

§§-010877

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA



*“Formación de Híbridos de Maíz (Zea Mays)
de Alta Calidad Proteínica”.*

TESIS PRESENTADA POR:

Mara Raquel Umaña Rojas
Oscar Reynado Alvarenga Montiel

PARA OPTAR AL GRADO DE:

Licenciado en Química y Farmacia



MAYO DE 1988

SAN SALVADOR,

EL SALVADOR,

CENTRO AMERICA.

T
631.523
U48F

UES BIBLIOTECA CENTRAL



INVENTARIO: 10106314

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

R E C T O R

LIC. LUIS ARGUETA ANTILLON

SECRETARIO GENERAL

ING. RENE MAURICIO MEJIA MENDEZ

FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

D E C A N O

DR. FRANCISCO MANUEL CASTILLO SAMAYOA

S E C R E T A R I O

DRA. AMINTA ACEITUNO DE KAFIE

DEDICATORIA

A Dios

Por iluminar mi camino

A mis padres

MAXIMO UMAÑA L.

CELIA ROJAS DE UMAÑA

*Por su continuo esfuerzo en
mi formación profesional.*

A mis hermanos

HAYDEE, WILLIAM, HELMER, WALTER,
ESTER, JOEL, WALDEMAR, DORCAS,
BETTY Y JEMIMAH.

Por su constante apoyo

MARA RAQUEL UMAÑA ROJAS

A S E S O R

DRA. GLORIA RUTH CALDERON

J U R A D O S

LIC. MARIA ELISA VIVAR DE FIGUEROA

DRA. GLORIA MIRIAN DUBON DE MENDEZ

ING. RAUL RODRIGUEZ SOSA

DEDICATORIA

A mis padres

JUAN LINO ALVARENGA

JUANA ANTONIA MONTIEL

Con profundo respeto y cariño

A mi abuela

ANA PAULA V. DE MONTIEL

Por inducirme a amar a Dios

A mis hermanas

MILAGRO, MIRNA, GLADYS, MARTHA,
DEISY, SUYAPA, MARITZA, MARIA,
YAMILETT Y SUSANA.

Con especial cariño

A la memoria de

MARIO ANTONIO Y JUAN LINO

*Que han sido motivo de mi
inspiración.*

OSCAR REYNALDO ALVARENGA MONTIEL

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

A la Dra. Gloria Ruth Calderón, por su valioso apoyo y constante estímulo, que con tanto cariño nos brindó en la asesoría del presente trabajo.

Al Ing. Raúl Rodríguez Sosa, por su oportuna colaboración y orientación en el desarrollo del presente trabajo.

RECONOCIMIENTOS

Al Centro de Tecnología Agrícola (CENTA) de El Salvador, por brindarnos su colaboración y la oportunidad de llevar a cabo la presente investigación.

Al personal del laboratorio de Química Agrícola del Centro de Tecnología Agrícola (CENTA), por su valiosa y desinteresada colaboración.

A todas las personas, familiares, docentes y amigos que nos apoyaron de una u otra manera.

I N D I C E

CAPITULO	PAGINA
I. INTRODUCCION.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
III. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	4
A. Generalidades sobre el Maíz.....	4
1. Especies Relacionadas con el Maíz...	7
B. Aprovechamiento del Maíz.....	8
1. Utilización del Grano Según su Conte nido Nutritivo.....	8
C. Mejoramiento Genético.....	11
1. Principales Métodos Utilizados en la Mejora Genética del Maíz.....	12
a. Selección Masal.....	12
b. Selección por el Sistema Mazorca Línea.....	13
c. Selección Recurrente.....	14
2. Formación de Híbridos.....	15
D. Mejoramiento de la Calidad Proteínica del Grano.....	18
E. Valor Nutritivo del Maíz de Alta Calidad Proteínica.....	24

F.	Identificación de Materiales de Alta Calidad Proteínica.....:	28
IV.	METODOLOGIA.....	33
A.	Metodología de Campo.....	33
B.	Selección de Materiales.....	33
C.	Metodología Química.....	35
D.	Metodología Estadística.....	38
V.	RESULTADOS.....	39
VI.	DISCUSION DE RESULTADOS.....	42
VII.	CONCLUSIONES.....	46
VIII.	RECOMENDACIONES.....	48
IX.	RESUMEN.....	49
X.	BIBLIOGRAFIA.....	51
	APENDICE.....	56

I N D I C E D E A P E N D I C E

SECCION	PAGINA
A. PREPARACION DE LA MUESTRA PARA ANALISIS DE ENDOS <u>PERMA</u>	57
B. ANALISIS QUIMICO.....	57
1. Determinación de Proteínas por el Método Mi- cro-Kjeldahl.....	58
2. Determinación Colorimétrica de Triptofano...	61
C. DESARROLLO, CALCULO Y COMPROBACION DEL FACTOR (F).....	65
D. FIGURAS.....	70
E. GRAFICOS.....	74
F. CUADROS.....	83
G. GLOSARIO.....	99

I. INTRODUCCION

El maíz constituye uno de los cereales básicos de El Salvador, siendo parte del patrón alimenticio y de consumo por toda la población.

Se conoce que uno de los problemas de los maíces normales es su deficiencia de los aminoácidos esenciales (lisina y triptofano), los cuales se ven incrementados por la inclusión del gene opaco-2 al maíz normal; por lo que actualmente se realizan esfuerzos tanto para aumentar su rendimiento, como para mejorar la calidad nutricional del mismo mediante modificaciones en su contenido de proteínas.

A partir de 1963, los maíces opacos han aportado la solución para mejorar la calidad proteínica del maíz, ya que el gene opaco-2 al lograr la disminución de la proteína de mala calidad como es la zeína, mediante la inhibición de la síntesis de las prolaminas, incrementa de esa forma la calidad de dos aminoácidos esenciales en la dieta del hombre como son: la lisina y el triptofano. Pero, un problema que presenta el maíz opaco y el cual interfiere en su aceptación, es que no posee características agronómicas aceptables para agricultores de zonas tropicales, ya que su rendimiento es bajo, poco resistente a plagas y enferme

dades y su apariencia no es cristalina, sino opaca.

Esto ha dado lugar a que Centros Internacionales y programas nacionales de maíz, realicen investigaciones de mejoramiento genético, incorporando el gene *opaque-2* a diversos germoplasmas que posean altos rendimientos y buena apariencia de grano de semi-cristalino y/o semi-dentado; pero con un mayor índice proteínico.

Con el siguiente trabajo y considerando como parámetro el contenido del aminoácido triptofano presente en la proteína, se han seleccionado líneas de maíz de alta calidad proteínica, base para la obtención de variedades e híbridos de maíz con mejor calidad nutritiva y mayor potencial de rendimiento.

II. O B J E T I V O S

1. *Evaluar la calidad nutritiva de líneas promisorias de maíz, derivadas de dos fuentes de germoplasma CENTA M-5B (blanco) y la población 39 YELLOW FLINT (amarillo).*
2. *Seleccionar las líneas de maíz que posean un adecuado balance de proteína y triptofano presente en proteína en base al análisis correspondiente.*
3. *Elaborar un documento que sirva de guía a los fitomejoradores y químicos, para la formación de híbridos y variedades de polinización libre con buenas características agronómicas y alta calidad proteínica.*

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A. GENERALIDADES SOBRE EL MAÍZ

Según Lagos, J.A. (1983) el maíz que existe en América desde varios miles de años A.C.; presenta la siguiente taxonomía:

género	<i>Zea</i>	clase	monocotiledónea
especie	<i>mays</i>	división	antofitas
familia	gramináceas	sub-div.	angiospermas
orden	glumífloras		

Puede describirse como planta que posee altos tallos huecos divididos por nudos y flores en espiga (flor masculina) y en mazorca (flor femenina). Las hojas son envainadoras y alternas, situadas en dos filas opuestas.

El grano de maíz regularmente posee una forma dentada (forma de diente, fig. 1), constituido por el pericarpio o cubierta que es la parte que cubre la semilla; la parte siguiente o endosperma es amiláceo; y la parte central llamada embrión o germen, el cual está formado por el eje embrionario, de donde surge la nueva planta; y por el escutelo o lugar donde se almacena el alimento para el crecimiento de la plántula. A su vez el eje embrionario en el grano maduro está formado por la plúmula o yema del embrión de

la planta (parte donde estan las hojas), y la radícula, que es semejante a una raíz en miniatura.

Company, M.LL. (1984) sostiene que debido a que el maíz se ha cultivado en casi todas las partes del mundo, es posible encontrar plantas de este cereal con algunas características diferentes; puesto que el grano es el principal producto comercial, el maíz se ha clasificado en sub-especies por algunas características basadas en la apariencia, composición y propiedades físicas del grano. Estas sub-especies son las siguientes:

Zea mays everta (pop-corn)

Maíz de granos pequeños y puntiagudos, cuyo endosperma está formado casi en su totalidad por almidón vidrioso (fig. 2).

Zea mays indurata (flint-corn)

También llamado maíz duro, de granos grandes, redondos y de consistencia madura; el endosperma córneo envuelve completamente el núcleo harinoso. Este tipo de maíz se produce para la obtención de alcohol y almidón, se cultiva mayormente en Europa (fig. 2).

Zea mays indentata (dent-corn)

Conocido por maíz dentado, generalmente los granos tie

nen forma aplanada con una muesca en la parte opuesta a la que se une al raquis, debido a la interrupción de la capa vidriosa. Se cultiva en Estados Unidos (fig. 2).

