticación; encontrándose algunas cultivadas, semicultivadas, arvenses, ruderales y malezas: (Mapes, 1989). Algunas de las formas cultivadas son apreciadas por su grano y en varias de las semicultivadas, arvenses y malezas, sus hojas son utilizadas como verdura. Estas y otras condiciones colocan a el amaranto como un recurso promisorio susceptible de ser explotado en el futuro como alimento humano derivando de esto el interés por caracterizar citológicamente las distintas especies y variedades, particularmente las que tienen origen en México. (Palomino, 1986 a ; Palomino, 1991 b).

Esta información podría sentar las bases para establecer estrategias en la conservación del germoplasma del amaranto y para complementar programas de fitomejoramiento genético en algunos taxa de este género de particular interés (Palomino, 1986 a; Palomino, 1991 b)

En este sentido los estudios citogenéticos en plantas superiores contribuyen con el análisis de sus cromosomas desde muy diversos puntos de vista y que tienen como finalidad obtener información que permita entender el sentido de los procesos de evolución bajo domesticación, en el caso de plantas utilizadas por el hombre, así como la

variación de la poliploidia entre las especies cultivadas y silvestres (Kato, 1978).

La caracterización citogenética es de notable interés y comprende, la obtención del número cromosómico ( $2n$  y  $n$ ), los cuales ofrecen información respecto al número básico de los grupos de ligamiento génico y cuantas veces estos se repiten, proporcionando un indicador sencillo y rápido de la similitud genética gruesa entre poblaciones o especies (Kenton, 1986).

El análisis del cariotipo provee información respecto a las relaciones de brazos en los cromosomas que componen el genotipo de una especie y son usualmente similares en poblaciones y especies relacionadas; situación que incrementa la posibilidad de entrecruzamiento. Como Palomino et al. (1988 a) lo determinaron en *Nyctocereus* y en *Echeandia* (Palomino y Romo, 1988 b). Basados en estos análisis fue posible determinar citotipos diferentes en poblaciones de *Crotalaria* de distintas localidades de México donde se distribuyen estas especies (Palomino y Vázquez, 1991 a).

El análisis del comportamiento de los cromosomas meióticos, proporciona otro indicador de relación de especies a nivel genómico y permite establecer el número y posición de los quiasmas, proporcionando el grado de recombinación entre los genomios individuales y es importante para conocer la segregación génica de la siguiente generación, conocimiento indispensable para las

investigaciones a cerca de la evolucion de las plantas. determinar sus centros de variacion. asi como para conocer y utilizar los recursos fitogeneticos existentes y sentar las bases para el mejoramiento vegetal de los taxa considerados con potencial económico (Kenton, 1986). Como es el caso de *Salvia* (Palomino et al., 1986 b), de *Chenopodium* y *Teloxys* (Palomino et al., 1990) y de *Crotalaria* (Palomino y Vázquez, 1991 a)

## ANTECEDENTES

### LA CITOGENETICA

La citogenética es la disciplina que surge cuando se integran la genética y la citología, a principios de este siglo, ante la necesidad de relacionar los hechos descritos por la genética con los fenómenos que ocurren en el interior de la célula. Esta disciplina se ocupa de la organización química y genética de los cromosomas, de la correlación de las características genéticas y citológicas, especialmente de los cromosomas que caracterizan a un organismo.

Esencialmente su campo de estudio comprende el comportamiento cromosómico durante la mitosis y la meiosis, su origen y relación con la transmisión y recombinación de los genes (Sutton, 1903). En otro sentido la citogenética estudia también los aspectos conservadores de la herencia y de los diversos modos de expresión génica (Swanson *et al.*, 1968).

Las primeras contribuciones en este campo la hizo Montgomery en (1901) cit. por Sáez y Cardoso (1978), a las que siguieron las de Sutton, Wilson, Cannon, Boveri y Grever en (1902) cit. por Sáez y Cardoso (1978) y en (1903) Sutton-Boveri consolidan la teoría cromosómica de la herencia cuyos puntos esenciales son:

Los genes está situados sobre los cromosomas:

Su ordenación sobre los mismos es lineal:

Al fenómeno genético de la recombinación le corresponde un

fenómeno citológico de intercambio de segmentos cromosómicos.

TC: Morgan y colaboradores. trabajando con *Drosophila melanogaster* sientan las bases experimentales de la teoría cromosómica de la herencia marcando de esta forma una etapa fundamental del nacimiento de la citogenética.

Algunos de los aportes técnicos que han impulsado a la citogenética en forma significativa son:

Uso de colorantes específicos de los cromosomas con el propósito de facilitar su observación.

Método de aplastamiento (Squash). Esta técnica mejoró la investigación de la meiosis al reemplazar el sistema de cortes en parafina y la posterior reconstrucción de los cromosomas mediante el dibujo.

El empleo de la colchicina ; que permitió acumular las mitosis y de esta manera acumular el número de preparaciones estudiadas.

Técnicas de bandeado cromosómico, aparecen a principios de esta década y permiten una identificación mucho más correcta, contribuyendo en gran medida al conocimiento de su estructura (Saez y Cardoso, 1978).

#### COMPOSICION DE LOS CROMOSOMAS

El cromosoma es una estructura de ligamiento constituida por una secuencia lineal específica de genes (Rieger et al., 1982) y está constituido por ácidos nucleicos, especialmente el desoxirribonucleico (ADN) que en

los eucariontes se encuentra asociado principalmente a proteínas básicas de bajo peso molecular llamadas histonas y a proteínas ácidas no histónicas, los cromosomas contienen además lípidos, calcio, magnesio, y posiblemente hierro, (Swanson *et al.*, 1968; Lacadena, 1988).

El ADN es una macromolécula en forma de doble hélice constituida por dos largas cadenas complementarias de nucleótidos, que se enrollan sobre sí y que se componen por cuatro bases nitrogenadas dos purinas: adenina y guanina, y dos pirimidinas: citocina y timina, asociadas a la desoxirribosa y a una molécula de ácido fosfórico. Su replicación es en forma semiconservativa (Watson y Crick, 1953).

En los organismos superiores normalmente cada célula contiene dos juegos completos de cromosomas, cada uno provenientes de los progenitores, cada par de cromosomas es llamado homólogo, cuando ambos homólogos llevan el mismo alelo se dice que la célula es homociga y el organismo homocigoto, en tanto que si los alelos son diferentes esta es heterociga y el organismo heterocigoto (Dyer, 1979).

Los cromosomas están implicados esencialmente en dos actividades fundamentales: 1) las concernientes a la transmisión de la información genética de célula a célula y de generación a generación; 2) las relacionadas con la liberación ordenada de esta información para el control de las funciones celulares y del desarrollo. Las actividades sintéticas principales relacionadas con estas funciones son

la síntesis de ADN y ARN, respectivamente (Rieger et al., 1982).

#### MORFOLOGIA DE LOS CROMOSOMAS

La morfología del cromosoma es el aspecto externo que éste presenta en determinada etapa del ciclo celular, ya que depende del estado fisiológico en que se encuentre la célula; en forma de delgados filamentos durante la interfase nuclear o bien como elementos compactos de tamaño y forma característica, en las fases finales de la división celular (Sáez y Cardoso, 1978)

Cuando se estudian los cromosomas en metafase se observa que presentan por lo general un centrómero: constricción primaria que divide cada cromosoma en dos brazos, además de ser el organulo de movimiento de los cromosomas de todas las células: los cromosomas que carecen de centrómero no pueden anclarse en el huso en la metafase y en la anafase, y por eso no se segregan adecuadamente (Smith y Keary, 1979)

Los extremos de los cromosomas se denominan telómeros, los cuales presentan cierta polaridad que impide que otros segmentos puedan unirse al cromosoma directamente.

En metafase también se pueden observar constricciones secundarias que son estrechamientos cromosómicos constantes en su posición y tamaño, pueden ser cortas o largas, pero sin llegar a separarse del cromosoma, (Swanson et al., 1968; Lacadena, 1988).

Un segundo tipo de constricciones secundarias descritas por Lacadena (1988) son los satélites: cuerpos redondeados separados del resto del cromosoma por delgados filamentos cromatínicos que pueden tener distinto largo, así como el tamaño de la cabeza del satélite, que puede ser del mismo diámetro o menor que el del cromosoma, y puede ser intersticial o terminal.

Por el aspecto que los cromosomas presentan en metafase o anafase Levan *et al.* (1964) los clasifica en cuatro tipos:

- Telocéntricos; el centrómero se presenta en el extremo proximal de modo que el cromosoma tiene un solo brazo.
- Subtelocéntrico; el centrómero se localiza en posición subterminal, dando lugar a la formación de un brazo muy pequeño.
- Submetacéntrico; los brazos son desiguales.
- Metacéntrico; los brazos son iguales o casi iguales en forma de V.

En condiciones normales, esta morfología es constante para cada par de cromosomas homólogos. Levan *et al.* (1964) propusieron que la clasificación de los cromosomas por la posición del centrómero no se haga en base a apreciaciones subjetivas sino basándose en medidas. Naranjo *et al.* (1986) desarrolló una plantilla para clasificar los cromosomas, siguiendo los criterios señalados por Levan *et al.* (1964) pero con la modificación de incluir en el brazo correspondiente el segmento de cromatina del satélite.

## CARIOTIPO Y NUMERO BASICO

El cariotipo es el complemento cromosómico particular de un individuo o de un grupo de individuos relacionados, definido por el número y morfología de los cromosomas usualmente en la metafase mitótica (Dyer, 1979 ; Lacadena, 1988)

Los cariotipos se definen con respecto a seis características cromosómicas: 1) número básico, 2) tamaño absoluto, 3) tamaño relativo, 4) relación de brazos, 5) número y tamaño de constricciones secundarias y 6) distribución y tamaño de segmentos hetero y eucromáticos (Stebbins, 1971; Sáez y Cardoso, 1978).

El cariotipo puede ser representado en forma diagramática por medio de un esquema que se denomina idiograma, cuya construcción se basa en las medidas de la longitud cromosómica total y el cociente de la longitud de los brazos, así como en la posición relativa del centrómero, la localización de los satélites y los cromómeros, cada cromosoma se representa por una línea o barra en la que se indican estos marcadores citológicos. Esta representación diagramática del cariotipo se integra con la información de varias células. La posición del centrómero se calcula a partir de la longitud total y las longitudes de los brazos largos y cortos de los cromosomas en cuestión y se expresa como una diferencia del brazo largo menos el brazo corto bien como un índice centromérico. (García, 1990).

El análisis comparativo de los cariotipos puede mostrar las diferencias entre las especies y también puede dar indicios de como surgieron estas diferencias en el curso de la evolución. Esto permite detectar las interrelaciones entre las distintas categorías taxonómicas. sin embargo una medida más exacta de la homología cromosómica se logra con el estudio del apareamiento durante la meiosis (grado de sinapsis, frecuencia de quiasmas y la presencia de univalentes y configuraciones cromosómicas (bivalentes o multivalentes) observados en híbridos entre los individuos poseedores de los cariotipos en estudio. Consideraciones sobre cariotipos junto con distribución geográfica y características estructurales permiten interpretar la evolución y filogenia de los organismos sobre una base firme (White, 1973; García, 1990).

Los cariotipos pueden diferir respecto a su número cromosómico básico, la forma, tamaño relativo de los cromosomas, el número y tamaño de las constricciones secundarias, el tamaño absoluto de los cromosomas, la distribución y el tamaño de los segmentos cromosómicos hetero y eucromático. (Stebbins, 1971; Lacadena, 1988).

Los cariotipos pueden ser simétricos: compuestos esencialmente por cromosomas similares en tamaño (todos con centrómeros medianos o submedianos), o bien el cariotipo puede ser asimétrico; aquellos con cromosomas que difieren mucho en tamaño con centrómeros terminales o subterminales. (Stebbins, 1971). La evolución cariotípica como consecuencia

de cambios cromosómicos estructurales (translocaciones, fusiones centroméricas, etc.). ésta asociado usualmente con una reducción progresiva del número cromosómico básico y aumento en la asimetría (Stebbins, 1971).

El número cromosómico somático puede proporcionar información respecto al número básico de grupos de ligamiento génico y cuantas veces estos se repiten, constituyendo así un indicador fácil y rápido del grado de similitud génica gruesa entre poblaciones o especies (Kenton, 1986).