Zea mays amilacea (soft-corn)

Maíz blando, los granos tienen el endosperma totalmente harinoso. Los gránulos de almidón no son compactos (fig. 2).

Zea mays saccharata (sweet-corn)

Maíz dulce, granos de apariencia traslúcida, superficie arrugada, incompletamente formados (fig. 2).

Zea mays tunicado (pod-corn)

Maíz vestido, cada grano está encerrado en una túnica o vaina (fig. 2).

Zea mays cerotina (waxy-corn)

Maíz ceroso, con granos de textura viscosa o cérea; se utiliza en la elaboración de budines, gomas y adhesivos; el almidón está compuesto sólo por amilopectina, en vez de una mezcla con amilasa.

Zea mays japonica

Sus hojas son rayadas, tienen aplicación ornamental.

Zea mays gracillina

Es una planta hortícola enana.

1. Especies Relacionadas con el Maíz .

Company, M.LL. (1984) sostiene que la especie botánica maíz (*Zea mays*) se consideraba hasta hace poco la única especie del género *Zea*; sin embargo, hoy en día se sabe que posiblemente guarda relación con otras especies. El maíz pertenece a la tribu " maideas " que a su vez incluye ocho géneros. Cinco de ellos son de origen asiático:

- a. *Coix* (lágrima de Job), planta ornamental usada en jardinería.
- b. *Schlerachne*
- c. *Polytoca*
- d. *Chinonachne*
- e. *Trilobachne*

Estas plantas tienen relativamente poca importancia económica.

Los otros tres géneros son de origen americano:

- f. *Zea*
- g. *Tripsacum*
- h. *Euchlaena* o Teosintle

La importancia de los dos últimos géneros reside en su relación filogenética con el género *Zea* (fig. 4).

El *Tripsacum* se encuentra en norte, centroamérica y en Brazil; mientras que el *Euchlaena* conocido como Teosintle, se encuentra en México y Guatemala, ambos se aprovechan como cultivos forrajeros.

El Teosintle y el *tripsacum* pueden cruzarse con el maíz; el *Tripsacum* lo hace en condiciones experimentales y el Teosintle se cruza espontáneamente con el maíz en su medio ambiente.

Según algunos investigadores, las fuentes de los germoplasmas de las actuales razas de maíces americanas son de Teosintle; por consiguiente, el *Euchlaena* o Teosintle es la especie más afín con el maíz.

B. APROVECHAMIENTO DEL MAIZ

Según Company, M.LL. (1984) el maíz tiene una gama de usos más amplia que cualquier otro cereal. Todas las partes de la planta encuentran aplicaciones, ya sea en la alimentación ganadera, en la industria alimenticia para el hombre y como materia prima industrial.

1. Utilización del Grano Según su Contenido Nutritivo

El grano es muy nutritivo para el ganado; pues, como

sabemos, contiene una elevada proporción de hidratos de carbono fácilmente digeribles, proteínas, grasas y muy pocas sustancias sin aprovechamiento alimenticio. La planta completa: tallo, hojas y mazorca, constituyen un excelente alimento para el ganado, ya sea en forma fresca o ensilada a otras plantas forrajeras.

Al grano como alimento para el hombre no se le reconoce tan elevado valor nutritivo, debido a su falta de gluten que hace su harina poco panificable; no obstante, constituye la base de la alimentación humana en amplias áreas de Africa, Centro y Suramérica.

Su alto contenido en materia grasa lo acredita como alimento de alto poder energético, pero también impide que pueda ser almacenado por largo tiempo, una vez molido el grano, se enrancia con facilidad.

Los aminoácidos son los componentes nitrogenados que forman las proteínas. Su valor en la dieta del hombre y los animales es de gran importancia. El grano de maíz, en comparación con los de otros cereales, contiene una elevada cantidad de leucina, alanina, y ácido aspártico y relativamente bajo en ácido glutámico, triptofano, lisina y glicina. El principal tipo de proteína del grano de maíz es

la zeína, que se encuentra en el endosperma. La zeína es deficiente en triptofano y lisina. Los otros tipos de proteínas se encuentran en el endosperma, germen y el pericarpio del grano, y contienen proporciones equilibradas de aminoácidos; aproximadamente, el 20.5% de la proteína del grano está en el embrión, el 76.6% en el endosperma y el 2.9% en el pericarpio.

El interés del maíz en la alimentación humana, además de ir unido a tradiciones y costumbres locales, se basa en cualidades alimenticias, culinarias y gastronómicas, sin nombrar las económicas, que lo hacen en extensas zonas del mundo y algunos países, el alimento humano más importante.

Aunque su harina es poco panificable, con el producto de la molienda del grano después de cocerlo en agua previamente adicionada con cal viva o apagada, se elaboran "tortillas" de gran aceptación y excelentes condiciones para su consumo en múltiples formas.

La cocción del grano en agua de cal facilitan en su molienda posterior el aglutinado de las partículas de la harina de maíz entre sí y la formación de una pasta dotada de consistencia y flexibilidad, que proporcionan a las tortillas de buena calidad su textura característica.

C. MEJORAMIENTO GENETICO

El mejoramiento genético del maíz está encaminado a elevar la producción, incrementando los rendimientos por unidad de área; como también, a la búsqueda de variedades más resistentes a las plagas y mejorar la calidad proteínica del grano como parámetro básico en la alimentación humana.

Los científicos del CIMMYT, (1985) afirman que el maíz es un cultivo alógama, la mayoría de sus razas exhiben una alta variabilidad genética. Tipos de maíz genéticamente diversos han sido cruzados para producir poblaciones que son mejoradas posteriormente y a menudo, liberados para la siembra.

En la mayoría de los casos, la semilla de la variedad del ciclo más reciente de selección y mejoramiento es utilizada para producción comercial.

Desafortunadamente, muchos de estos materiales liberados son demasiado variables en atributos agronómicos y les ha faltado atractivo fenotípico. Esta situación es en gran parte el resultado de la definición algo vaga de " variedad " que ha prevalecido.

Una variedad puede ser formada de varias maneras, dependiendo del programa de mejoramiento de la población que esté siendo utilizada. En maíz se hace uso de muchos esquemas de mejoramiento, por lo que los componentes genéticos que entran en la formación de una variedad, varían en su estructura familiar, complejidad genética y grado de endogamia, ofreciendo oportunidades similares para desarrollar y liberar híbridos o variedades de polinización libre.

1. Principales Métodos Utilizados en la Mejora Genética del Maíz

Company, M.L.L. (1984) cita que gran parte de los avances conseguidos en la mejora genética de las plantas cultivadas, están relacionadas en el trabajo de agricultores y genetistas que han dedicado su esfuerzo principal al campo de la mejora del maíz; por tanto, es objeto de estudio y ensayos para investigar nuevos métodos genéticos destinados a su mejora. En consecuencia, se sabe actualmente de varios métodos para la mejora genética del maíz, los cuales son citados a continuación.

a. Selección Masal

Sanchez, R.R. (1986) muestra que históricamente es el primer método usado por el hombre para mejorar el maíz;

hay evidencia de que los indígenas americanos venían realizando este tipo de selección antes del descubrimiento colombiano.

La selección masal es un método sencillo de mejora genética. Consiste en seleccionar las mejores mazorcas, de las plantas pertenecientes a una población heterocigótica, de polinización abierta y que se estiman como más idóneas desde el punto de vista valorado en la selección, y sembrar el conjunto de sus semillas. El proceso se repite durante varias generaciones o ciclos hasta que se obtiene una mejora sustancial en las cualidades consideradas como más valiosas en el plan de mejora.

El éxito de la selección masal en el maíz, depende fundamentalmente de las características genéticas internas de la población de partida y del buen criterio y precisión en el trabajo del seleccionador.

b. Selección por el sistema mazorca-línea

Company, M.L.L. (1984) expone que normalmente se utilizaba para la obtención de una nueva sub-raza. De este modo, en algunos años se produjeron cientos de sub-razas de maíz adaptadas localmente. El Procedimiento consiste

en sembrar en líneas separadas para cada mazorca seleccionada, parte de sus granos y evaluar su rendimiento. Los resultados obtenidos sirven para valorar por su descendencia la productividad planta a planta (mazorca a mazorca) y así, multiplicar solamente aquellas que dieron descendencias superiores.

Este método ha mostrado efectividad para la modificación de la composición química del grano, así como para obtener plantas con mazorcas más altas (entrenudos más largos).

En general, este sistema resulta superior a la simple selección masal, en especial, para determinados fines entre los que destaca la mejora por rendimiento en grano, porque permite comprobar experimentalmente la presunta bondad de las plantas seleccionadas.

c. Selección recurrente

Company, M.LL. (1984) sostiene que el modo de obtener variedades híbridas en especies alógamas, como en el caso del maíz. Consiste en la selección de las mejores plantas en una población heterocigótica, seguida de la autofecundación de sus descendencias para conseguir líneas

con suficiente grado de homocigocis en los caracteres seleccionados, luego emplear las mejores de estas líneas puras para producir mediante su cruzamiento, los híbridos de primera generación útiles para su cultivo.

Para identificar las plantas que posean una aptitud combinatoria superior en una población, se ha recurrido a la " selección recurrente por aptitud combinatoria general "; en la población de partida se empieza por hacer una selección visual de las plantas previa a su autofecundación, es estas mismas plantas se cruzan con otro material heterocigótico de amplia base genética para quedarse con aquellos que poseen una buena aptitud combinatoria general. Estas plantas seleccionadas por su buen aspecto y por su alta aptitud para combinarse, se autofecundan. Las plantas procedentes de sus semillas se entrecruzan entre sí de todas las formas posibles, a estas combinaciones de le llama aptitud combinatoria específica. La semilla procedente de estos cruces se reúne y se siembra para proceder, en un segundo ciclo de dos generaciones de la misma forma.

2. Formación de híbridos

Portales R., C.A. (1986) Expone que la formación de un híbrido, requiere de tiempo (más o menos 7 años) y sa

crificio de todas las personas involucradas en el proceso; el método más utilizado es el de " sistema convencional de hibridación "; para el cual, se siguen los siguientes pasos:

1. Introducción de germoplasma de amplia base genética.
2. Selección-autofecundación.
3. Aptitud combinatoria general (ACG).
4. Aptitud combinatoria específica (ACE).
5. Evaluación de rendimiento y características agronómicas de cruzas posibles.
6. Predicción de rendimiento teórico de híbridos dobles.
7. Formación y evaluación del 5% de híbridos dobles promisorios.
8. Producción de semilla del mejor híbrido.
9. Liberación del híbrido comercial.

Según Company, M.LL. (1984) la obtención de híbridos de alta productividad se basa en aprovechar el fenómeno de heterosis que se produce al cruzar dos líneas puras homocigóticas. Estas razas o líneas puras, base para la hibridación, se obtienen por autofecundación-selección, orientadas hacia la consecución de líneas que reúnan los caracteres favorables que debe tener el híbrido y que a su vez se combinan bien entre sí. El híbrido, tiene un vigor que se manifiesta por una producción superior a la de los progenito

res. Este es un híbrido simple (fig. 3), la semilla que da lugar a los híbridos simples proviene del cruce entre líneas que han llegado a un alto grado de endogamia y que producen poco polen y poca semilla. Por esta razón, el costo de la semilla para un híbrido simple es bastante alto.

Del cruce de dos híbridos simples se obtiene un híbrido doble (fig. 3). Este posee amplia capacidad de adaptación al medio (suelo, clima, plagas y enfermedades) que el híbrido simple, pero su productividad es menor que la de éste, la semilla para el híbrido doble se produce por la fecundación de dos plantas (híbridos simples) altamente productores de polen, lo que posibilita un abaratamiento en los costos de producción de semilla con relación al híbrido simple.

El híbrido de tres líneas se consigue cruzando un híbrido simple y una línea pura, por sus características de productividad y capacidad de adaptación, ocupa un lugar intermedio entre el híbrido doble y el híbrido simple. Por tanto, un híbrido simple, si está bien adaptado a las condiciones ambientales (clima, suelo) y de cultivo puede dar más rendimiento que los híbridos dobles. En cambio, tiene el inconveniente de que su margen de adaptación es

menor que el de los híbridos dobles, por lo que, aún dando más cosecha en unas condiciones determinadas, pueden rendir menos otro año o en otras condiciones de cultivo o lugares diferentes.

Los híbridos, han dominado en el mundo desarrollado, mientras que las variedades de polinización libre son sembradas comunmente en los países en desarrollo. En nuestro país los híbridos han sido diseñados para agricultores semi y/o tecnificados y las variedades de polinización libre para agricultores tradicionales que no son sujetos a crédito, por lo que no pueden comprar su semilla híbrida cada año.

D. MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD PROTEINICA DEL GRANO

Los científicos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (1984), que se dedicaron desde hace tiempo a la investigación del maíz, han tenido gran interés en mejorar la calidad proteínica de este cultivo; pero hasta hace 20 años, todos los intentos por lograrlo habían fracasado o producido resultados insignificantes; el primer logro importante fue cuando en 1963, se descubrió que el gene mutante del maíz opaco-2, eleva el contenido de lisina y triptofano. A partir de esta fecha

y hasta ahora se ha encontrado que otros dos genes mutantes (opaco-7 y floury), tienen el mismo efecto.

Según el CIMMYT, (1977) desde 1969, los fitomejoradores han seleccionado poblaciones de opaco-2 con endosperma duro modificado, de apariencia normal, resistente a la pudrición de la mazorca y alta tolerancia a los insectos durante su almacenamiento.

Según reseñas del CIMMYT, (1985) en varios programas de investigación en distintas partes del mundo, a estos genes se les introdujo en genotipos de maíces prometedores, con grandes esperanzas de logros a lo largo del tiempo, como es un mejoramiento sustancial de la nutrición de las personas que consumen maíz en países en desarrollo. No obstante, como suele suceder en el fitomejoramiento resultó que una característica muy deseable estaba estrechamente asociada con varias características poco convenientes. Las pruebas efectuadas en variedades e híbridos con un alto contenido de lisina, demostraron que estos resultaban inaceptables para los agricultores porque el grano que producían tenía una apariencia opaca y yesosa, en vez de ser duro y cristalino como generalmente se prefiere; por otra parte, los materiales con un alto contenido de lisina producen rendimientos inferiores a los de sus contrapartes normales,

eran más susceptibles a las pudriciones de la mazorca y a las plagas e insectos en grano almacenado, además que se secaban con mayor lentitud.

Estos enormes obstáculos empañaron el entusiasmo general al maíz de alto contenido de lisina e hicieron que algunos programas redujeran drásticamente la investigación de estos materiales, y que otros la abandonaran por completo.

En lugar de renunciar a lo que parecía ser una excelente línea de investigación, los científicos del CIMMYT, consideraron que los problemas no eran insuperables y continuaron trabajando para alcanzar la meta de crear variedades aceptables de maíz que tuvieran un alto contenido de lisina y triptofano.

Los acontecimientos producidos en los últimos años indican que éste juicio fue aceptado.

Se han encontrado y aplicado con éxito soluciones a los problemas que impedían la adaptación generalizada de lo que varios países en desarrollo están a punto de comenzar, el empleo comercial de germoplasma de maíz de alta calidad proteínica QPM (Quality Protein Maize).

Vasal, S.K. (1984) indican que los cambios hechos en la estrategia de mejoramiento en CIMMYT, han inducido a logros en el desarrollo del germoplasma QPM, ya que en un principio los materiales del maíz con calidad proteínica se crearon en el CIMMYT, utilizando únicamente el gene opaco-2, posteriormente se modificó la estrategia y se incluyó una combinación de dos sistemas genéticos, el gene opaco-2 y un sin número de genes modificadores relacionados con el locus opaco-2.

Esto dió como resultado la conversión de granos suaves y yesosos del opaco-2 en granos cristalinos de aspecto normal. Así el CIMMYT pudo producir un rico conjunto de germoplasma QPM; para así, satisfacer las necesidades de las zonas importantes de producción de maíz en los países en desarrollo.

En CIMMYT, (1977) a partir de 1975, se han cruzado maíces con fuentes del gene opaco-2. Para 1976, el CIMMYT había desarrollado 20 pooles de genes y 17 poblaciones avanzadas, que llevan el gene opaco-2 y la mayoría de estos materiales tenían endosperma duro.

En ese mismo año se probaron 23 variedades experimentales en 7 localidades de diferentes partes del mundo. A

partir de entonces se comenzaron programas cooperativos con otros países: Filipinas, Nepal, Zaire, Tanzania, China, Ecuador y Guatemala.

En localidades de tierras altas en la región andina, los agricultores prefieren maíces de endosperma suave, de grano largo y a estos se les denomina "harinosos".

Así a partir de 1984, se habían creado 7 complejos de QPM tropical, 6 QPM sub-tropical, y el número de poblaciones había aumentado a 6 QPM tropicales y 4 QPM sub-tropicales; en esta forma se ha conseguido que los últimos ciclos de selección presentan alturas de plantas y mazorcas ligeramente inferiores, una madurez más precoz y un fenotipo de grano mejor que el del ciclo original; no obstante, sólo se han obtenido logros modestos en el rendimiento, principalmente a causa de la selección no muy estricta y por la importancia que se ha dado a la modificación de los granos sin reducir la calidad proteínica.

A lo largo de 15 años de investigación multidisciplinaria, el programa de mejoramiento de calidad nutricional de maíz de CIMMYT, ha creado una gama de materiales de endosperma duro, que parten del gene opaco-2 que mejora la calidad de proteína del maíz. En ciertas regiones estos

materiales son semejantes al germoplasma normal, en cuanto a rendimiento y tipo de grano.

Según las reseñas de CIMMYT, (1984) los avances logrados en maíces QPM hasta 1984, han sido los siguientes: para rendimiento, las tácticas más importantes, la selección de granos de mayor peso en las generaciones segregantes, el rechazo de las mazorcas que presentan una acumulación deficiente de materia seca en el grano, la realización de selecciones recurrentes y el endurecimiento del endosperma mediante la acumulación de modificadores genéticos. En un ensayo realizado en Guatemala en 1983, la variedad QPM " NUTRICTA " que ya ha sido liberada en ese país, tuvo un rendimiento tan elevado como el de alguna de las mejores variedades híbridas experimentales. En cuanto a la modificación del grano se ha logrado una modificación estable a nivel de mazorca; pero aún, persiste la variabilidad dentro de la mazorca.