El número básico es el número haploide más bajo de una serie poliploide y se designa con la letra  $x$ , todos los números cromosómicos que sean múltiplos exactos del número básico se llaman euploides, todos los números que se desvían de  $x$  por cromosomas únicos y sus múltiplos se llaman aneuploides. El número básico es usado generalmente para complementar características morfológicas y en este sentido es un indicador útil, sin embargo puede conducir a consideraciones erróneas en lo que se refiere al grado de relación entre genotipos y taxas, por lo que un muestreo adecuado entre y dentro de las poblaciones, es de fundamental importancia para definir a las especies citológicamente, ya que las diferencias en el número básico debidas a aneuploidias o cambios estructurales, pueden estar presentes en las mismas aun cuando estas difieran muy poco en cuanto a su morfología Brighton et al. (1983) cit. por Kenton (1986) Otras especies morfológicamente constantes

varian citológicamente en forma notable (Ainsworth et al., 1983). Mientras que en algunos grupos el número cromosómico es altamente constante a pesar de cambios en la morfología externa (Molseed, 1970; Kenton y Heywood, 1984).

El tamaño de los cromosomas es variable, y puede oscilar entre 35  $\mu\text{m}$  en las plantas del género *Trillium* hasta dos  $\mu\text{m}$  en algunos insectos (Sáez y Cardoso, 1978)

#### MUTACIONES

Las mutaciones son cambios del orden o contenido del material genético que no es causado por segregación ni recombinación genética (Dyer, 1979)

Estos cambios afectan la constitución física o química, replicación, o recombinación de uno o más desoxirribonucleótidos Herskowitz (1965).

Las mutaciones pueden ocurrir espontáneamente y pueden inducirse experimentalmente por la aplicación de mutágenos físicos o químicos.

Estas alteraciones se clasifican en los siguientes grupos:

a) Mutaciones génicas o puntuales: Comprende cambios dentro de los genes mismos, debido a la adición, la pérdida o la sustitución de uno o algunos de los nucleótidos dentro del gen. Por lo que se pueden clasificar como mutaciones por sustitución de una base, producida por el reemplazo o la sustitución de un par de bases por otro, manteniéndose inalterable el número total de bases en el mensaje genético.

y mutaciones por corrimiento de mensaje, debidas a la adición o a la pérdida de uno o dos pares de bases en el ADN.

b) Mutaciones cromosómicas: Incluyen cambios en la estructura de uno o más cromosomas y cambios en el número de cromosomas (Smith y Keary, 1979).

Las alteraciones estructurales se pueden producir durante la interfase y profase, cuando los filamentos cromosómicos se rompen ya que en el momento en que vuelven a unirse, esto puede suceder en la forma en que estaban al principio, o bien en forma diferente (Stebbins, 1971).

Dentro de las alteraciones estructurales se consideran: deleciones, duplicaciones, inversiones, translocaciones, fusiones y fisiones (Dobzhansky, 1970).

**Delección:** Es la pérdida de una parte del cromosoma. esta puede ser intersticial o terminal. por otro lado las deleciones hacen posible la localización cromosómica de los genes.

**Duplicación:** El cromosoma presenta una porción extra y es probable que se forme por una translocación. Estas alteraciones permiten investigar los efectos de un grupo adicional de genes en los loci correspondientes cuyo efecto depende de la región genética que se halla presente en la duplicación.

**Inversión:** Alteración del orden secuencial de los genes por rotación de 180 grados de un segmento invirtiendo el orden de los genes en el cromosoma. Se produce por dos

fracturas en el cromosoma original. cuando el segmento invertido incluye el centrómero constituye una inversión pericéntrica y cuando este se encuentra situado fuera del segmento invertido será paracéntrica. Las inversiones alteran el orden de ligamiento.

**Translocación:** Es el intercambio de segmentos de cromosomas entre cromosomas diferentes o bien la transferencia de un segmento cromosómico a un lugar distinto del mismo cromosoma o de otro cromosoma.

**Fusiones:** Son translocaciones de brazos casi enteros de cromosomas telocéntricos y subtelocéntricos que han sufrido fracturas cercanas al centrómero, dando lugar a cromosomas metacéntricos y a un pequeño segmento centrómero que tiende a ser eliminado, produciéndose un nuevo tipo de cromosoma y disminuyendo el número cromosómico del cariotipo de la especie.

**Fisiones:** Consisten en la formación de dos cromosomas telocéntricos o subtelocéntricos a partir de un metacéntrico, ya sea por la fisión del centrómero del metacéntrico o bien por disociación de un metacéntrico grande y un fragmento centrómero donador que se translocan para formar dos subtelocéntricos.

Al analizar en detalle poblaciones de plantas de una especie en particular, ocasionalmente se pueden encontrar individuos con un número de cromosomas que difiere del número somático característico de la especie. Así mismo el hecho de que el núcleo generalmente contenga dos y los

gametos solamente uno de cada cromosoma característico de la especie puede ser alterado por disturbios en el movimiento o la distribución de los cromosomas o juegos completos de cromosomas. Estas variaciones se pueden agrupar bajo el concepto de heteroploidia, dentro de la cual se consideran las siguientes: Haploidia, poliploidia y aneuploidia (Sáez y Cardoso, 1978)

Un organismo haploide tiene el número cromosómico de un gameto de la especie, es decir que cada cromosoma está representado solo una vez en el núcleo (Dobzhansky, 1970).

La poliploidia se presenta cuando un organismo posee más de dos juegos completos de cromosomas en sus células somáticas, es decir que los cromosomas pueden estar representados tres, cuatro, cinco o más veces, denominándoseles como triploide, tetraploide y pentaploide respectivamente. Esto significa que el tipo de poliploide va estar determinado por el número de veces que se encuentran representados los juegos de cromosomas (Sáez y Cardoso, 1978)

Si los genomas que intervienen en la constitución cromosómica de una planta poliploide son idénticos, es decir que provienen del mismo individuo, dichas plantas reciben el nombre de autopoliploides. Los poliploides cuyos números cromosómicos están integrados por la conjunción de genomas diferentes, o parcialmente diferentes, ya sea que provengan de plantas con el mismo o diferente número de cromosomas se llaman alopoliploides. Estos cambios acontecen comúnmente en

los vegetales y constituyen uno de los procesos que actúan en su evolución (Rieger et al., 1962).

Las variaciones numéricas, llamadas aneuploidias son aquellas en las que el complemento cromosómico no está compuesto de un número exacto de cromosomas es decir que los aneuploides se caracterizan por tener genomas incompletos. Si al aneuploide le faltan cromosomas se llama hipoploide y si le sobran hiperploide o polisómico (Curtis, 1976). Esto se debe a una falla en la separación de los cromosomas durante la meiosis. uno de los cromosomas pasa junto con su homólogo al mismo polo y una vez realizada la segunda división pasa a formar parte del mismo gameto. este fenómeno se denomina no disyunción. Un gameto así formado al unirse con otro normal. dará origen a un organismo trisómico ( $2n + 1$ ).

#### EVOLUCION DE LOS CARIOTIPOS

La teoría de la evolución del cariotipo propuesta por Levitsky (1931) cit. por Stebbins (1971) establece que al analizar especies cercanas aquellas cuyo complemento cromosómico consta en su mayor parte de cromosomas metacéntricos o submetacéntricos, tienen cariotipo simétrico y corresponde a especies primitivas, en tanto que las especies más avanzadas tienen cariotipo asimétrico, compuesto en su mayor parte de cromosomas acrocéntricos y telocéntricos. Al respecto existen trabajos que fundamentan la evolución de un cariotipo asimétrico a partir de un

cariotipo simétrico. como es el caso del estudio de Stebbins (1971) quien examinando algunas especies de la familia Ranunculaceae. encuentra que *Delphinium* y *Aconitum* tienen flores zigomórficas muy especializadas y presentan cariotipo asimétrico, en tanto que *Caltha*, *Nigella* y *Cimicifuga* tienen flores actinomórficas poco especializadas y cariotipo simétrico.

La formación de cariotipos asimétricos puede deberse a inversiones pericéntricas, así como a fusiones y translocaciones desiguales en algunas porciones de los brazos cromosómicos (Stebbins, 1971)

Si un cromosoma metacéntrico origina cromosomas subtelocéntricos o telocéntricos, las inversiones pericéntricas pueden reducir el número fundamental de brazos cromosómicos bien desarrollados y la formación de cromosomas metacéntricos a partir de la fusión céntrica de cromosomas acrocéntricos o telocéntricos origina siempre la transferencia de todo el brazo cromosómico, reduciendo de esta manera el número cromosómico. Así mismo los fragmentos cromosómicos pueden perderse reduciéndose el número fundamental de brazos intercambiados, así como la morfología.

Un aspecto más considerado en la evolución del cariotipo es el origen de los cariotipos bimodales, el cual se aborda en dos direcciones:

Stebbins (1971) Sugiere que estos derivan de cariotipos simétricos de origen poliploide y que los cromosomas

pequeños pueden ser el resultado de algunas pérdidas de los segmentos cromosómicos. Por otro lado Levitzky, cit., por Stebbins (1971) considera que el cariotipo bimodal puede resultar de las translocaciones desiguales en base a que ciertos cromosomas contribuyen periódicamente con segmentos a otros cromosomas del mismo complemento cromosómico, por lo que el cromosoma o los cromosomas donadores llegan a reducir su talla y los que reciben segmentos los incrementan.

#### REPRODUCCION CELULAR

El crecimiento en los organismos se produce por la formación de nuevas células mediante el proceso denominado división celular, que junto con la interfase constituye el ciclo celular. Durante la interfase, las células pasan por un período de crecimiento o síntesis durante el cual se duplica el ADN y las proteínas de los cromosomas: También se sintetizan otros materiales para la posterior división de la célula, como los precursores del huso y probablemente un almacenamiento de energía en forma de ATP. En base a las actividades sintéticas, la interfase se divide en tres subfases: G<sub>1</sub>, S y G<sub>2</sub>. (Curtis, 1976)

La división celular es el fenómeno citológico por el que una célula origina dos células hijas, cada una de las cuales recibe en condiciones normales idéntica información genética (Lacadena, 1988). Este fenómeno se lleva a cabo mediante dos procesos normalmente sincronizados: la mitosis

también denominada cariocinesis y la citocinesis (Dyer, 1979)

La mitosis es el proceso de división nuclear que produce núcleos hijos que contienen números cromosómicos iguales y son genéticamente idénticos entre sí. Este proceso es una secuencia continua de hechos que para su estudio se puede dividir en cinco estadios: Profase, prometafase, metafase, anafase y telofase. Siendo en la metafase donde se lleva a cabo el estudio de los cromosomas mitóticos, por ser el estadio en que se observa mejor su morfología. En esencia el fenómeno consiste en la condensación de los cromosomas, su alineación en la placa ecuatorial y la separación de las cromátidas hermanas de cada cromosoma para posteriormente desplazarse hacia los polos y finalmente se reconstruye la membrana nuclear produciéndose dos núcleos hijos. Es un proceso controlado genéticamente y mantiene la continuidad del número y tipo de cromosomas (Rieger et al., 1982).

La duración de las fases de la mitosis varía considerablemente bajo diferentes condiciones ambientales y de organismo a organismo. El tiempo total para que se complete la mitosis puede variar de cinco a diez minutos hasta varias horas, los valores promedio oscilan entre 30 minutos a dos o tres horas, de las fases de la mitosis, la profase es la más larga, le sigue la telofase, luego la metafase y finalmente la anafase que necesita el menor tiempo para su terminación (Swanson et al., 1968).

La citocinesis tras repartir más o menos ecutativamente los organulos y componentes citoplasmicos a las células hijas, las independiza por la formación de la pared celular de separación. dando lugar a células nuevas (Lacadena, 1988).

La división celular somática en las plantas superiores ocurre principalmente en las yemas de los tallos, en las puntas de las raíces y en el cámbium. es decir en los meristemas primarios y secundarios (Curtis, 1976).

#### RECURSOS GENETICOS

Diversos autores han discutido el marcado interés del hombre en el aprovechamiento de los recursos vegetales en la actualidad. En particular en el caso de las plantas comestibles se ha señalado que la producción mundial de alimentos se basa en un conjunto no mayor de 50 especies, aunque existen varios miles de especies diferentes que también son útiles para la alimentación (Caballero, 1985). Los más optimistas calculan en 80000. el número de plantas comestibles del mundo (Biswas y Biswas, 1975)

Por otro lado es ya conocido que la flora de nuestro país es una de las más ricas y que nuestra tradición etnobotánica es amplia. En México existen de 5000 a 7000 especies de plantas útiles de las cuales unas 1000 ó 1500 son comestibles. Con esto tenemos un gran espectro de

recursos genéticos disponibles de valor potencial (Caballero, 1985).