ES posible que se requiera nuevos ciclos para producir un fenotipo completamente normal. La resistencia a la producción del grano se ha mejorado gracias a la reducción en la frecuencia con que se presentan genes indeseables responsables de la división de la producción de la mazorca.

Los investigadores del CIMMYT, (1985) citan que en Guatemala como ya se mencionó, una variedad QPM de polinización libre, la TUXPEN0-1, ha sido liberada a los agricultores bajo el nombre de " NUTRICTA " .. Panamá y República Dominicana, cuentan con líneas endogámicas derivadas de complejos y poblaciones QPM y se busca la formación de híbridos; en Honduras, la TUXPEN0-HE0-2 (endosperma duro, opaco-2) se ha multiplicado en dos hectáreas a fin de efectuar extensas pruebas de investigación en fincas.

Según Miranda, H.M. (1976) en El Salvador existen variedades mejoradas como: H-3, H-5 y H-101, de color blancos y anarillo respectivamente. Estos híbridos salieron al comercio durante los años de 1966 a 1967. Luego se formaron las variedades H-8 y CENTA M-1B, de grano blanco; el híbrido H-8, es un cruzamiento intervarietal y CENTA M-1B, es una variedad de polinización libre. Además de los mencionados, actualmente se conocen el H-9 y H-17 (blanco), H-102 (amarillo), CENTA M-3B y CENTA-PASAQUINA que son variedades de polinización libre resistentes a la sequia y CENTA-M5B de alta calidad proteínica.

E. VALOR NUTRITIVO DEL MAIZ DE ALTA CALIDAD PROTEINICA

Los científicos del CIMMYT-PURDUE, (1977) muestra-

ron que el maíz de alta calidad proteínica con un mayor contenido de lisina, muestra un valor nutritivo superior al valor proteínico de la leche en polvo descremada.

En estudios realizados sobre el valor biológico de la calidad proteínica del maíz opaco-2, comparado con la caseína de la leche y otros maíces, se encontró que la calidad de la proteína de las muestras de maíz modificado, fueron superiores a las de las variedades normales y 85% a 95% de los valores obtenidos por la caseína.

Tsyganash, D.A. (1981) demostró que al seleccionar familias de alta calidad y contenido de proteínas durante un período de 5 a 6 años, por recombinación se encontró que los contenidos de proteínas oscilan entre 15.5% a 20.0% y los contenidos de lisina entre 2.8% y 4.6%. observándose una tendencia a disminuir el contenido de lisina en la proteína, al aumentar la cantidad de proteína. Algunas líneas con proteína alta, se cruzaron con opaco-2 en el estudio. los híbridos obtenidos revelaron que en rendimiento fueron similares al testigo Krasmodar.

Musiko, et al (1970) demostraron que el gene opaco-2 aumenta el contenido de lisina u triptofano, disminuyendo el contenido de zeína en un 15.5%, dejando una fracción

no zeínica de un 84.5%.

Científicos del CIMMYT, (1975) demostraron que el contenido de proteína del endosperma del grano normal apenas llega a un 9.0% del peso total, de esta cantidad sólo la mitad es del tipo que puede ser metabolizada por el organismo humano para la elaboración de nuevos tejidos, función para la cual la proteína es la materia prima esencial.

El resultado de la deficiencia protéica es un síndrome llamado Kwashiorkor, caracterizado por: edema, vientre inflamado, piel y cabello anormal y diarrea severa. El Kwashiorkor es una de las causas principales de la mortalidad infantil registrada en muchas regiones del mundo; aún los sobrevivientes no siempre quedan libres de sus efectos enanizados y a menudo con daños cerebrales.

Beeson, W.M. et al. (1966) demostraron que el contenido de aminoácidos en endosperma de maíz opaco-2, contiene del 69% al 100% más de lisina y 66% más de triptofano en proteína que el maíz normal.

Bressani, R. (1968) investigó que el maíz opaco-2 y el maíz común contienen 7.25% y 10.25% de proteína; 4.6% y 3.6% de lisina en proteína; 1.5% y 0.62% de triptofano en

proteína respectivamente.

Buendía y Betanzos, (1980) realizaron estudios en México, sobre características morfológicas, propiedades físicas y de calidad proteínica del maíz en líneas mejoradas y normales relacionadas al proceso de nixtamalización, se encontró en ese tratamiento, que la morfología de la mazorca no tenía incidencia; pero sí la tenía la dureza del endosperma. En cuanto al contenido de proteína, triptofano y lisina fueron similares después del tratamiento, tanto en los opacos como en los normales.

Landey y Moure, (1982) realizaron ensayos sobre el efecto del maíz con alta calidad proteínica en ratas, los cuales según análisis químico demostraron una correlación positiva entre el valor biológico y el contenido de lisina en la proteína; pero no hubo correlación significativa entre la proteína disponible y el contenido de carbohidratos.

Los científicos de CIMMYT-PURDUE, (1977) encontraron que al alimentar cerdos con maíz opaco-2, es posible reducir la ingestión de la proteína hasta un 20%, comparado con el requerido con el maíz normal y obtener tasas de crecimientos semejantes. Así mismo, se observó que la digestibilidad aparente, la retención del nitrógeno y la dis

esta investigación, (el cual se hace referencia en la metodología química) y el método que emplea el autoanalizador Technicon, el cual involucra una digestión de la materia orgánica, seguido por la cuantificación del sulfato de amonio resultante, la cual se realiza colorimétricamente mediante la formación de un complejo fenólico de color azul, producto de la reacción en medio alcalino del sulfato ácido de amonio y una mezcla de fenol-hipoclorito.

Para análisis de contenido de triptofano, se utiliza de igual forma que para el de proteína en endosperma de maíz, la razón radica en que es precisamente en esta parte donde se encuentra más la deficiencia de aminoácidos y donde se trata de aumentar su contenido protéico, ya que de antemano se sabe que el embrión posee una composición relativamente constante y bien balanceada de aminoácidos.

Higuchi y Hanssen, (1961) argumentan que existen varios métodos analíticos para la determinación de triptofano o cualquier otro aminoácido. El primer método empleado fue el microbiológico (antes de 1950), debido a la capacidad nutricional que poseen los aminoácidos. Por lo general, estos microorganismos requieren de varios aminoácidos para su crecimiento, los cuales actúan produciendo ácido láctico, turbidez, amonio. dióxido de carbono o alfa-cetoácidos;

ponibilidad de lisina son mucho más altos con el maíz opaco-2 que con el maíz normal.

F. IDENTIFICACION QUIMICA DE MATERIALES DE ALTA CALIDAD PROTEINICA

Villegas et al, (1982) exponen que la lisina y el triptofano son dos aminoácidos esenciales que limitan el valor nutricional de la proteína del endosperma de maíz; debido a la relación observada entre el contenido de triptofano y la lisina en la proteína del endosperma del maíz opaco-2 (aproximadamente de 1 a 4), el contenido de triptofano se puede usar como parámetro para evaluar la calidad nutricional de ésta proteína.

Para identificar los materiales de maíces que contienen proteína de calidad superior, el análisis se realiza en el endosperma de la muestra. Cuando se analiza el grano completo, el pericarpio puede contener pigmentos que interfieren principalmente con las determinaciones colorimétricas.

Villegas et al, (1982) proporcionan varios métodos para la determinación de nitrógeno total, de los cuales, los más utilizados son: el de Micro-kjeldahl, aplicado en

la producción de estos compuestos depende de la cantidad de aminoácidos en el medio de cultivo.

Según la AOAC, (1975) los microorganismos que más se utilizan en esta determinación son:

1. *Streptococcus faecalis*

Se usa en ensayos de: isoleucina, leucina, treonina, triptofano, valina, arginina e histidina.

2. *Lactobacillus plantarum*

Se usa en ensayos de: isoleucina, metionina, leucina, fenilalanina, triptofano y valina.

3. *Pediococcus cerevisiae*

Se usa en ensayos de: lisina, metionina, fenilalanina, tirosina, -cistina e histidina.

Posteriormente la cuantificación de dichos aminoácidos se lleva a cabo por métodos titrimétricos, turbidimétricos y nanométricos, dependiendo del medio de cultivo usado, del microorganismo y de lo que produzca este microorganismo.

Villegas et al, (1982) explica que si se requiere no solamente el contenido de triptofano, sino análisis completo de aminoácidos el cual unicamente se realiza en los materiales genéticos seleccionados por su alto contenido de triptofano y/o lisina y listos para producir una nueva

variedad, se aplica el método de cromatografía de intercambio iónico, que consiste en hidrolizar totalmente la proteína de la muestra a pH adecuado con ácido clorhídrico 6 N o ácido p-toluensulfónico a una temperatura de 100 ± 2 °C; luego se separan los componentes por medio de una columna conteniendo el tipo de resina de intercambio iónico recomendada.

Por el inconveniente que presentan los métodos anteriores como es el de contar con equipos de alto costo, tiempo prolongado en su determinación y costo elevado de análisis que limitan el número de muestras a realizar diariamente, el laboratorio de calidad de proteína del CIMMYT, bajo las indicaciones de la Universidad de Purdue han introducido el método denominado de Opienska-Blauth, modificado posteriormente por Hernández-Bates (citados por Villegas et al " 1982 "), debido a su exactitud, reproductibilidad y rapidez, lo cual permite analizar un considerable número de muestras por día (método utilizado en la presente investigación) y satisfacer las necesidades de los fitomejoradores del programa del maíz (referencia en la metodología química aplicada).

En cuanto a la selección de líneas mutantes de maíz con alto contenido de triptofano y/o lisina, en 1974, inves

investigadores de la universidad de Purdue (citados por Villegas et al " 1982 "), desarrollaron una prueba colorimétrica rápida denominada (Prueba de la Ninhidrina para aminoácidos libres en maíces amiláceos con gene opaco-2 ").

Esta prueba consiste en la reacción coloreada (color violeta) de la ninhidrina con los aminoácidos libres presentes en mayor proporción en los granos con calidad proteínica superior.

Esta prueba no es destructiva y el resto del grano seleccionado por su reacción positiva con la ninhidrina, puede ser sembrado en el invernadero y después transplantado al campo para mantener el material genético con calidad de proteína (conteniendo el gene opaco-2).

El único inconveniente que presenta este método es que la prueba es afectada por el tipo de dureza del endosperma, sólo se puede aplicar con resultados satisfactorios en materiales de endosperma suave, en los cuales la penetración de la ninhidrina no se ve limitada como sucede con los de endosperma vítreo (duro).

IV. METODOLOGIA

A. METODOLOGIA DE CAMPO

Se inició con el método de selección de medios hermanos, con la población de maíz provenientes de las variedades de polinización libre: CENTA M-5B (blanco) y la población 39 YELLOW FLINT (amarillo cristalino); de los cuales fueron seleccionadas un total de 633 muestras con el propósito de seleccionar líneas de alta calidad proteíca y características agronómicas superiores.

Esta selección fue hecha en base a aquellas mazorcas que presentaron frecuencia de granos modificados; posteriormente, las mazorcas seleccionadas se sembraron, de las cuales se realizaron las autofecundaciones respectivas para obtener líneas S_1 , S_2 y S_3 .

Cada parcela estuvo formada por un surco de 5 mts de longitud, separadas 0.80 mts entre surco y a 0.50 mts entre postura (dos plantas por postura).

B SELECCION DE MATERIALES

Método de la Lámpara para Selección de Materiales

Los materiales cosechados en el campo consistentes en mazorcas provenientes de cada línea, se desgranaron ya sea en forma mecánica o manual.

Posteriormente los granos obtenidos se colocaron sobre una lámpara de luz fluorescente, donde de manera visual se observan las diversas modificaciones en el grano dependiendo si tienen o no incorporado el gene opaco-2, ya que aquellos materiales que no lo poseen, dejan pasar la luz fácilmente, presentando características opacas aquellos que lo han incorporado (no dejan pasar la luz, fig. 5).

La selección de granos se hizo en una escala de 1 a 5 de la siguiente manera:

1. Normal

Si el grano no es opaco (100% normal de endosperma duro).

2. Intermedio entre normal y modificado

Si contiene 25% de opaco y 75% de normal.

3. Modificado

Si el grano presenta un 50% de opaco y un 50% de normal.

4. Intermedio entre modificado y opaco

Si contiene el 75% de opaco y el 25% de normal.

5. Opaco

Si el grano presenta un 100% de porción opaca.

Del material sobre la lámpara, se seleccionaron 20 granos como representativos de una mazorca, los cuales se enviaron al laboratorio para su análisis de calidad de proteína (proteína y triptofano en proteína), quedando el resto de granos guardados en el banco de germoplasma para su posterior siembra en caso de ser seleccionado dicho material.

De esta manera se seleccionaron líneas obteniéndose 183 muestras que presentaban características del gene opaco-2, las cuales han servido para hacer los respectivos análisis químico. A criterio del fitomejorador se seleccionaron 177 muestras con 40% y 50% de porción opaca, a excepción de 6 muestras de la población 39 YELLOW FLINT que tenían entre 25%, 30% y 35% de porción opaca.

C. METODOLOGIA QUIMICA

Para las diversas determinaciones analíticas se han considerado las establecidas por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1975) y el CIMMYT, (métodos descritos en el apéndice).

Determinación de Proteínas por el Método Micro-Kjeldahl

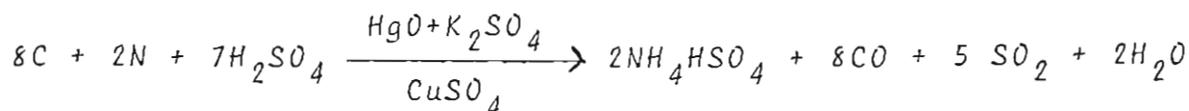
Villegas et al, (1982) citan que el contenido de proteínas se evalúa mediante el método de Micro-kjeldahl, calculando el porcentaje de nitrógeno total y multiplicandolo por el factor 6.25 (en el caso del maíz).

Fundamento del Método

El método consiste en determinar el nitrógeno proteico mediante cuatro pasos que son:

1. Digestión

Consiste en quemar toda la materia orgánica con ácido sulfúrico (gravedad específica 1.84), oxidando el grupo COO^- y reduciendo el nitrógeno a amoníaco, en forma de sulfato ácido de amonio.



2. Destilación

Consiste en el desprendimiento del amoníaco, por efecto de un álcali fuerte (NaOH).



3. Fijación

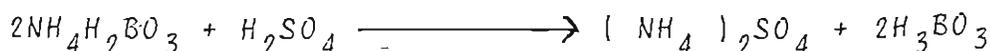
El amoníaco que se desprende, se fija en una solu

ción de ácido bórico al 4%, formando borato di-ácido de amonio.



4. Titulación

Luego que el amoníaco se ha fijado en la solución de ácido bórico, se titula inmediatamente con ácido sulfúrico 0.02 N, el cual desplaza el ión amonio y forma sulfato de amonio más ácido bórico.



Determinación de Triptofano por el Método Espectrofotométrico

Fundamento del Método

Según Villegas et al, (1982) este método se basa en la reacción de Hopkins-Cole, por medio de la cual una molécula de ácido glioxílico reacciona con dos moléculas de triptofano (anillo indólico) y forma un complejo coloreado en presencia de cloruro férrico en medio ácido (color violeta), dicha coloración es medida en un colorímetro adecuado (Spectronic-20 o similar) a una longitud de onda de 545 nm (región visible).

D. METODOLOGIA ESTADISTICA

Los datos obtenidos se ordenaron en cuadros y figuras considerando además una distribución de frecuencias basada en los valores especificados para la selección de materiales (proteína en endosperma mayores de 7.0% y triptofano presente en proteína mayores de 0.70%), ya que con dicho ordenamiento pueden observarse las líneas con mayores características de calidad, en cuanto a contenido proteínico y del aminoácido esencial triptofano presente en proteína como parámetro clave en dicha selección.

V. RESULTADOS

Fueron analizadas 183 muestras provenientes de líneas de maíz repartidas en 116 de la variedad CENTA M-5B y 67 de la población 39 YELLOW FLINT, cuyo origen era QPM SA-86-A. (cuadro 1).

De las líneas CENTA M-5B fueron seleccionadas por medio de lámpara 69 muestras con un porcentaje de 40% de porción opaca y 47 con el 50% (modificado) (cuadro 2).

Para la población 39 YELLOW FLINT, la selección visual fue de 6 muestras agrupadas con el 25%, 30% y 35% (según criterio del fitomejorador), 32 con 40% y 29 con 50% de porción opaca (cuadro 3).

Posterior al análisis químico, donde fueron determinados los porcentajes de proteína y triptofano presente en proteína, fueron clasificados para la variedad CENTA M-5B, 37 y 24 del 40% y 50% de las muestras seleccionadas en forma visual, con un total de 61 líneas (cuadro 2).

Para la población 39 YELLOW FLINT, 4, 23 y 16 de las muestras pertenecientes a los demás porcentajes de selección visual, con un total de 43 líneas (cuadro 3).

Según los análisis de laboratorio, en relación al contenido de proteína expresado en porcentaje, en las 116 muestras de la variedad CENTA M-5B y en las 67 de la 39 YELLOW FLINT, se encontró un rango de variación entre 6.92% a 12.24% y 7.39% a 12.05% respectivamente.

Al ordenar estos valores en una distribución de frecuencias basadas en los valores especificados para su selección (proteína en endosperma, mayores de 7.0%), de manera global, la tabla de frecuencia señala los intervalos entre 8.0% a 8.9% tanto para 92 muestras de las 183 analizadas, como de 66 de ellas seleccionadas (cuadro 4, graf. 5).

Al realizar este ordenamiento en forma independiente, este mismo intervalo de frecuencia fue presentado para las muestras pertenecientes a la variedad CENTA M-5B (73 de las 116 analizadas y 47 de las 61 muestras seleccionadas) (cuadro 6, graf. 7).

Para la población 39 YELLOW FLINT, el frecuencia tuvo una variable ya que este fue mayor entre 9.0% y 9.9% tanto para 23 de las 67 líneas analizadas como para 21 de las 43 seleccionadas (cuadro 8, graf. 9).

En los análisis de triptofano presente en proteína,

los valores oscilaron entre 0.42% a 0.93%, para la variedad CENTA M-5B y 0.49% a 0.94% para la población 39 YELLOW FLINT.

Según ordenamiento por frecuencias y considerando los valores especificados para su selección (triptofano en proteína, mayores de 0.70%), tanto en el análisis de las 183 muestras, como en los materiales seleccionados para las dos poblaciones, este fue mayor entre los intervalos de 0.70% a 0.79% (cuadros 5, 7 y 9; grafs. 6, 8 y 10).