El concepto de recurso genético, según Hernández X. (1985) surge de las aspiraciones de la genética a la modificación de la herencia de las poblaciones. Se refiere a la capacidad del mecanismo hereditario de un organismo de aportar características útiles a organismos deseados por el hombre. En este sentido Hawkes (1983) define a los recursos genéticos como toda la diversidad genética existente de las especies cultivadas y sus parientes silvestres, la cual es valiosa para los fitomejoradores. Aunque Franquel (1978) y con posterioridad el mismo Hawkes (1985), cit., por Caballero (1985) incluyen en su definición a todas las especies silvestres del planeta, lo cierto es que la noción de recursos genéticos se circunscribe básicamente al conjunto de cultivos de importancia comercial (Caballero, 1985).

Con base en los criterios de Hernández X. (1985) los recursos genéticos de valor potencial podrían definirse de acuerdo a cuatro características fundamentales: 1) No se incluyan en los 20 o 30 complejos genéticos de plantas cultivadas de interés económico, para los países industrializados. 2) Por algún motivo sólo tienen interés regional. 3) Son conocidos y manejados por las poblaciones rurales bajo su sistema tradicional de subsistencia. 4) Representan capacidad genética conocida pero aún no

utilizada parcial o totalmente para generar plantas útiles al hombre.

El amaranto constituye un ejemplo de un recurso genético de alto valor potencial, particularmente en México donde se ubica uno de los centros de origen y diversidad de sus especies (Sauer, 1950; Sauer, 1977). particularmente para *Amaranthus hypochondricus* y *Amaranthus cruentus* (Jain y Kulakov, 1988; Devadas y Malika, 1991)

Las plantas de *Amaranthus* son hierbas anuales de gran interés biológico, económico y social. Algunas de sus especies se cultivan para producción de grano como pseudocereal, también es ampliamente usado como verdura, en la ornamentación y en la obtención de colorantes (Grubben and van Sloten, 1981)

Uno de los aspectos más importantes del amaranto, es la gran cantidad de proteínas que contienen sus semillas, como es el caso de: *Amaranthus hypochondriacus*, *Amaranthus cruentus* y *Amaranthus caudatus*. que se cultivan para producción de granos, los cuales poseen una gran cantidad del aminoácido conocido como lisina. El trigo, el arroz, el maíz y otros cereales se consideran alimentos incompletos porque no contienen lisina suficiente para conservar la salud del ser humano. El amaranto contiene el doble de lisina que la que tiene el trigo, el triple de la que tiene el maíz y casi la misma cantidad que se encuentra en la leche por lo que se considera uno de los alimentos de gran

valor desde el punto de vista nutricional (Gruben y van Sloten, 1981)

Muchas de las especies no cultivadas son utilizadas a manera de verdura por diferentes grupos de campesinos del país. Entre las especies más frecuentemente utilizadas se encuentran: *Amaranthus hybridus*, *Amaranthus retroflexus*, *Amaranthus dubius* Mart. ex Fretlung, *Amaranthus tricolor* S. Wats, *Amaranthus powellii* S. Wats, *Amaranthus spinosus*, y *Amaranthus blitoides* (Mapes et al., 1988). Las hojas de estas plantas se pueden cocinar como las espinacas, acelgas, o verdolagas, superando a estas por mucho en el rengión alimenticio, ya que una cantidad de 100 gr. de amaranto aportan suficiente Calcio, vitamina A, tiamina, riboflavina y vitamina C, según los requerimientos dietéticos establecidos por el gobierno de los Estados Unidos (Bye, 1981). Por otra parte, estas plantas presentan sustancias secundarias que en grandes cantidades son tóxicas: sin embargo si se consumen en estado tierno no llegan a acumularse en cantidades suficientes para causar algún daño. Así mismo el cocimiento las destruye. Otra ventaja de consumirlas en estado tierno es que el grado de lignificación es mucho menor, comparado con las partes viejas y además se aumenta la palatividad (Bye, 1981)

De los taxa analizados en este estudio: *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo azteca, cultivado, es apreciado por su semilla blanca, *Amaranthus cruentus* L. tipo mexicano también es cultivado y apreciado por su semilla. *Amaranthus*

*hypochondriacus* L. tipo mixteco, son plantas semicultivadas altamente adaptadas a los cultivares de maíz. se consume en estado tierno y se mantienen constantemente entre las plantas de maíz, para cosechar primordios (Mapes, 1992, com. pers). *Amaranthus hybridus* L. tiene características ruderales crece en los márgenes de los cultivos de maíz. lo consumen tierno como verdura. eliminándolo después por competir con los cultivares. *Amaranthus hybridus* L. } *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo mixteco, es considerado arvense, sus hojas tiernas son utilizadas como verdura.

Otras ventajas del cultivo del amaranto son:

- Es una planta mexicana adaptada a la agricultura de temporal.
- Es tolerante a las altas temperaturas, aunque poco resistente a las heladas.
- Se puede sembrar en una amplia variedad de suelos pero preferentemente en los suelos bien drenados.
- Presenta gran tolerancia a la salinidad.
- Crece mejor en condiciones de baja disponibilidad de agua y altas temperaturas.

Estas condiciones colocan a el *Amaranthus* como un recurso promisorio susceptible de ser explotado en el futuro como alimento humano derivando de esto el interés por caracterizar citológicamente las distintas especies y variedades, particularmente las que tienen origen en México (Palomino, 1986 a ; Palomino, 1991 b). Esta información podría sentar las bases para establecer estrategias en la

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

conservacion del germoplasma del amaranto y para implementar programas de fitomejoramiento genético en algunos taxa de este género de particular interés.

#### TAXONOMIA

La familia Amaranthaceae, esta compuesta por hierbas anuales de origen tropical, que se adaptan bien a climas templados. Sus principales centros de distribución son los trópicos de América y la India, aunque en los trópicos de Africa y Australia también existe un importante número de especies de la familia la cual está constituida por 60 géneros y cerca de 800 especies (Feine et al., 1979; Sauer, 1967).

El género *Amaranthus* L. aunque cosmopolito es predominantemente tropical, e incluye cerca de 50 especies nativas de los trópicos y de las regiones templadas de todo el mundo (Feine et al., 1979) Su clasificación taxonómica, ha sido bastante conflictiva y la identificación de los taxa es, a menudo complicada por la falta de caracteres cualitativos discretos que definan a las especies, la gran plasticidad fenotípica que estas poseen y la existencia de híbridos e introgresantes con características intermedias (Hauptli y Jain, 1978; Covas, 1984). Debido a esto se han buscado características de interés taxonómico que faciliten la identificación de las especies: como es el caso de algunos caracteres reproductivos y vegetativos (Sauer, 1950;

1967; Walton, 1968 y Pal, 1972). Dentro de los aspectos reproductivos de interés taxonómico se encuentran: la inflorescencia, la flor estaminada y la flor fructificada, destacando la relación de las brácteas con los tépalos y el gineceo fructificado, la forma y el tamaño de los tépalos de los frutos, el grado de cobertura del gineceo fructificado, la forma y tamaño de sus ramas estiloestigmáticas. Los rasgos vegetativos de interés taxonómico son foliares comprendiendo el ápice de las láminas y la longitud del peciolo (Hunzinker, 1987).

Taxonómicamente el género se ha dividido en dos secciones con casi igual número de especies en base al sistema de cultivo y detalles morfológicos de la inflorescencia y de la flor (Khoshoo y Pal, 1972)

En la sección *Amaranthus* se incluye: *Amaranthus cruentus* L. *Amaranthus hypochondriacus* L. *Amaranthus caudatus* L. y *Amaranthus edulis*. Son plantas con flores pentámeras e inflorescencias terminales de crecimiento indeterminado excepto *Amaranthus edulis* (Pal, 1972). Se utilizan para producción de grano, además de estas se incluyen los amarantos colorantes, la mayoría de los ornamentales, muchos de los tipos para verdura y varios de los que se consideran como maleza (Grubben y van Sloten, 1981). Dentro del grupo para producción de grano, Kauffman (1981) incluye también a *Amaranthus hybridus* L., debido a que se está utilizando en los programas de mejoramiento

genético para tratar de aprovechar algunas de sus características como precocidad y altura.

Sección Blitopsis; con inflorescencias de crecimiento determinado y flores bimeras o trímeras. Cuando existe una inflorescencia terminal es muy pequeña. Esta sección incluye especies para verdura; *Amaranthus gangeticus*, *Amaranthus tricolor* y *Amaranthus blitum* (Grubben y van Sloten, 1981)

Grubben y van Sloten (1981) señalan que probablemente todas las especies para producción de grano del género *Amaranthus L.* son originarias de América, en tanto que las especies para verdura son originarias de Asia y que se han formado centros secundarios de diversidad en las zonas productoras.

En la América precolombina se desarrollaron tres especies de cultivo de grano *Amaranthus caudatus L.*, en los Andes; *Amaranthus cruentus L.*, en América central y *Amaranthus hypochondriacus L.*, en México. Todas estas especies fueron descritas y nombradas por Linneo a partir de formas ornamentales cultivadas en los jardines Europeos durante el siglo XVIII (Sauer, 1950; Sauer; 1977)

Sin embargo cabe mencionar que debido a la amplia variabilidad que existe dentro de las especies ha sido necesario hacer subdivisiones dentro de estas, es así como Sauer (1950) hace una clasificación por razas en *Amaranthus hypochondriacus L.* y distingue las razas común, arizona y aberrante. En tanto que para *Amaranthus cruentus L.*, menciona las razas común y mexicana.

Más recientemente Hass (1979) hizo una clasificación de Algunas especies de *Amaranthus* en tipos agronómicos; definiendolos como agrupaciones basadas en características morfológicas de la planta, al origen geográfico, así como al uso que tengan y propone en *Amaranthus hypochondriacus* L. los tipos, enano de nepal y el alto de floración tardia; para *Amaranthus cruentus* L., los tipos mexicano y africano; en *Amaranthus hybridus* L., el tipo bajo de floración temprana y para *Amaranthus caudatus* L. los tipos edulis y típico.

Esta clasificación ha sufrido algunas modificaciones para incluir tipos que en un principio no se habían considerado, o algunos tipos han cambiado de nombre. De esta manera Kauffman (1981) distingue los tipos Nepal, el arbustivo tardío, el alto tardío, el azteca y el picos en *Amaranthus hypochondriacus* L.; los tipos mexicano, africano y guatemalteco en *Amaranthus cruentus* L.; el tipo precoz en *Amaranthus hybridus* L. y los tipos sudamericano y edulis en la especie *Amaranthus caudatus* L.

Kauffman y Reider (1984) cit. por Espitia (1986) mencionan en *Amaranthus hypochondriacus* L.; los tipos nepal, mercado, mixteco, azteca y picos; en *Amaranthus cruentus* L.; los tipos mexicano, africano y guatemalteco; en *Amaranthus hybridus* L.; el tipo prima; en *Amaranthus caudatus* L.; los tipos sudamericano y edulis. Esta última clasificación es la que se está utilizando en la actualidad. Cabe precisar que

los nombres de *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo azteca y *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo mixteco fueron sugeridos por el Ing. Eduardo Espitia. del Centro de Investigaciones de la Mesa Central CIAMEC. en Chapingo, México, para diferenciar poblaciones mexicanas de *Amaranthus hypochondriacus* L. procedentes del D.F., Estado de México, Tlaxcala y Puebla, de poblaciones procedentes del Estado de Oaxaca. Los nombres aluden a las civilizaciones que florecieron en estos sitios durante la época precolombina.

Ubicación taxonómica de los taxa estudiados:

Orden. Centrospermae

Familia. Amaranthaceae

Género. *Amaranthus*

Taxa. *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo azteca

*Amaranthus cruentus* L. tipo mexicano

*Amaranthus hypochondriacus* L. tipo mixteco

*Amaranthus hybridus* L.

*Amaranthus hybridus* L. > *Amaranthus hypochondriacus* L.  
tipo mixteco

A continuación se hace una descripción de las especies y los tipos que se analizaron en este estudio.

*Amaranthus hypochondriacus* L.