VI. DISCUSION DE RESULTADOS

Tomando como base los valores indicados para selección de materiales con alta calidad proteínica indicados según investigadores del CIMMYT (cuadro 10), los cuales consideran el TUXPENO QPM-81 con porcentajes de proteína en endosperma de 8.5% y triptofano presente en proteína de 0.78% y el TUXPENO QPM-85 con valores de 7.3% y 0.81% respectivamente. Se establecieron parámetros para seleccionar los materiales del presente trabajo, fijándolos para contenido de proteína entre 7.0% y 9.0% para la variedad CENTA M-5B (blanco), ampliando el rango hasta 9.9% para la población 39 YELLOW FLINT (amarillo) y triptofano presente en proteína entre 0.70% a 0.95% para ambas poblaciones.

Este parámetro, también fue establecido basándonos en valores presentados por granos normales sin incorporación del gene opaco-2; en los cuales, sus contenidos de proteína son mayores de 10.0% y triptofano presente en proteína menores de 0.40% (debido al alto contenido de zeína, proteína de mala calidad causante de aumentar la síntesis de prolaminas que disminuyen el contenido de aminoácidos); ejemplo de esto, pueden considerarse las muestras número 236, clave 5-1 que aparentemente contiene un 50% de gene opaco-2 (modificado, según selección visual), pero su análisis

de proteína demostró contener 12.24% y de triptofano presente en proteína 0.47%, ó la número 254, clave 23-5 con 40% de selección visual cuyos contenidos de proteína y triptofano presente en proteína fueron de 10.24% y 0.42% respectivamente.

A diferencia de muestras como la número 158, clave 1599-1, cuyo contenido de proteína fue de 8.69% y el de triptofano presente en proteína de 0.76% ó la número 223, clave 345-2, con 7.39% de proteína y 0.88% de triptofano presente en proteína con selección visual de 50% y 40% respectivamente.

En algunos datos donde éstos contenidos no guardan relación como la muestra número 151, clave 1574-1, que presenta valores de 8.67% de proteína y de triptofano presente en proteína 0.52% ó la número 212, clave 420-2, con 10.73% de proteína y 0.72% de triptofano presente en proteína con 50% y 40% de selección visual, el error en estos casos, no solamente puede ser de índole visual, sino también pudo no haber existido una buena eliminación tanto del pericarpio (la proteína del endosperma tiende a adherirse a éste), o a la no eliminación total del germen sobre todo si el grano es muy pequeño, muchas veces se dificulta dando un mayor contenido del aminoácido puesto que el germen es

rico en él.

Al analizar los diversos valores entre las dos poblaciones, puede observarse que la población 39 YELLOW FLINT presentó un intervalo de frecuencia para proteína, mayor que el presentado por la variedad CENTA M-5B (9.0% a 9.9%), la causa puede ser debido a que el maíz amarillo presenta tendencia a tener un mayor contenido de proteína que el maíz blanco y luego también, hay que considerar que ésta variedad proviene del CIMMYT donde puede estar en una fase de mayor pureza que el blanco (CENTA M-5B), cuyos progenitores provienen de Guatemala lo que podría dar lugar a su comportamiento diferente.

Dentro de la parte de análisis químico, se consideraron las interferencias que pueden ser proporcionadas por los reactivos utilizados, en especial del ácido acético, ya que algunos lotes de ácido acético libre de aldehídos, no tienen la capacidad de producir ácido glioxílico suficiente para reaccionar con el triptofano y formar el complejo coloreado; en éste caso, la curva estándar presenta una curva tura que no es normal (graf. 4) lo que da lugar a proporcionar datos erróneas o muy altos o muy bajos. Este problema, se solucionó agregando de un 2% a 4% de anhídrido a cético al ácido acético utilizado.

Para lograr determinar el porcentaje óptimo, se realizaron ensayos agregando cantidades de anhídrido acético que oscilaron entre el 1.0% y 4.0%, logrando resultados satisfactorios con el 4.0%; de esta forma, la curva estándar se volvió rectilínea (graf. 4). Concentraciones más altas de anhídrido acético, inhibieron el desarrollo de color.

Por estos motivos a cada frasco de ácido acético se le debe hacer una prueba desarrolladora de color en presencia de triptofano, para lograr de esa manera, resultados óptimos.

Como complemento del trabajo, se trató de establecer una correlación entre la selección visual y el contenido de proteína y triptofano presente en proteína determinados por métodos químicos, pero el coeficiente de correlación fue muy pequeño para probabilidades del 1%, lo que significa que no existe correlación entre los parámetros mencionados.

VII. CONCLUSIONES

1. De las 183 líneas analizadas, 104 de ellas reunieron las características de grano con porción opaca, perteneciendo 61 a líneas de maíz blanco CENTA M-5B y 43 a maíz amarillo de la población 39 YELLOW FLINT.
2. Para selección de materiales se tomaron en consideración porcentajes de proteína entre 7.0% a 9.9% y triptofano presente en proteína entre 0.70% a 0.95%, parámetros basados según sugerido por la literatura.
3. Según ordenamiento por distribución de frecuencias, estas fueron mayores en el intervalo entre 8.0% a 8.9% de proteína en líneas de maíz CENTA M-5B y entre 9.0% a 9.9% en las pertenecientes a la población 39 YELLOW FLINT.
4. Para triptofano presente en proteína la distribución de frecuencias fue mayor entre los intervalos de 0.70% a 0.79%, para ambos tipos de poblaciones.
5. Existen interferencias que pueden repercutir en las determinaciones analíticas y posteriormente en la selección de materiales, estas son: una mala elimina-

ción del pericarpio y del germen y la utilización de ácido acético que no reúne las condiciones óptimas para análisis de contenido de triptofano.

6. Según el ácido acético utilizado en la determinación de triptofano, se logró resultados satisfactorios mediante el agregado del 4% de anhídrido acético, dando como resultado una curva de triptofano en forma rectilínea.

7. Un análisis de correlación efectuado en forma tentativa entre la selección visual de granos con apariencia de gene opaco y su contenido de proteína y triptofano presente en proteína demostró la no existencia de correlación entre ambos parámetros.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Para la selección de nuevos materiales se deben de tomar en consideración los valores obtenidos entre 7.0% y 9.0% de proteína para líneas CENTA M-5B, aumentando este porcentaje hasta 9.9% para líneas provenientes de la población 39 YELLOW FLINT, siempre que su contenido de triptofano presente en proteína se encuentre en valores comprendidos entre 0.70% a 0.90% en ambas poblaciones.
2. Se debe hacer un chequeo previo de cada frasco de ácido acético, agregándole concentraciones entre 1.0% a 4.0% de anhídrido acético hasta obtener una curva estándar de contenido de triptofano en forma rectilínea.
3. Es necesario continuar con las evaluaciones de materiales realizándose este trabajo en forma conjunta con los programas de maíz de la región principalmente del área de centroamérica.
4. Mantener los contactos necesarios con personal del laboratorio de calidad de proteína del CIMMYT, para mantener actualizada la metodología de análisis y poder realizar una interpretación adecuada de los resultados.

IX. RESUMEN

El presente trabajo pretende evaluar la calidad de proteína en líneas pertenecientes al programa de maíz del Centro de Tecnología Agrícola, provenientes de dos fuentes diferentes de germoplasma: CENTA M-5B (blanco) y la población 39 YELLOW FLINT (amarillo).

Se analizaron 183 líneas repartidas en 116 de la variedad CENTA M-5B y 67 de la población 39 YELLOW FLINT; de las cuales 73 de la primera resultaron con más altas frecuencias con un contenido entre 8.0% a 8.9% de proteína y 23 de las segundas con contenidos entre 9.0% y 9.9%.

Respecto al triptofano presente en proteína, los valores con más alta frecuencia fueron en 41 líneas de la variedad CENTA M-5B 25 de la población 39 YELLOW FLINT cuyos contenidos oscilaron entre 0.70% a 0.79%.

Pero, al relacionar los parámetros de proteína y triptofano presente en proteína, únicamente fueron seleccionadas 61 líneas de la variedad CENTA M-5B y 43 de la población 39 YELLOW FLINT, lo que hizo un total de 104 líneas seleccionadas.

Los parámetros utilizados para esta selección fueron: contenido de proteína entre 7.0% a 9.9% y triptofano presente en proteína entre 0.70% a 0.95%, para ambas variedades respectivamente.

Para una buena selección de materiales es necesario evitar interferencias principalmente relacionadas con contaminaciones con pericarpio o germen durante la preparación del endosperma para su análisis; de igual forma, es conveniente efectuar un chequeo de cada frasco de ácido acético mediante adiciones del 1.0% al 4.0% de anhídrido acético para obtener una curva estándar de tipo rectilínea en la determinación del porcentaje de triptofano.

Se recomienda continuar con este tipo de evaluaciones realizando esta investigación conjuntamente con los programas de maíz del área centroamericana manteniendo contactos con organismos internacionales que ayuden a mantener la metodología actualizada para obtener una buena interpretación de los resultados.

X. BIBLIOGRAFIA

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC) . . .
(1975). *Official Methods of Analysis*. Washinton DC,
Published by the AOAC, twelfth edition, pag. 15, 16
(2.049); 847, 848 (43.148, 43.151); 927, 928
(47.021, 47.022, 47.023).
- BEESON, W. M.; PICKETT, R. A.; MERTZ, E. T.; CROMWELL, G.
L.; NELSON, O. E. (1966). *Nutritional Value of High
Lysine Corn*. México, *Maize Quality Protein Abstracts*.
CIMMYT-CAB. Public. May. 1975, (39), contiene lite-
ratura publicada entre 1960 y 1974.
- BRESSANI, R. (1968). *Protein Quality of Opaque-2 Maize*.
México, *Maize Quality Protein Abstracts*. CIMMYT-CAB,
Public. May. 1975, (54), contiene literatura publi-
cada entre 1960 y 1974.
- BUENDIA, G. M. O.; BETANZOS, M. (1980). *Características
Morfológicas de la Mazorca, Propiedades Físicas y Ca-
lidad Proteínica del Autonma*. Chapingo, México.
- CALDERON, G. R. et al. (1976). *Selección de Líneas S₇ en
dos Variedades de Maíz Amarillo y Blanco Opaco-2 de*

Endosperma duro, Reunión anual del PCCMCA XXII. Costa Rica, Memoria 24 p.

CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO,
CIMMYT (1975). Maíz de Alta Calidad Proteínica. Mé
xico, 15 p.

CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO,
CIMMYT (1977). El Batán, CIMMYT, México.

CIMMYT-PURDUE (1977). Maíz de Alta Calidad Proteínica,
Compendio de las Ponencias Presentadas en el Simpo-
sium Internacional. México, Editorial Limusa.

CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO,
CIMMYT (1984). Reseña de la Investigación Anual. Mé
xico, 103 p.

CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO,
CIMMYT (1985). Reseña de la Investigación Anual. Mé
xico, 116 p.

CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO,
CIMMYT (1985). Desarrollo, Mantenimiento y Multipli-
cación de Semillas de Variedades de Maíz de Poliniza-

ción Libre. México, 11 p.

COMPANY MANUEL LLANOS (1984). El Maíz, su Cultivo y Apro
chamiento. Madrid, España, Editorial Mundi-Prensa,
pag. 15-21, 243-253, 279-293.

CONNORS A. K. (1975). A Textbook of Pharmaceutical Analy-
sis. EUA, Edited by Wiley-Interscience Publication,
secondth edition, pag. 177, 178.

FONT QUER, P. (1973). Diccionario Botánico. Barcelona,
España, Editorial Labor S.A. primera edición.

HIGUCHI, T.; HANSSEN, E. B. (1961). Pharmaceutical Analy-
sis. EUA, Edited by Interscience Publishers, pag. 267,
268 y 269.

LAGOS, JORGE A. (1983). Compendio de Botánica Sistemáti-
ca. San Salvador, Dirección de Publicaciones Gráficas,
segunda edición.

LANDEY, J.; MOURE, A. T. (1982). Distribution and Aminoa
cid Composition of Proteins Fractions in Opaque-2
Grains Phytochemistry. 21 (8) 1865-1869.

LITTLE, T. M.; HILLS, F. J. (1976). *Métodos Estadísticos para la Investigación en la Agricultura*. México, Editorial Trillas, primera edición, pag. 21, 145.

MIRANDA, H. M. (1976). *Notas sobre los Cursos de Producción de Maíz y Frijol*. San Salvador, El Salvador, Com
pilado y editado por CENTA, pag. 92.

MUSIJKO, A. S.; KLJUCKO, P. F.; PYNEVA, P. N.; TROFIMOV, V. A. & SYSOEV, A. F. (1970). *The Fractional Composition of the Mutant Opaque-2 and Ordinary Maize During the Process of Germination and Growth*. México, *Maize Quality Protein Abstracts*, CIMMYT-CAB, Public. May. 1975, (177), contiene literatura publicada en
tre 1960 y 1974.

PORTALES RIVERA, CARLOS ALBERTO (1986). *Evaluación de dos Poblaciones de Maíz (Zea mays) para Detectar Ge*
notipos Superiores en la Zona Costera del País. Tesis Ing. Agr. Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador , pag. 11, 12.

RODRIGUEZ SOSA, RAUL (1986). *Formación de Híbridos de Maíz Resistentes al Achaparramiento en El Salvador*. Tesis Ing. Agr. Universidad Autónoma Agraria Antonio

Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, pag. 42.

SANCHEZ, R. R. (1986). *Genética Elemental y Fitomejoramiento Práctico*. México, Editorial Limusa S.A., primera edición, pag. 297, 298.

TSYGANASH, D. A. (1981). *Results of a Study of Maize Forms with High Contents of Protein and Lysine in CIMMYT*. México, *Maize Quality Protein Abstracts*, CIMMYT-CAB, vol. 7, No. 2, (61).

VASAL, S. K.; VILLEGAS, E.; TANG, C. Y. (1984). *Recent Advances in the Development of Quality Protein in Maize Germplasm at the International Maize and Wheat Improvement Center, CIMMYT*. Viena, International Atomic Energy Agency, 12 p.

VILLEGAS, E.; ORTEGA, E.; BAUER, R. (1982). *Métodos Químicos Usados en el CIMMYT para Determinar la Calidad de Proteínas en los Cereales*. El Batán, México, CIMMYT, 39 p.

A P P E N D I C E

PROCEDIMIENTOS DE ANALISIS DE ENDOSPERMA DE MAIZ

A. PREPARACION DE LA MUESTRA PARA ANALISIS DE ENDOSPERMA

1. Tomar una muestra de 10 a 20 granos de maíz, como representantes de una mazorca.
2. Lavar cualquier vestigio de plaguicida que tengan los granos con agua destilada, si los granos no han sido tratados, eliminar este paso.
3. Sumergir los granos en agua destilada de 20 a 30 minutos, quitar el pericarpio y eliminar el germen con pinzas y bisturí, dejar secar el endosperma a temperatura ambiente.
4. Triturar la muestra en un molino Burr-Mill hasta homogenizarla, pasandola en el molino por una malla de 0.5 mm.
5. Desgrasar la muestra en un extractor continuo tipo soxhlet con N-hexano durante 8 horas.
6. Secar las muestras con una corriente de aire seco o al aire libre. Las muestras quedarán listas para análisis de calidad proteínica (proteína y triptofano presente en proteína).

B. ANALISIS QUIMICO

1. Determinación de Proteínas por el Método Micro-Kjeldahl

Villegas et al, (1982) exponen que el contenido de nitrógeno se determina por el método micro-kjeldahl y el porcentaje de proteínas se obtiene multiplicando el porcentaje de nitrógeno por el factor 6.25.

Material y Equipo

- . Matraces de digestión para micro-kjeldahl
- . Pipeta Mohr de 3.0 ml
- . Erlenmeyer de 125 ml
- . Probeta de 10 ml
- . Beaker de 100 ml
- . Bureta de 50.0 ml
- . Goteros
- . Pizeta
- . Balanza analítica
- . Aparato digestor para micro-kjeldahl
- . Cámara de gases
- . Aparato de destilación para micro-kjeldahl

Reactivos

- . Acido sulfúrico libre de nitrógeno (98% de pureza y gravedad específica 1.84).

- . Mezcla catalítica ($K_2SO_4 + HgO + CuSO_4$ ó Na_2SO_4)
- . Solución de hidróxido de sodio al 50%
- . Solución de ácido bórico al 4%
- . Solución indicadora (rojo de metilo en verde de bromo cresol)
- . Solución de ácido sulfúrico 0.02 N

Procedimiento

1. Pesar de 30 a 40 mg de muestra (endosperma de maíz) en un frasco de digestión, agregar 1.0 g de Kel pak (mezcla catalítica), y 3.0 ml de ácido sulfúrico.
2. Digerir la muestra durante 40 minutos, enfriar y agregar una mínima cantidad de agua destilada para disolver los sólidos remanentes, enfriar nuevamente.
3. Transferir esta digestión al aparato de destilación, lavar los residuos con una alícuota de agua destilada (10 ml).
4. En un erlenmeyer de 125 ml colocar 8.0 ml de solución de ácido bórico y de 3 a 4 gotas de solución indicadora, tener cuidado al colocar el erlenmeyer, que el extremo del condensador quede bajo la superficie de la solución de ácido bórico.
5. Agregar en el menor tiempo posible al balón de destilación 10.0 ml de solución de hidróxido de sodio y

destilar inmediatamente, hasta obtener unos 50.0 ml de destilado.

6. Titular con ácido sulfúrico 0.02 N, hasta la primera aparición de un color violeta.
7. Llevar un blanco usando los mismos reactivos, el mismo tiempo de digestión y el mismo volumen de destilación que la muestra.

Cálculo del Porcentaje de Nitrógeno Total

El porcentaje de nitrógeno total se calcula por la siguiente fórmula:

$$\% N = \frac{(\text{ml } H_2SO_4 \text{ Tit.} - \text{ml } H_2SO_4 \text{ blanco}) \times N \times 1.4007}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

Cálculo del Porcentaje de Proteínas

El porcentaje de proteína, como ya se mencionó antes se calcula multiplicando el porcentaje de nitrógeno total por el factor 6.25, usando la fórmula:

$$\% \text{ Prot.} = \% \text{ Nitrógeno total} \times 6.25$$

2. Determinación Colorimétrica de Triptofano

Material y Equipo

- . Pipetas volumétricas de 1.0 y 3.0 ml
- . Tubos de 13 x 100 mm con tapón de rosca
- . Tubos de colorímetro calibrados
- . Probeta graduada de 5.0 ml
- . Balanza analítica
- . Estufa incubadora
- . Gradillas con capacidad para 40 tubos
- . Espectrofotómetro o colorímetro
- . Centrífuga
- . Potenciómetro
- . Agitador de tubos

Reactivos

- . Acido acético con cloruro férrico, más el 4% de anhídrido acético (reactivo A)
- . Solución de ácido sulfúrico 30 N (reactivo B)
- . Mezcla de los reactivos A y B (1:1; v/v). Esta solución debe prepararse aproximadamente una hora antes de su uso. Cuando se preparen nuevas soluciones se tiene que elaborar una nueva curva de calibración.
- . Solución estándar de triptofano (100 ug/ml). Para la

preparación de la curva de calibración.