Son plantas herbáceas, anuales de tallo simple o ramificado, alcanzan alturas hasta de tres metros, hojas

elípticas u ovado - oblongas con el ápice agudo o acuminado y la base cuneada o aguda. La inflorescencia es de gran tamaño con espiga y pánculas laterales; es muy densa, erecta y espinosa. Tiene flores pentámeras, con tépalos ligeramente curvados y más largos que los tépalos de las otras especies para producción de granos. Las semillas que presentan son de color blanco, dorado, café y negro. Esta especie también es utilizada como ornamental (Grubben y van Sloten, 1981)

Los tipos de *Amaranthus hypochondriacus* L., estudiados son: *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo azteca y *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo mixteco.

*Amaranthus hypochondriacus* L. tipo azteca.

Comprende las plantas de mayor tamaño del género, alcanza hasta tres metros de altura, su ciclo biológico es tardío (170 días en Chapingo, Mex.); su tallo es verde con estrias de color púrpura, las hojas son elípticas y de diversos colores. Las inflorescencias pueden alcanzar hasta un metro de longitud; y su color puede ser verde, rosa, rojo y púrpura, las brácteas son largas y puntiagudas por lo que la inflorescencia puede producir un efecto espinoso al tacto. Las semillas son blancas, cafés o negras, se puede producir más de 100 gramos de semilla por planta, por lo que es considerada como de las de mayor potencial de rendimiento. Es originario de México y se cultiva en zonas

de clima templado como: Tulvehualco, D.F., San Miguel del Milagro, Tlaxcala y algunas zonas aledañas a los volcanes en los estados de Tlaxcala y Puebla. Es sensible al fotoperiodo, puesto que en condiciones de 40 grados latitud Norte (Pennsylvania, E.U.A) es muy tardío y en la mayoría de los casos no completa su ciclo biológico. Este tipo presenta los menores grados de ramificación lateral (Kauffman y Reider, 1984; Weber et al., 1985; Espitia, 1986; Espitia, 1987), (Figura A.)

*Amaranthus cruentus* L.

Planta herbácea de crecimiento erecto; alcanza hasta dos metros de altura, tallo simple y en ocasiones ramificado, hojas elípticas rombo - ovatinadas u ovato lanceoladas con el ápice agudo, obtuso o acuminado y la base cuneada o aguda. Flores pentámeras con tépalos erectos, oblongos u oblongo - obovatinados con ápice agudo; las semillas pueden ser negras, café, blancas o amarillas (Grubben y van Sloten , 1981)

*Amaranthus cruentus* L. tipo mexicano

Comprende plantas que alcanzan hasta 2.1 m de altura; en clima templado su ciclo biológico dura 145 días, pero en clima cálido se reduce hasta 85 días. Las hojas son rómbicas y de color verde, dorado, rosa, rojo o púrpura. La

inflorescencia tiene ramificaciones colgantes y pueden ser de color: verde, dorado, rosa, rojo, púrpura o variegadas; las brácteas de las flores son muy cortas, lo que da suavidad a la inflorescencia. Las semillas son blancas y en muy raras ocasiones negras. Es originaria de México y se cultivan en las zonas productoras de Morelos y Puebla (Kauffman y Reider, 1984; Weber et al., 1985; Espitia, 1986; Espitia, 1987), (Figura B.)

En México existen varias formas de amaranto en distintas etapas de domesticación: encontrándose algunas cultivadas, semicultivadas, arvenses y ruderales. Algunas de las formas cultivadas son apreciadas por su grano y en varias de las semicultivadas, arvenses y ruderales sus hojas son utilizadas como verdura (Mapes, com. pers.)

En esta investigación se estudiaron desde el punto de vista citogenético los siguientes materiales botánicos, utilizados a manera de verdura.

*Amaranthus hypochondriacus* L. tipo mixteco

Este tipo fué descrito por Espitia, (1986). Incluye plantas que alcanzan de dos a tres metros de altura, su tallo es grueso. El ciclo biológico es de diez meses en Chapingo y en Oaxaca. No maduran en Pennsylvania. En las partes altas de Tailandia maduran en seis meses. La ramificación es variable, las semillas pueden ser negras, café o amarillas. Las hojas son de color variable; verdes o

bién una mezcla de colores, algunas veces con manchas distintivas, las flores son de color rojo, rosa o verde. Al describir estos materiales, Espitia (1986) comenta que son muy promisorios como fuente de forraje, por su alta producción de follaje.

En 1988 Mapes realizó salidas de campo a la Sierra Norte de Puebla y encuentra muy bien representado este material en la región, siendo ampliamente utilizado a manera de verdura, principalmente por indígenas Nahuas y Totonacos.

Esta especie recibe el nombre de Chichiquelitt quintonil rojo y quelite rojo. Es ampliamente consumido a manera de verdura cuando las hojas se encuentran tiernas. Las semillas también son utilizadas para hacer atoles mezclados junto con la masa del maíz.

Esta especie crece a una altitud promedio de 1500 msnm. Es una planta muy erecta llegando a alcanzar hasta 2.5 m. de altura, presentando un ciclo muy largo (Febrero a Diciembre). Se le considera semicultivada porque la gente en la región tira las semillas en el campo de cultivo, siempre asociada a policultivos, en particular a la milpa con maíz (*Zea mays* L.), calabaza (*Cucurbita pepa* L.), chilacayote (*Cucurbita fistulifolia* L.), frijol gordo (*Phaseolus coccineus* L.), yucca (*Manihot esculenta* L.), carrizo (*Arundo donax*), frijol chino (*Vigna unguiculata*) entre otras.

También se ha encontrado asociado a cafetales, huertos familiares y con árboles frutales.

Durante el mes de Marzo cuando es plántula se consumen las hojas. Al final del ciclo de cultivo en Noviembre y Diciembre la gente deja algunas plantas en pie con el objeto de poder contar con semillas para el proximo año ya que las semillas caen solas y las plántulas vuelven a salir y empieza un nuevo ciclo. Sólo se guarda semilla, cuando se va a abrir un nuevo terreno. (Figura C.)

*Amaranthus hybridus L.*

Esta especie es ruderal por lo tanto crece en los márgenes o invade los cultivos del maíz. en la región de Chalco, Edo. de México. Durante los meses de Febrero, Marzo y Abril la gente recolecta estos quintoniles y son ampliamente vendidos en los mercados de la región para ser consumidos como verdura. Una vez, pasado este periodo las plantas de amaranto entran en franca competencia con el maíz por lo que son eliminadas, arrancandolas o pisoteandolas, lo que hace que la planta tenga una respuesta muy agresiva, de maleza para asegurar su sobrevivencia. Presenta un ciclo de vida muy corto, (Figura D.)

*Amaranthus hybridus L.* > *Amaranthus hypochondriacus L.* tipo mixteco

Este material fué colectado en San Miguel Tlanguisalco Puebla. Es muy parecido a *Amaranthus hypochondriacus L.* tipo

mixteco. pero todavia presenta características malezoides. además de que es una especie arvense. Al igual que *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo mixteco se utiliza a manera de verdura. (Figura E.)

Mediante el manejo especial de los componentes no domesticados de un agroecosistema se demuestra en parte el enorme cúmulo de conocimientos generados por las poblaciones humanas acerca de los elementos de la flora y su enorme entorno cultural, (Mera, 1987)

De acuerdo con Hernández X. cit. por Mera (1987) el término maleza incluye a las arvenses, ruderales e invasoras de campos perturbados. Estas plantas han coevolucionado junto con el hombre y su cultura, desde la agricultura más rudimentaria hasta la más moderna y mecanizada. A estas plantas comunmente se les conoce como malezas aunque el hombre las utiliza principalmente en su alimentación o en la medicina.

#### CITOLOGIA

El género *Amaranthus* se encuentra compuesto por aproximadamente 50 especies (Feine et al., 1979 y Sauer, 1977) y a la fecha se han reportado números cromosómicos para 192 taxa incluyendo híbridos artificiales, autopoliploides artificiales y alopoliploides artificiales.

Los números cromosómicos informados en la literatura



Figura A. *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo azteca



Figura D. *Amaranthus hybridus* L.



Figura E. *Amaranthus hybridus* L. > *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo mixteco

para los taxa de *Amaranthus* que se analizaron en este estudio se muestran en la Tabla 1.

El género es dibásico con  $x=16$  y  $x=17$ , encontrándose en algunos casos ambos números para una misma especie (Grant, 1959; Khoshoo y Pal, 1972; Pal, 1972; Pal y Khoshoo, 1973; Pal et al., 1982)

Los dos números básicos del género se presentan tanto en la sección *Amaranthus* como en la sección *Blitopsi*, pero en esta última es principalmente de  $x=17$  (Khoshoo y Pal, 1972).

Una posible relación entre los dos números básicos del género fué planteada por Pal et al. (1982) como resultado del estudio de un híbrido entre *Amaranthus hypochondriacus* ( $n=16$ ) y una especie africana descrita como *Amaranthus hybridus* con  $n=17$  cromosomas. En las plantas híbridas estos autores encontraron plantas con  $2n=32$ , 33 y 34 cromosomas, esbozando sobre esta base la hipótesis de que  $x=17$  surgió de  $x=16$  por trisomía primaria. Respecto al origen de las especies cultivadas (Sauer, 1967) considera que *Amaranthus hybridus* ( $n=16$ ) originó a *Amaranthus cruentus* ( $n=17$ ) en América central; esta especie emigró al norte y se cruzó con *Amaranthus powelli* ( $n=17$ ) dando origen, luego de repetidas hibridaciones a *Amaranthus hypochondriacus* ( $n=16$ ). La migración de *Amaranthus cruentus* hacia al sur y de cruzamientos repetidos con *Amaranthus quitensis* ( $n=16$ ) daría origen a *Amaranthus caudatus* ( $n=16$ ). Esta hipótesis postula un antecesor remoto común que permitiría explicar la

presencia de caracteres compartidos por todas las especies cultivadas. Khoshoo y Pal. (1972) suponen que cualquiera que sea su origen las especies graníferas surgieron de uno o varios progenitores silvestres por domesticación.

El género *Amaranthus* se caracteriza por presentar la mayor homogeneidad en número cromosómico y los cromosomas más pequeños de la familia *Amaranthaceae* (Behera y Patnaik, 1974). El tamaño pequeño de los cromosomas dificulta su conteo presentándose discrepancias respecto al número de cromosomas de las diferentes especies. Se menciona que *Amaranthus caudatus*, *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus hybridus* tienen un número cromosómico de  $2n=32$ . en tanto que *Amaranthus cruentus* presenta  $2n=34$  (Singh, 1961; Pal y Koshoo, 1972). Auquier y Renard. (1975) y Dmitrieva, (1986) encuentran en *Amaranthus cruentus* var. *cruentus*, un  $2n=32$ , que difiere del reporte de los anteriores autores. Así mismo Tandon y Tawakley (1970) reportan para *Amaranthus hypochondriacus*, un número cromosómico de  $2n=34$  que difiere con el reporte anterior para la especie. Finalmente Pal et al. (1982) reportan para *Amaranthus hybridus* proveniente de Africa un número cromosómico de  $2n=34$ .

Grant (1959) comenta que el tamaño pequeño y la relativa uniformidad morfológica de los cromosomas, aunado a su número elevado hace difícil el análisis cariotípico de las especies del género.

Los estudios sobre la genética del género se han centrado en la hibridación interespecífica, la expresión del

sexo, la poliploidia (Feine et al., 1979) y sobre la herencia de algunos caracteres. Los resultados de numerosos trabajos muestran que en general las especies poseen meiosis normal, sin embargo los híbridos interespecíficos entre especies domesticadas y malezas muestran algunas alteraciones como son: irregularidades en paquiteno. zonas no apareadas en algunos bivalentes heteromórficos, duplicaciones y evidencias de heterocigosis para inversiones pericéntricas, entre otras. Algunos híbridos han sido exitosos y presentan frecuencia quiasmática intermedia a la que poseen sus progenitores, obteniéndose a veces plantas normales en la generación F<sub>2</sub>. En otros casos son plantas débiles y presentan malformaciones fenotípicas y en algunos casos son inviables. (Pal, 1972; Pal y Khoshoo, 1972)

Se ha encontrado que al menos en la mitad de las especies del género está involucrada la hibridación interspecífica natural y es precisamente éste, uno de los factores que han causado la amplia variación dentro de las especies y la consecuente complejidad en la taxonomía del género *Amaranthus* (Sauer, 1957)

Se han realizado estudios citogenéticos en materiales de Norte América, Asia y la India, incluyendo especies cultivadas, algunas domesticadas y las malezas consideradas antecesoras de ellas, también se han incluido en estos estudios híbridos interespecíficos y poliploides artificiales. En México existen varios taxa de *Amaranthus* en distintas etapas de domesticación, encontrándose plantas

cultivadas, semicultivadas, arvenses y ruderales, las cuales no han sido incluidas en estudios citogenéticos realizados en las especies del género, a pesar de que nuestro país es considerado uno de los centros de origen y diversificación del género (Palomino, 1991b).

TABLA 1. NUMEROS CROMOSOMICOS INFORMADOS PARA LOS TAXA DE *Amaranthus* QUE SE ANALIZARON EN ESTE ESTUDIO

TAXA	n	2n	AUTOR	AÑO
<i>A. cruentus</i>		34	Grant	1959
<i>A. cruentus</i> x <i>A. hybridus</i>		34	Grant	1959
<i>A. cruentus</i> x <i>A. retroflexus</i> x		32	Grant	1959
<i>A. powellii</i>				
<i>A. cruentus</i>		32	Tandon y Tawakley	1970
<i>A. cruentus</i>		34	Pal	1972
<i>A. cruentus</i>		34	Khoshoo	1972
<i>A. cruentus</i> var. <i>cruentus</i>		32	Auquier y Renard	1975
<i>A. cruentus</i>		32	Dmitrieva	1986
<i>A. hypochondriacus</i>		34	Tandon y Tawakley	1970
<i>A. hypochondriacus</i>	16		Pal y Khoshoo	1973
<i>A. hypochondriacus</i> ***	32		Pal	1972
<i>A. hypochondriacus</i>		32	Hindakova	1974
<i>A. hypochondriacus</i>		32	Majovsky <i>et al</i>	1974
<i>A. hypochondriacus</i>	16	32	Pal <i>et al</i>	1982
<i>A. hybridus</i>		32	Grant	1959
<i>A. hybridus</i>		32	Grant	1967
<i>A. hybridus</i> var. <i>red</i> and var. <i>green</i>		32	Tandon y Tawakley	1970
<i>A. hybridus</i>	16		Pal <i>et al</i>	1972
<i>A. hybridus</i> x <i>A. hypochondriacus</i> *	16		Pal	1972
<i>A. hybridus</i> x <i>A. hypochondriacus</i> **	32		Pal	1972
<i>A. hybridus</i>	16		Pal y Khoshoo	1973
<i>A. hybridus</i> ssp. <i>hypochondriacus</i>		32	Hindakova	1974
<i>A. hybridus</i>		32	Majovsky <i>et al</i>	1974
<i>A. hybridus</i> var. <i>frumentaceus</i> , Roxb.	16		Behara y Patnalk	1974
<i>A. hybridus</i> var. <i>peniculatus</i>	16		Behara y Patnalk	1974
<i>A. hybridus</i>		32	Auquier y Renard	1975
<i>A. hybridus</i>		24	Strid y Franzen	1981
<i>A. hybridus</i>		34	Pal <i>et al</i>	1982
<i>A. hybridus</i> x <i>A. hypochondriacus</i>		33	Pal <i>et al et al</i>	1982
<i>A. hybridus</i>	16		Ward	1984
<i>A. hybridus</i>		32	Xu	1987

\* Híbrido artificial; \*\* alopoliploide artificial; \*\*\* aulopoliploide artificial

## OBJETIVOS

Realizar el estudio citogenético de siete poblaciones de *Amaranthus*, pertenecientes a los taxa: *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo azteca, *Amaranthus cruentus* L. tipo mexicano, *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo mixteco, *Amaranthus hybridus* L. *Amaranthus hybridus* L. > *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo mixteco. Los cuales representan parte del gradiente de germoplasma existente en nuestro país. Colectados en el Distrito Federal y los estados de México, Puebla y Morelos. Con la finalidad de :

- Determinar el número cromosómico somático de las siete poblaciones.
- Elaborar el cariotipo de cada taxa.
- Determinar los niveles de poliploidia de cada población.
- Analizar las variaciones cromosómicas de las diferentes poblaciones de una misma especie, y establecer las diferencias inter e intraespecíficas.

## MATERIAL Y METODOS

Se analizaron siete poblaciones de cinco taxa de *Amaranthus*; tres de las poblaciones corresponden a *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo azteca, cultivado y apreciado por su semilla, colectado en Tulyehuaico, D.F., los otros taxa analizados son: *Amaranthus cruentus* L. tipo mexicano, de la localidad de Huazulco, Morelos, también cultivado y apreciado por su semilla. *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo mixteco, de Heyapan, Puebla, son plantas semicultivadas utilizadas como verdura. *Amaranthus hybridus* L., de Chalco, Edo. de México, especie ruderal que crece en los márgenes de los cultivos de maíz y se consume como verdura. *Amaranthus hybridus* L. > *Amaranthus hypochondriacus* L. tipo mixteco, proveniente de San Miguel Tianguisalco, Puebla, corresponden a plantas arvenses consumidas como verdura. Las cuales reopresentan parte del gradiente de germoplasma existente en nuestro país. Los estados de la República Mexicana donde se colectaron estos materiales y los datos de colecta y los colectores se muestran en la Tabla 2. y en la Figura 1. se muestra su distribución.

Los ejemplares herborizados de cada colección se depositaron en el Herbario Nacional MEXU.

Las semillas que se utilizaron en este trabajo fueron colectadas directamente de las plantas. Estos materiales fueron determinados por la M en C. Cristina Macos y el Dr.

Robert Bye, del Departamento de Etnobotánica del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM, y por el Ing. Eduardo Espitia, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Se germinaron 20 semillas de cada colecta colocando cada individuo en una mezcla de tierra negra y de hoja en proporción 1 a 1, contenida en una bolsa de plástico de cinco centímetros de diámetro y 15 centímetros de longitud, posteriormente se trasplantaron a macetas de plástico con la mezcla de tierra antes mencionada.

Tanto la germinación como la siembra y el cultivo se llevaron a cabo en un invernadero con la finalidad de proteger las plantas de las variaciones de la temperatura y proporcionarles la cantidad de agua necesaria. Las plantas obtenidas se mantuvieron en los invernaderos del Jardín Botánico del Instituto de Biología. (UNAM)

Una vez enraizadas estas plantas, el estudio de los cromosomas mitóticos se llevó a cabo en meristemos de células radiculares en metafase, para esto se eligieron las raíces con una longitud entre 1.5 a 2 centímetros, cortándose de 7 a 8 AM, para ser pretratadas durante cinco horas en una solución de 8-Hidroxiquinoleína .002 M. y a 18 grados centígrados y en la obscuridad, posteriormente se lavaron en agua destilada durante dos minutos y se fijaron en una solución fresca de Farmer, que corresponde a una mezcla de alcohol etílico y ácido acético glacial 3:1 (v/v).

conservándose en refrigeración a cuatro grados centígrados hasta su posterior utilización.

Para la elaboración de las preparaciones, las raíces se hidrolizaron en HCl a una concentración de 1 N a 60 grados centígrados durante 15 minutos y se tiñeron con Feulgen durante una hora en la obscuridad (García, 1990)

Una vez que el meristemo apical adquirió una coloración violeta se depositó en un portaobjetos agregando una gota de orceina acética al 1.8 %. colocando posteriormente el cubreobjetos; éste se golpeó ligeramente con la punta de unas pinzas de relojero con el fin de separar el tejido hasta obtener una capa monocelular, en seguida se presiono con la goma de un lápiz hasta poder observar perfectamente la morfología de los cromosomas.

Las preparaciones donde se observaron células con cromosomas mitóticos nitidos y separados, se hicieron permanentes por el método de hielo seco (Conger y Fairchil, 1953). Se montaron con Balsamo de Canadá y se dejaron secar por un espacio de 15 días en una estufa a 30 grados centígrados.

Se analizaron 20 células de 10 individuos de cada colecta y para determinar en forma precisa el cariotipo, se seleccionaron tres células en metafase las que se fotografiaron en un fotomicroscopio (Karl Zeiss), objetivo 1.25 con el objetivo de 100x y se revelaron. para la ampliación, se empleó una película Technical Pan y fué

revelada con una solución de HC-110, en la amplificación se empleó la ampliadora Beseler Dichro 67.

En la elaboración de los idiogramas, los cromosomas de las células seleccionadas se dibujaron a partir de la transparencia con ayuda de un proyector, esto se hace con la finalidad de obtener una mayor amplificación de los cromosomas y a partir de estos dibujos y de las fotografías obtenidas se elaboraron los idiogramas, clasificando los cromosomas de acuerdo a Naranjo *et al.* (1986), que está de acuerdo a la clasificación de Levan *et al.* (1964).

También se obtuvo el índice de asimetría (T.F % o F %) según Sinha y Roy, (1979), el cual representa el porcentaje promedio de la suma total de la longitud de brazos cortos y la suma total de la longitud del complemento cromosómico, mediante la siguiente ecuación.

$$T.F = (\text{Total de brazos cortos de los cromosomas} / \text{Suma total de la longitud de los cromosomas}) \times 100$$

Además se obtuvo el total de la longitud de la cromatina haploide ( $\mu$ m).

Finalmente se procedió a comparar y analizar las diferencias entre los cariotipos de los taxa estudiados.

TABLA 2. LOCALIDADES Y DATOS DE COLECTA DE SIETE POBLACIONES DE CINCO TAXA DE *Amaranthus*

TAXA	COLECTOR	No. DE COLECTA	LOCALIDAD
<i>Amaranthus hypochondriacus</i> tipo azteca	R. Bye y E. Linares	14855 A., 1987	Tulyehualco, D.F.
<i>Amaranthus hypochondriacus</i> tipo azteca	R. Bye y E. Linares	14855 C., 1987	Tulyehualco, D.F.
<i>Amaranthus hypochondriacus</i> tipo azteca	R. Bye y E. Linares	14855, 1987	Tulyehualco, D.F.
<i>Amaranthus cruentus</i> tipo mexicano	E. Espitio	1018c-3	Huazulco, Morelos
<i>Amaranthus hybridus</i> > A. <i>hypochondriacus</i> tipo mixteco	R. Bye y E. Linares	15187, 1987	San Miguel Tianguisalco, Puebla.
<i>Amaranthus hybridus</i>	C. Mapes	742, 1987	Chalco, Edo. de México
<i>Amaranthus hypochondriacus</i> tipo mixteca	C. Mapes	739, 1987	Hueyapan, Puebla.

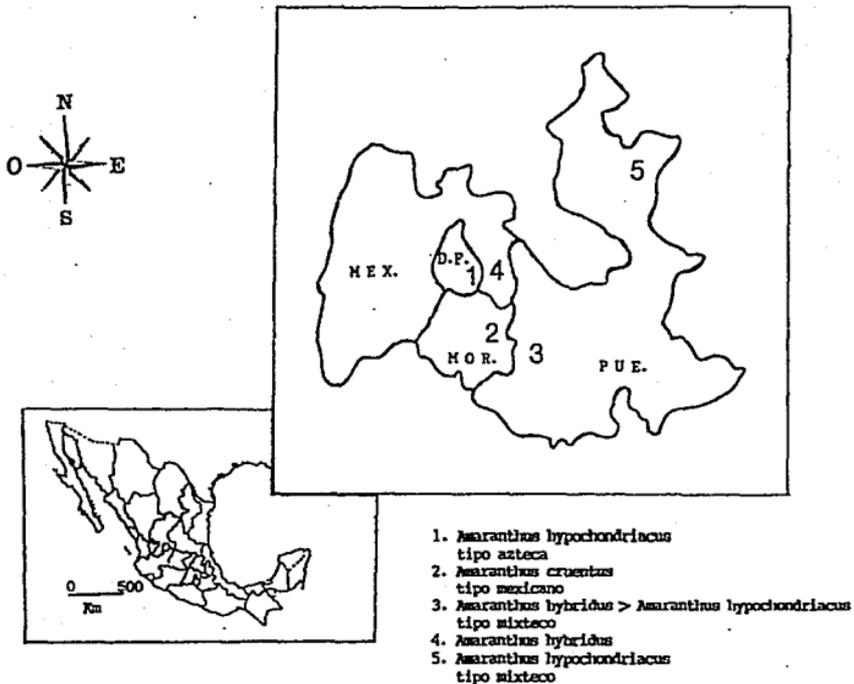


Figura 1. Localización de los taxa de *Asarantlus* estudiados

## RESULTADOS

Los datos son resumidos en la Tabla 3; las fotografías de los cromosomas somáticos y los idiogramas son ilustrados en las Figuras 2 y 3 respectivamente.

En las tres poblaciones de *Amaranthus hypochondriacus* tipo azteca analizadas, no hubo variaciones en su fórmula cromosómica, presentando un  $2n=34$ . El cariotipo está formado de seis pares de cromosomas metacéntricos, tres de submetacéntricos, tres de subtelocéntricos y cinco de telocéntricos. Se observaron constricciones secundarias en tres pares de cromosomas metacéntricos, dos de submetacéntricos, uno de subtelocéntricos y dos de telocéntricos. El total de la longitud de la cromatina haploide, es de 16.2  $\mu\text{m}$ . Su índice de asimetría es de 27.04 % . Tabla 3. En la Figura 2(1) se observan los cromosomas y en la Figura 3(1) el idiograma.

Para *Amaranthus cruentus* tipo mexicano se observó un  $2n=34$ , con seis pares de cromosomas metacéntricos, tres de submetacéntricos, dos de subtelocéntricos y seis de telocéntricos. Se observaron constricciones secundarias en tres pares de cromosomas metacéntricos , tres de submetacéntricos, uno de subtelocéntricos y dos de telocéntricos. El total de la longitud de la cromatina haploide es de 16.8  $\mu\text{m}$ . Su índice de asimetría es de 28.72 % . Tabla 3 . Figura 2(2) y 3(2)).

*Amaranthus hypochondriacus* tipo mixteco.  $2n=32$  presento ocho pares de cromosomas metacéntricos, uno de submetacéntricos, tres de subteloicéntricos y cuatro de telocéntricos. Se observaron constricciones secundarias en cuatro pares de cromosomas metacéntricos, uno de submetacéntricos y dos de subteloicéntricos. El total de la longitud de la cromatina haploide es de 16.6  $\mu\text{m}$  y su indice de asimetría es de 33.49 %. Tabla 3. Figura 2(5) y 3(5).

En *Amaranthus hybridus* se observó en cada una de las diez plantas analizadas, una variación cromosómica de  $2n=32$ , 33 y 34, siendo los porcentajes de variación semejantes en cada planta. El promedio en las diez plantas analizadas fué de  $2n=34$  en (76 %),  $2n=32$  en (16 %) y  $2n=33$  en (8 %) pudiendose observar el  $2n=34$  como el mas frecuente. Su fórmula cromosómica consiste en, cinco pares de cromosomas metacéntricos, tres de submetacéntricos, tres de subteloicéntricos y seis de telocéntricos, mostrando constricciones secundarias en cuatro pares de cromosomas metacéntricos, tres de submetacéntricos, tres de subteloicéntricos y uno de telocéntricos. El total de la longitud de la cromatina haploide es de 17.4  $\mu\text{m}$  y su indice de asimetría es de 25.16 %. Tabla 3. Figura 2(4) y 3(4).

En *Amaranthus hybridus* > *Amaranthus hypochondriacus*, tipo mixteco. Con  $2n=34$  se presentaron cinco pares de cromosomas metacéntricos, dos de submetacéntricos, tres de subteloicéntricos y siete de telocéntricos. Se observaron constricciones secundarias en dos pares de cromosomas

metacéntricos. uno de submetacéntricos. dos de subtelocéntricos y uno de telocéntricos. El total de la longitud de la cromatina haploide es de 16.1 um y su índice de asimetría es de 23.36 %. Tabla 3. Figura 2 (3) v 3(3).

El taxa con cariotipo más asimétrico es *Amaranthus hybridus* > *Amaranthus hypochondriacus* tipo mixteco cuyo índice de asimetría es de 23.36 %. v el taxa con cariotipo más simétrico fué *Amaranthus hypochondriacus* tipo mixteco cuyo índice de asimetría es de 33.49 %. Así mismo el taxa que presentó la mayor cantidad de heterocromatina haploide es *Amaranthus hybridus* con 17.4 um y el que presentó la menor cantidad de heterocromatina haploide es *Amaranthus hybridus* > *Amaranthus hypochondriacus* tipo mixteco con 16.1 um. Los cromosomas en todos los taxa estudiados son muy pequeños y mide entre 0.5 - 1.8 um.

TABLA 3. NUMEROS CROMOSOMICOS (2n) Y CARIOTIPOS DE LOS TAXA DE *Amaranthus* ESTUDIADOS

TAXA	2n	INTERVALO DE LONG. DE LOS CROMOSOMAS (µm)	FORMULA CARIOTIPICA	CONSTRICCIONES SECUNDARIAS	LONG. DE LA CROMATINA HAPLOIDE (µm)	T.F. %
<i>Amaranthus hypochondriacus</i> tipo azteca	34	0.6 - 1.6	6m + 3sm + 3st + 6t	3m + 2sm + 1st + 2t	16.2	27.04
<i>Amaranthus cruentus</i> tipo mexicano	34	0.5 - 1.8	6m + 3sm + 2st + 6t	3m + 3sm + 1st + 2t	16.8	28.72
<i>Amaranthus hybridus</i> >A tipo mixteco	34	0.5 - 1.4	5m + 2sm + 3st + 7t	2m + 1sm + 2st + 1t	16.1	23.36
<i>Amaranthus hybridus</i>	32 33 34	0.6 - 1.6	5m + 3sm + 3st + 6t	4m + 3sm + 3st + 1t	17.4	25.16
<i>Amaranthus hypochondriacus</i> tipo mixteco	32	0.6 - 1.6	8m + 1sm + 3st + 4t	4m + 1sm + 2st	16.6	33.48

(m) metacéntricos, (sm) submetacéntricos, (st) subtelocéntricos, (t) telocéntricos.

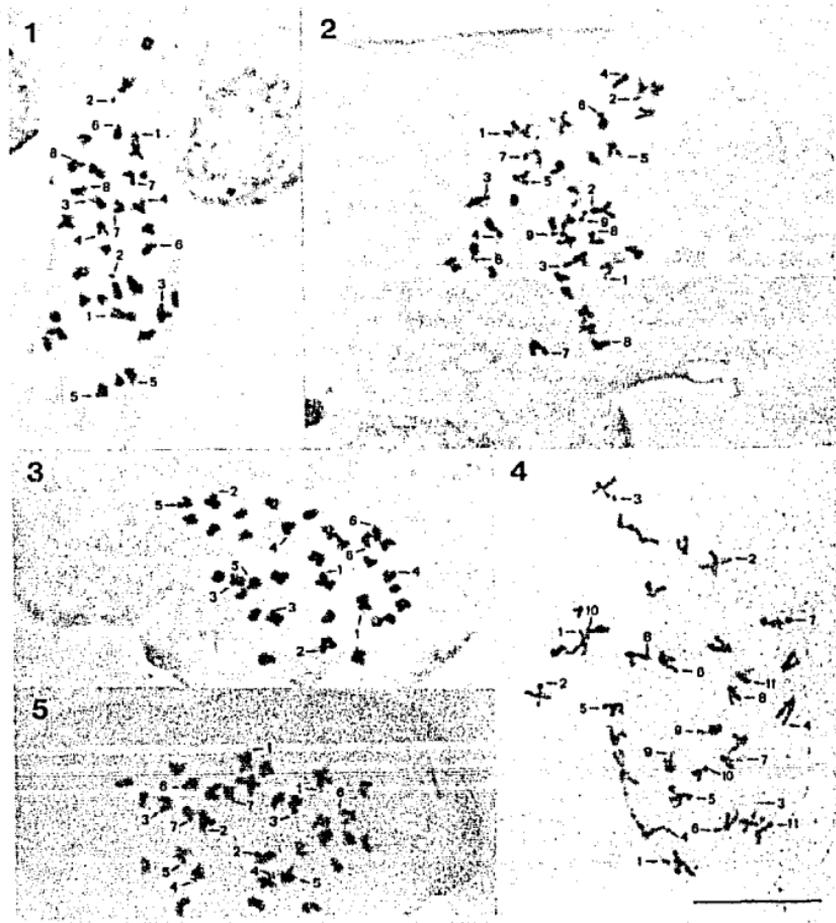


Figura 2. Células somáticas de *Amaranthus*. 1) *A. hypochondriacus* tipo azteca,  $2n=34$  2) *A. cruentus* tipo mexicano,  $2n=34$ ; 3) *A. hybridus* > *A. hypochondriacus* tipo mixteco,  $2n=34$ ; 4) *A. hybridus*,  $2n=34$ ; 5) *A. hypochondriacus* tipo mixteco  $2n=32$ . Los números indican los pares de homólogos con constricciones secundarias. La barra equivale a  $10\ \mu\text{m}$ .

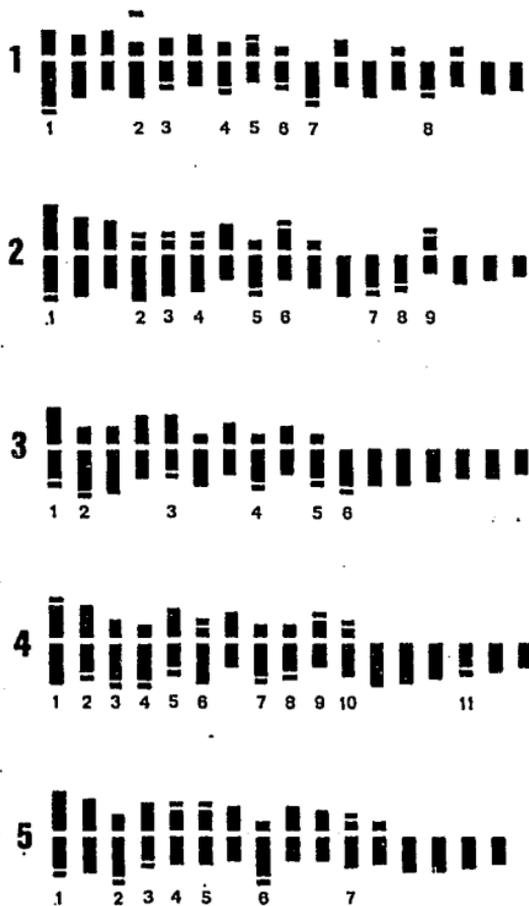


Figura 3: Idiogramas de cinco taxa de *Amaranthus*. (1) *A. hypochondriacus* tipo mixteco,  $2n=34$ ; (2) *A. cruentus* tipo mexicano,  $2n=34$ ; (3) *A. hybridus* > *A. hypochondriacus* tipo mixteco,  $2n=34$ ; (4) *A. hybridus*,  $2n=34$ ; (5) *A. hypochondriacus* tipo mixteco,  $2n=32$ . Los números indican las dobles constricciones. La barra equivale a 5  $\mu$ m.

## DISCUSION

El estudio de los cinco taxa de *Amaranthus* muestra que los resultados son congruentes con los valores de  $x=16$  y  $x=17$ , que ya han sido informados como número básico para el género (Grant, 1959; Khoshoo y Pal, 1972; Pal, 1972; Pal y Khoshoo, 1973; Pal et al., 1982)

El número cromosómico encontrado para *Amaranthus hypochondriacus* tipo azteca, una especie típica de grano, de Tulyehualco, en el valle de México fue de  $2n=34$ , coincidiendo con lo observado por Tandon y Tawakley (1970).

En contraste *Amaranthus hypochondriacus* tipo mixteco presentó  $2n=32$ . Esta especie crece en Hueyapan, en la región montañosa en el norte del estado de Puebla, donde es mantenida en los campos de maíz bajo condiciones ecológicas diferentes a aquellas donde crece *Amaranthus hypochondriacus* tipo azteca. El número cromosómico  $2n=32$  para esta especie concuerda con lo encontrado por Pal y Koshoo (1973), Hindakova (1974), Pal et al. (1982) y Greizerstein y Poggio (1990). Pero es diferente al número cromosómico encontrado para las poblaciones de Tulyehualco de este estudio.

El número cromosómico para *Amaranthus cruentus* tipo mexicano, también una especie cultivada para grano es de  $2n=34$ , este resultado es acorde con los números cromosómicos informados por Tandon y Tawakley (1970), Pal (1972) y Greizerstein y Poggio (1990), excepto para los obtenidos por

Auquier y Renard (1975) y Dimitrieva (1986), quienes encontraron  $2n=32$ .

Para *Amaranthus hybridus* × *Amaranthus hypochondriacus* tipo mixteco, planta arvense de Tlanguisalco, Sierra Norte de Puebla y para *Amaranthus hybridus*, planta ruderal de Chalco en el Estado de México, ambas especies usadas como verdura, se observó  $2n=34$ . Este número cromosómico es similar al de los especímenes africanos de *Amaranthus hybridus* estudiados por Pal et al. (1982). Sin embargo estos resultados contrastan con la mayoría de los informes en la literatura los cuales indican que el número cromosómico de la especie es  $2n=32$ . (Grant, 1959; Grant, 1967; Tandon y Tawakley, 1970; Pal, 1972; Pal y Koshoo, 1973; Majovsky, 1974; Auquier y Renard, 1975; Xu, 1987).

Dentro de la población de *Amaranthus hybridus* analizada en nuestra investigación, se encontró una variación significativa del número cromosómico. En una muestra de diez individuos, el 76 % de las células observadas fueron  $2n=34$ , 16 % fueron  $2n=32$  y 8 % fueron de  $2n=33$ . Estas observaciones parecen ser el resultado de posibles cruzas interespecíficas que suceden de manera natural, como lo han observado Pal et al. (1982) al realizar una cruce dibásica interespecífica entre *Amaranthus hypochondriacus* con  $n=16$  y *Amaranthus hybridus* con  $n=17$ . Estos autores obtuvieron plantas híbridas solamente empleando plantas femeninas de *Amaranthus hybridus* como progenitor y en las cuales observaron en M1 de la meiosis en porcentajes altos (98 %), 15 bivalentes + 1

univalente y sólo el 2 % mostraron 16 bivalentes + 1 univalente. En A1 también observaron bajo porcentaje de segregación anormal, originando gametos con  $n=16$  ó  $n=17$  debido al cromosoma extra, que emigra a uno de los polos. En las plantas de la generación F2, obtuvieron  $2n=32$ , 33 y 34, en una proporción de 1:2:1, siendo el  $2n=33$  el más frecuente, observando en las células madres del polen (CMP) de estas plantas, varias combinaciones, es decir 17 bivalentes o combinaciones de ellos con uni, tri o tetraivalentes, mostrando, estas plantas altos valores de fertilidad. Comportamientos similares fueron observados por estos autores en plantas de la F3; por lo que ellos proponen el origen del  $n=17$  a partir del  $n=16$  debido a trisomias primarias.

Como se puede observar las variaciones en la frecuencia de los números cromosómicos que estos autores observaron son diferentes a los que nosotros encontramos en este estudio, ya que mientras para ellos el número más frecuente es  $2n=33$ , para las plantas de *Amaranthus hybridus* de nuestra investigación el más frecuente es de  $2n=34$ . Sin embargo en ambos estudios se observaron los tres números cromosómicos:  $2n=32$ ,  $2n=33$  y  $2n=34$ .

Clifford (1959), Grant (1959), Pal (1972), Behera y Patnik (1982), han observado variaciones en el número cromosómico entre *Amaranthus dubius* y *Amaranthus spinosus*. Behera y Patnik (1982), al cruzar *Amaranthus dubius*: tetraploide (4x) con  $n=32$  y *Amaranthus spinosus* 2x con  $n=17$ .

obtienen plantas híbridas con altos porcentajes (88 a 92 %) de esterilidad. Así mismo se han observado variaciones con  $2n=32$  y  $34$  en *Amaranthus palmeri* (Grant, 1958) y en *Amaranthus tuberculatus* (Murray, 1940)

Es interesante hacer resaltar el tamaño pequeño de los cromosomas en todos los cariotipos estudiados de 0.5 a 1.8  $\mu$ m. Como ya había sido observado por Grant (1959).

Greizerstein y Poggio (1990) observaron que el tamaño de los cromosomas meióticos en *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus cruentus* corresponden a 1  $\mu$ m.

Los cariotipos de los taxa aquí estudiados fueron homogéneos y muy asimétricos, presentaron entre 23.36 - 33.49 T.F %. Todos ellos mostraron cromosomas metacéntricos (m), submetacéntricos (sm), entre 3 pares de subtelocéntricos (st) y 7 de telocéntricos (t), (Tabla 3). Así mismo se detectaron varios satélites entre 6 y 11 pares de cromosomas. La alta frecuencia de cromosomas con satélite es por primera vez informado en nuestras investigaciones, ya que en la literatura se menciona sólo un par en cromosomas telocéntricos Greizerstein y Poggio (1990).

Greizerstein y Poggio (1990), describieron el cariotipo de *Amaranthus hypochondriacus* con  $2n=32$ ;  $3m + 3sm + 3st + 7t$ ; y el de *Amaranthus cruentus* con  $2n=34$ ;  $3m + 3sm + 3st + 8t$ ; los cariotipos de ambas especies fueron muy similares, difiriendo sólo en un par de cromosomas telocéntricos. Al respecto cabe mencionar que los resultados obtenidos por estos autores para estas especies son diferente a los que

nosotros encontramos para estas taxa en poblaciones mexicanas, ya que ellos observaron que *Amaranthus hypochondriacus* tiene  $2n=32$  lo que no concuerda con nuestros resultados pues para *Amaranthus hypochondriacus* tipo azteca obtuvimos  $2n=34$ . Para *Amaranthus cruentus* los autores antes mencionados encuentran  $2n=34$ , lo que coincide con nuestros resultados. Sin embargo hubo diferencias en la proporción de cromosomas metacéntricos, submetacéntricos y telocéntricos. Greizerstein y Poggio (1990) encuentran en *Amaranthus hypochondriacus* una proporción de 3 m + 3 sm + 3 st + 7 t y para *Amaranthus cruentus* observan 3 m + 3 sm + 3 st + 8 t. Mientras que en nuestro estudio *Amaranthus hypochondriacus* tipo azteca presentó 6 m + 3 sm + 3 st + 5 t y *Amaranthus cruentus* tipo mexicano con  $2n=34$  tiene 6m + 3sm + 2st + 6t. Como se puede notar la variación de cromosomas en *Amaranthus hypochondriacus* entre los dos estudios es de 3 m + 1 t y para *Amaranthus cruentus* fué de 3 m + 1 st + 2 t. Así mismo hubo diferencias en la proporción de satélites pues ellos encuentran 1 par en las dos especies y nosotros observamos 8 pares en *Amaranthus hypochondriacus* tipo azteca y 9 pares en *Amaranthus cruentus* tipo mexicano (Tabla 3).

Los cariotipo de *Amaranthus hybridus* y *Amaranthus hypochondriacus* tipo mixteco ( $2n=34$ ): *Amaranthus hybridus* ( $2n=34$ ) y *Amaranthus hypochondriacus* tipo mixteco ( $2n=32$ ), variaron en algunos cromosomas metacéntricos, submetacéntricos, submetacéntricos y telocéntricos y en algunos pares de cromosomas con satélite.

Las plantas de *Amaranthus hybridus* y *Amaranthus hypochondriacus* tipo mixteco ( $2n=34$ ) y *Amaranthus hypochondriacus* tipo mixteco ( $2n=32$ ) son similares en diversas características morfológicas tales como la arquitectura de la planta y la forma de las hojas. Estas condiciones morfológicas y citológicas sugieren que *Amaranthus hybridus* y *Amaranthus hypochondriacus* tipo mixteco pudiera ser un híbrido de *Amaranthus hypochondriacus* tipo mixteco y *Amaranthus hybridus*.

La aparición de cromosomas metacéntricos, submetacéntricos, subtelocéntricos y telocéntricos en todos los taxa estudiados sugiere que en la evolución de estos cariotipos han estado involucrados rearrreglos estructurales en sus cromosomas, como son las deleciones o perdidas de fragmentos de cromatina que han reducido la talla de algunos brazos cromosómicos e inversiones pericéntricas que han cambiado la posición del centrómero, como ya lo han observado en híbridos de estas especies, Khoshoo y Pal (1972); Pal y Khoshoo (1973) y en otras plantas vasculares Stebbins (1972).

Respecto a las variaciones del número cromosómico de *Amaranthus hybridus*, estas pueden deberse a sistemas de translocaciones recíprocas, tales como las aneuploidias reportadas por Pal et al. (1982) para híbridos obtenidos entre cruces dibásicas. Por otro lado la presencia de dobles constricciones en varios cromosomas de los complementos, ha sido correlacionado con grandes cantidades de

heterocromatina y ha sido interpretado en el sentido de favorecer la elasticidad ecológica en estos genotipos. (Schweizer y Ehrendorfer, 1976). Así mismo Sthal (1981), propone que el ADN satélite, tiene como una de sus funciones el favorecer los rearrreglos estructurales viables en los cromosomas del complemento. Estas características pueden favorecer la gran capacidad de adaptación de los genotipos de *Amaranthus* a ambientes ecológicos variables, como los encontramos en las diferentes localidades de México donde son cultivados.

## CONCLUSIONES

Los números cromosómicos  $2n=34$  se presentaron en *Amaranthus hypochondriacus* tipo azteca, *Amaranthus cruentus* tipo mexicano, *Amaranthus hybridus* y *Amaranthus hypochondriacus* tipo mixteco y *Amaranthus hybridus*. *Amaranthus hypochondriacus* tipo mixteco presentó  $2n=32$ . Estos números cromosómicos son congruentes con otros autores en considerarlo un género dibasico con  $x=16$  y  $x=17$ .

*Amaranthus hybridus* presentó una variación en el número cromosómico de  $2n=32$  en 16 %,  $2n=33$  en 8 % y  $2n=34$  en 76 %, lo que puede ser el resultado de posibles cruza interespecificas que suceden de manera natural, en algunas de las especies del género.

Todos los cariotipos fueron similares y muy asimétricos pues presentaron alta proporción de cromosomas telocéntricos y subtelocéntricos.

La aparición de cromosomas metacéntricos, submetacéntricos, subtelocéntricos y telocéntricos en todos los taxa estudiados sugiere que en la evolución de estos cariotipos han estado involucrados rearrreglos estructurales en sus cromosomas, como son deleciones e inversiones pericéntricas como se ha observado en híbridos de varias especies del género *Amaranthus*.

La presencia de dobles constricciones en varios cromosomas de los complementos puede favorecer la plasticidad de estos genotipos haciendo posible su gran capacidad de adaptación a ambientes ecológicos variables, como los encontramos en las diferentes localidades de México donde son cultivados y muy manejados por el hombre.

## BIBLIOGRAFIA

- Ainswort C.C., Parker J.S. y Horton D.M., 1983.- Chromosome variation and evolution in *Scilla autumnalis*. Kew Chromosome Conference II. pp. 261-268.
- Auquier P. y Renard R., 1975.- Nombres chromosomiques des quelques angiospermes du Rwanda, Burundi et Kivu (Zaire). I. Bull. Jard. Bot. Nat. Belg., 45: 421-445.
- Behera B. y Patnik S.N., 1974.- Cytotaxonomic studies in the family Amaranthaceae. Cytologia, 39: 121-131.
- Behera B. y Patnaik. S.N., 1982.- Genome analysis of *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell. Through the study of *Amaranthus spinosus* x *Amaranthus dubius* hybridis. Cytologia, 47: 379-389.
- Biswas A. y Biswas M., 1975.- Energy and production. Agro-Ecosystem, 2: 195-210.
- Bye R.A., 1981.- Quelites- Ethnoecology of edible greens- Past, present and future. J. Ethnobiol. 1 (1): 109-123.
- Caballero J. y Sarukhán J., 1982.- Manuscrito leído en el I simposio. Qué vamos a comer dentro del año 2000? Programa Universitario de Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México. Junio de 1982.
- Caballero J., 1985.- Exploración de recursos genéticos potenciales. In: Memorias del seminario sobre la investigación genética básica en el conocimiento y evaluación de los recursos genéticos. Palomino G. y Pimienta E. (eds.). Jardín Botánico. UNAM y SOMEFI, México. pp. 28-40.
- Caballero J., 1986.- Etnobotánica y desarrollo: La búsqueda de nuevos recursos vegetales. In: Memorias del Simposio de Etnobotánica del IV Congreso Latinoamericano de Botánica, celebrado en Medellín, Colombia.
- Clifford H.T., 1959.- On hybridization between *Amaranthus dubius* and *Amaranthus spinosus* in the vicinity of Ibadan, Nigeria. J. West. Afr. Sci. Assoc. 4: 112-116.
- Conger A.D. y Fairchild L.M., 1953.- A quick-freeze methods for making smear slides permanent. Stain Techn., 28: 281-283.
- Covas G., 1984.- Las especies de *Amaranthus* L. Amaranthaceae, nativas o naturalizadas en la Provincia de la Pampa. Apuntes para la flora de la Pampa Mavo. 1984.

Curtis J., 1976.- Introducción a la citogenética vegetal. Ediciones Patiño. A.C. Departamento de enseñanza. Investigación y Servicio en fitotecnia Universidad Autónoma de Chapingo. pp. 194-235.

Devadas V.S. y Malika V.K., 1991.- Review of research on vegetables and tuber crops. *Amaranthus*. Tech. Bull. 19. Kerala Agricultural University. 60. pp.

Dmitrieva S., 1986.- Chromosome numbers in some species of vascular plants from Byelorussia. *Bot. Zurn.* 71: 1145- 1147.

Dobzhansky T.H., 1970.- Genetic and evolutionary process. New York, Columbia University Press. 362. pp.

Dyer J., 1979.- Investigating chromosomes. Edward Arnold. London 1a. edición. 215. pp.

Espitia R., 1986.- Caracterización y evaluación preliminar de germoplasma de *Amaranthus*. Tesis Profesional. UAAN. Saltillo, Coah. 162. PP.

Espitia R., 1987.- Evaluación de 50 genotipos de Amarantho en cuatro localidades de la Mesa Central. Coloquio Nacional del Amarantho. Queretaro. Wro. pp. 73-88.

Feine L.B., Harwood R., Kauffman S.C. y Sentf J.P., 1979.- Amaranth: gentle giant of the past and future. In: G.A. Ritchie, ed. *New Agricultural Crops*. Westview. Boulder Co. pp. 41-63.

Franquel O.H., 1978.- Conservation of crop genetic resources and their relatives: an overview. in conservation and Agricultural. (ed.). J.G. Hawkes. Duckworth. London. pp. 123-194.

García V.A., 1990.- Técnicas y Procedimientos de citogenética vegetal. Colegio de Postgraduados. Talleres Gráficos de la Nación. México. 144 pp.

Grant W.F., 1958 .- Cytological aspects of sex determination and phylogenetic trends in dioecious species of *Amaranthus*. *Proc. X. Internal. Congr. Genetics*, 2:103.

Grant W.F., 1959.- Cytogenetic studies in *Amaranthus* III. Chromosome numbers and phylogenetic aspects. *Can. J. Genet. Cytol.*, 1: 313-328.

Grant W.F., 1967.- Cytogenetic factors associated with the evolution of weeds. *Taxon*, 16: 283-293.

Greizerstein E.J. y Poggio L., 1990.- Fórmula cariotípica y comportamiento meiótico en varias especies e híbridos de

*Amaranthus*. In: *Amarantos, Novedades e informaciones*. No. 3. R. M. Troiani y H.A. Paccabelo (eds.). Universidad Nacional de la Pampa, Argentina. pp. 3-4.

Grubben G. J. H. y van Sloten D.H., 1981.- Genetic Resources of amaranths. International Board for PLant Genetic Resources. Rome, Italy. 57. pp.

Hauptli H. y Jain S.K., 1978.- Biosistematic and agronomic potential of some weedy and cultivated amaranths. *Theor. Appl. Genet.*, 52: 177-185.

Hass P.N., 1979.- The Rodale germoplasm collection. In: *Proceedings of the second amaranth conference*. Rodale Press. Inc. Emmaus. PA. pp. 135-141.

Hawkes J.G., 1983.- *The diversity of crop plants*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Hernández X., 1985.- *Biología Agrícola*. (ed.) CECOSA. México. 62. pp.

Herkowitz I. H., 1965.- *Genetics* (2a ed) Little, Brown and Comp. Boston and Toronto. In: *glossary of genetics and cytogenetics*. classical and molecular. Rieger, A. Michaelis, M.M. Green. (eds.). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. New York. 269 pp.

Hindakova M., 1974.- In: *Index to chromosome number of Slovakian flora*. part 4. *Acta. Fac. Rerum Nat. Univ Comeniana. Bot.*, 23: 1-23.

Hunzinker A.T., 1987.- *Taxonomía de las especies de amarantos cultivados y de las silvestres relacionadas*. In: *Actas de las Primeras Jornadas Nacionales sobre Amarantos*. Goldber A.D. y Covas G. (eds.). Universidad Nacional de la Pampa. Argentina. pp. 10.

Jain S.K y Kulakow P., 1988.- *Grain amaranth- crop species, evolution and genetics*.

Kato Y.T.A., 1978.- *La investigación básica en el plasma germinal*. In: *Recursos genéticos disponibles a México*. Cervantes F. (ed.). SOMEFI. Chapingo, México. pp. 49-55.

Kauffman C.S., 1981.- *Grain amaranth varietal improvement: breeding program*. Rodale Press Inc. Emmaus, P.A. 24 pp.

Kauffman C.S. y Reider C., 1984.- *Amaranth germoplasm collection*. Rodale Press Inc. Emmaus. P.A. 114 pp.

Kenton A. y Heywood C.A., 1984.- *Cytological studies in South American Iridaceae*. *Plant Syst. Evol.*, 144: 221-240.

Kenton A., 1986.- Importancia de los cromosomas en la especiación y evolución como base para el conocimiento y caracterización de especies vegetales con valor potencial. In: III Seminario Maximino Martínez, 1986. La aplicación de la Citogenética en el conocimiento biológico de los recursos vegetales en México. Palomino G. (ed.). México, pp. 11-36.

Kosmoo T.N. y Pal M., 1972.- Cytogenetic patterns in *Amaranthus*. *Chromosomes Today* 3: 259-267.

Lacadena J.R., 1988.- Genética. A.G.E.S.A., Madrid. 1303. pp.

Levan A., Fredga K. y Sandberg A.A., 1964.- Nomenclature for centromeric position on chromosomes. *Hereditas*, 52: 201-220.

Levitsky B.A., 1931.- *Bull. Appl. Bot. Genet Pl. Breed*, 27: 103-169.

Madhusoodanan K.J. y Nazer M.A., 1983.- Comparative morphology of the somatic karyotypes of vegetable amaranths and its phylogenetic significance. *Cytologia*, 48: 237-244.

Majovsky J., 1974.- Index of chromosome number of Slovakian flora (Part 4). *Acta Fac. Rerum Na. Univ. Comenianae Bot.* 23: 1-123.

Mapes C., Sandoval E., Bardales S. y Robert B., 1988.- El amaranto como quelite: Comparación de estrategias de domesticación. In: Investigaciones recientes sobre amaranto. Trujillo R. (ed.). Instituto de Geografía. UNAM. México. pp. 45-54.

Mapes C., 1989.- La domesticación del género *Amaranthus* L. In: Amaranto: Boletín Informativo. Jardín Botánico. UNAM. 2: 1-8.

Mera L.M., 1987.- Estudio comparativo del proceso de cultivo de la arvense *Physalis chenopodiifolia* Lamarck. y *Physalis philadelphica* var. *philadelphica* cultivar rendidora. Tesis Profesional. Colegio de Postgraduados, Centro de Botánica Chapingo, México. 112. pp.

Molseed E., 1970.- The genus *Trigridia* (Iridaceae) of México and Central América. *Univ. California. Publ. Bot.* 54: 1-127.

Murray M.J., 1940.- The genetic of sex determination in the family *Amaranthaceae*. *Genetic*, 25: 409-431.

Naranjo C.A., Poggio L. y Brandham P.E., 1986.- A New template for direct morphological classification of chromosomes. *Darwiniana*, 27: 39-41.

Pal M., 1972.- Evolution and improvements of cultivated Amaranths. III. *Genetica*. 43: 106-118.

Pal M. y Koshoo T. N., 1972.- Evolution and improvement of cultivated amaranths V. Inviability weakness and sterility in hybrids. *J. Hered.*. 63: 78-82.

Pal M. y Koshoo T.N., 1973.- Evolution and improvement of cultivated amaranths. VI. Cytogenetic relationships in grain types. *Theor. Appl. Genet.*, 43: 242-251.

Pal M., Pandey R. M. y Koshoo T.N., 1982.- Evolution and improvement of cultivated amaranths. IX. Cytogenetic relationships between the two basic chromosome number. *J. Hered.*, 73: 353-356.

Palomino G., 1986a.- Estudios citogenéticos como apoyo al conocimiento de los recursos genéticos. *In: La aplicación de la citogenética en el conocimiento biológico de los recursos vegetales en México. III Seminario Maximino Martínez. Jard. Bot. del Inst. de Biol. U.N.A.M. pp. 82-85*

Palomino G., Mercado P. y Ramamorthy T.P., 1986b.- Chromosomes of *Salvia* Subgenus *Calosphace* (Lamiaceae). *Cytologia* 51 (2): 381-386.

Palomino G., Zuleta Z.S. y Sheimvar L., 1988a.- Estudio citogenético de dos especies y una variedad del género *Nyctocereus* (Cactaceae). *Bol. Soc. Bot. Mex.* 48: 75-80.

Palomino G. y Romo V., 1988b.- Karyotypic studies in two Mexican species of *Echeandia* ORT. (Liliaceae). *Southwestern Nat.* 33 (3): 382-384.

Palomino G., Segura M., Bve R. y Mercado P., 1990.- Cytogenetic distinction between *Teloxys* and *Chenopodium* (Chenopodiaceae) *Southwestern Nat.* 35 (3): 351-353.

Palomino G. y Vázquez R., 1991a.- Cytogenetic studies in Mexican populations of species of *Crotalaria* L. (Leguminosae-Papilionoideae). *Cytologia* 56: 343-351.

Palomino G., 1991b.- La importancia en el enfoque interdisciplinario en el conocimiento de los recursos vegetales de México. *In: Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos de México. Ortega P. R., Palomino G., Castillo F., González V.A. y Livera M. (eds) SUMEFI. Chapingo, México. pp 63-68.*

Rieger R., Michaelis A., y Gree M. M., 1982.- *Diccionario de Genética y Citogenética Clásica y Molecular*: (ed.). Alhambra. España. 647 pp.

- Rzedowsky J., 1981.- Vegetación de México. Ed. Limusa, México. 423. pp.
- Sáez F. y Cardoso H., 1978.- Citogenética básica y biología de los cromosomas. (ed.) DEA. Washington D.C., E.U.A., 124. pp..
- Sauer J.D., 1950.- The grain amaranths: a survey of their history and clasification. Ann. Missouri. Bot. Gard., 37: 561-632.
- Sauer J.D., 1957.- Recent migration and evolution of the dioecious amaranths. Evolution. 11: 11-31.
- 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., 1977.- The history of the grain amaranths and their use and cultivation around the world. In: Proc. of the first Amaranth conference. Rodale Press Inc., Emmaus, Pa. pp. 9-16.
- Schweizer D. y Ehrendorfer F., 1976.- Giemsa- banded karyotypes systematics, and evolution in *Anacyclus* (*Asteraceae-Anthemidae*). Pl. Syst. Evol., 126: 107-148.
- Singh H., 1961.- Grain amaranth, buckwheat and chenopods. Indian Council of Agricultural Research. Cereal Crops Series No. 1 New Delhi India. 304 pp.
- Sinha S.S.N y Roy H., 1979.- Cytological studies in the genus *Phaseolus*. 1. Mitotic analysis in fourteen species. Cytologia, 44: 191-199.
- Smith y Keary P.F., 1979.- Genética, estructura y función. Publicaciones. S.A. 169. pp.
- Stahl A., 1981.- L Heterochomatine. Ann. Genet, 24(2): 69-77.
- Stebbins G.L., 1971.- Chromosome evolution in higher plant. Eduard Arnold Publ. LTD. Londres. 216p.
- Sutton W.S., 1903.- The Chromosomes in Heredity. Biol. Bull. Woods Hole. In: glossary of genetics and cytogenetics. classical and Molecular. R.R.A. Michaelis, M.M. Green (eds.). Springer- Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 77. pp.
- Swanson C.P., Merzt, y Young W., 1968.- Cytogenetics. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New. Jersey. 321. pp.

Tandon S.L. y Tawakley M., 1970.- In: IOPB Chromosome number reports. XXVI. Taxon, 19: 264-269.

Vavilov V.I., 1951.- The origen, variation immunity and breeding of cultivated plants. Chronica. Bot. 13: 1-366.

Walton P.D., 1968.- The use of the genus *Amaranthus* in genetic studies. J. Hered., 59: 76-78.

Watson J.F. y Crick F., 1953.- Molecular structure of nuclei acids structure of desoxyribose nuclei acid. Nature, London, 171: 737-738

Weber L.E., Kauffman C.S., Bailey N.N. y Volak B.T., 1985.- Amaranth grain production guide. Rodale Research Center, Kutztown Pa.

White M.J.D., 1973.- Animal cytology and evolution. Cambridge Univ. Press, London. 961 op.

Xu Y.B., 1978.- Studies on the chromosome number of some species of *Amaranthus*. Plant. Grossl. China. 3: 48-50.