- . Solución buffer de acetato de sodio 0.1 M, pH 7.0
- . Solución de papaína (4 mg/ml). Esta solución debe ser preparada unos minutos antes de su uso.

Procedimiento

1. Pesar de 80 a 90 mg de muestra (endosperma de maíz) por duplicado en frascos viales con tapón de rosca, agregarle 3.0 ml de solución de papaína. Agitar la muestra y tapar los frascos para que no ocurra evaporación. Debe llevarse blancos con solución de papaína a través de este proceso.
2. Llevar las muestras a una estufa graduada a 63 ± 2 °C y mantenerlos durante la noche (16 horas).
3. Retirar los hidrolizados de la estufa y agitarlos, enfriarlos a temperatura ambiente (el líquido sobrenadante debe ser claro, si no es así, las muestras deben ser centrifugadas).
4. Tomar una alícuota de 1.0 ml del hidrolizado sobrenadante y colocarlo en un frasco vial, que contiene 4.0 ml de solución desarrolladora de color (ácido sulfúrico + cloruro férrico y anhídrido acético en ácido acético), agitar vigorosamente y dejar desarrollar el color por 15 minutos en una estufa graduada a 63 ± 2 °C.

5. Enfríar las soluciones y agitarlas, transferirlas a tubos colorimétricos y leer a 545 nm en un colorímetro Spectronic-20 o similar.
6. Preparar una curva estándar de triptofano con un rango de concentración de 0 a 35 ug/ml (graf. 1).
7. El contenido de triptofano en la muestra, se calcula a partir de la curva estándar y se reporta en gramos de triptofano en 100 gramos de proteína.
8. Al efectuar los cálculos respectivos, los duplicados no deben diferir de 0.08% un valor del otro.

Preparación de la Curva Estándar

Pesar 10 mg de DL-triptofano y disolverlos en 100 ml de agua destilada y libre de dióxido de carbono, luego hacer diluciones del estándar con solución buffer de acetato de sodio 0.1 M, pH 7.0, de la siguiente manera:

No. balón	ml sol. estándar triptofano	ml buffer acetato de sodio	concentración (ug/ml)
0	0.0	10.0	00
1	1.0	9.0	10
2	2.0	8.0	20
3	2.5	7.5	25
4	3.0	7.0	30
5	3.5	6.5	35

Luego agitar las diluciones, tomar una alícuota de 1.0 ml y seguir los mismos pasos que lleva la muestra. La curva estándar se traza como densidad óptica (absorbancia) contra concentración (ug triptofano/ml solución).

Cálculo del Porcentaje de Triptofano

El porcentaje de triptofano en la muestra se calcula a partir de la curva estándar por la fórmula:

$$\% \text{ Tript.} = \frac{\text{lectura del aparato} \times \text{factor (F)}}{\text{mg de muestra}} \times 100$$

El contenido de triptofano en la muestra se reporta en base a 100 gramos de proteína, por la fórmula:

$$\% \text{ Tript/100g Prot.} = \frac{\% \text{ Tript.}}{\% \text{ Prot.}} \times 100$$

También puede calcularse por la fórmula:

$$\% \text{ Tript/100g Prot.} = \frac{\text{lect. aparato} \times \text{factor (F)}}{\text{mg de muestra} \times \% \text{ Prot.}} \times 10,000$$

(F) = factor calculado a partir de la curva estándar
(graf. 1).

C. DESARROLLO, CALCULO Y COMPROBACION DEL FACTOR (F)

Debido a que el desarrollo y cálculo del factor trae algunas veces controversias, se ha creído conveniente deducirlo por varios métodos para una mejor comprobación.

1. Desarrollo del Factor (F)

El factor se desarrolla a partir de la curva estándar, como se muestra a continuación:

Trazar una línea paralela al eje X que intercepte la curva; luego trazar otra línea paralela al eje Y que se intercepte con la paralela del eje X en un punto (graf. 2), medir la longitud de ambas líneas en cm y elaborar el factor (F) por la fórmula:

$$F = \frac{B}{A} \times \frac{da \times b}{db \times a} \times \frac{3}{1000}$$

(B/A) = pendiente inversa

(da X b / db X a) = factor de escala

(1/1000) = factor de conversión

(3) = factor de dilución

- (B) = base de la curva trazada (cm) en un punto cualquiera.
- (A) = altura de la curva trazada (cm) en un punto cualquiera.
- (da) = distancia (cm) desde el origen hasta el primer valor numérico sobre el eje X (concentración).
- (a) = primer valor numérico (absoluto) en la escala del eje X (concentración).
- (db) = distancia (cm) desde el origen hasta el primer valor numérico sobre el eje Y (absorbancia).
- (b) = primer valor numérico (absoluto) en la escala del eje Y (absorbancia).

2. Cálculo del Factor

Para calcular el factor tomaremos los valores de la curva estándar (graf. 1).

$$F = \frac{12.8}{12.0} \times \frac{4 \times 5.0}{2 \times 0.1} \times \frac{3}{1000} \quad ** \quad F = 0.32$$

3. Comprobación del Factor (F)

a. Cálculo del Porcentaje de Triptofano Usando el Factor de la Curva Estándar (graf. 1)

Para llevar a cabo éste cálculo, se tomó una muestra al azar y se procedió a aplicar la fórmula :

No. de muestra = 221

Absorbancia mues. = 0.175

% prot. = 8.65%

Peso muestra = 85.9 mg

% Triptofano = ??????

factor (F) = 0.32

$$\% \text{ Tript/100g Prot.} = \frac{\text{absorbancia} \times \text{factor (F)}}{\text{peso muestra} \times \% \text{ Proteína}} \times 10,000$$

$$\% \text{ Tript/100g Prot.} = \frac{0.175 \times 0.32}{85.90 \times 8.65} \times 10,000$$

$$\underline{\underline{\% \text{ Tript/100g Prot.} = 0.754\%}}$$

b. Cálculo del Porcentaje de Triptofano Aplicando la Ley de Beer

La curva estándar cumple con la ley de Beer; por lo que Connor, A.K. (1975) nos proporciona la siguiente fórmula:

$$C_m = \frac{\text{Absorb. muestr.} \times \text{concent. est\u00e1nd.}}{\text{Absorb. est\u00e1nd.}} \times F_d$$

Para poder usar \u00e9sta f\u00f3rmula, tomaremos un est\u00e1ndar intermedio y la muestra No. 221.

$$\text{Absorb. est\u00e1nd.} = 0.234$$

$$\text{Absorb. muestr.} = 0.175$$

$$\text{Concent. est\u00e1nd.} = 25 \text{ ug/ml}$$

$$\text{Concent. muestr.} = \text{?????}$$

$$\text{Factor de dilusi\u00f3n} = 3$$

$$\text{Peso muestra} = 85.9 \text{ mg}$$

$$\% \text{ Tript/muestr.} = \frac{0.175 \times 25}{0.234} \times 3$$

$$= 56.08 \text{ ug; equiv. a } 0.05608 \text{ ug}$$

$$= \frac{0.05608}{85.90} \times 100$$

$$\% \text{ Tript/muestr.} = \underline{\underline{0.06528\%}}$$

$$\% \text{ Tript/100g P.} = \frac{0.06528}{8.65} \times 100$$

$$\% \text{ Tript/100g P.} = \underline{\underline{0.755\%}}$$

c. C\u00e1lculo del Porcentaje de Triptofano Interpolando en la Curva Est\u00e1ndar.

Para llevar a cabo éste cálculo, tomaremos la muestra No. 221 y la interpolamos en la curva estándar (graf. 3).

$$\begin{aligned}
 \text{Absorb. muestr.} &= 0.175 \\
 \text{Peso muestr.} &= 85.90 \text{ mg} \\
 \text{Factor de dilución} &= 3 \\
 \% \text{ Proteína} &= 8.65\% \\
 \text{Valor interpolado} &= 18.63 \text{ ug} \\
 \% \text{ Tript/muestr.} &= 18.63 \times 3 \\
 &= 55.89 \text{ ug; equiv. a } 0.05589 \text{ mg} \\
 &= \frac{0.05589}{85.90} \times 100 \\
 \% \text{ Tript/muestr.} &= 0.0651\% \\
 \% \text{ Tript/100g Prot.} &= \frac{0.0651}{8.65} \times 100 \\
 \% \text{ Tript/100g Prot.} &= 0.753\%
 \end{aligned}$$

Como los métodos empleados tienen bastante aproximación entre sí, se optó por aplicar el método del factor (F) ya que el valor que proporciona es intermedio con los otros dos métodos (ley de Beer e Interpolación), además permite trabajar con mayor rapidez, exactitud y precisión.

ESQUEMA DE UNA SEMILLA DE MAIZ

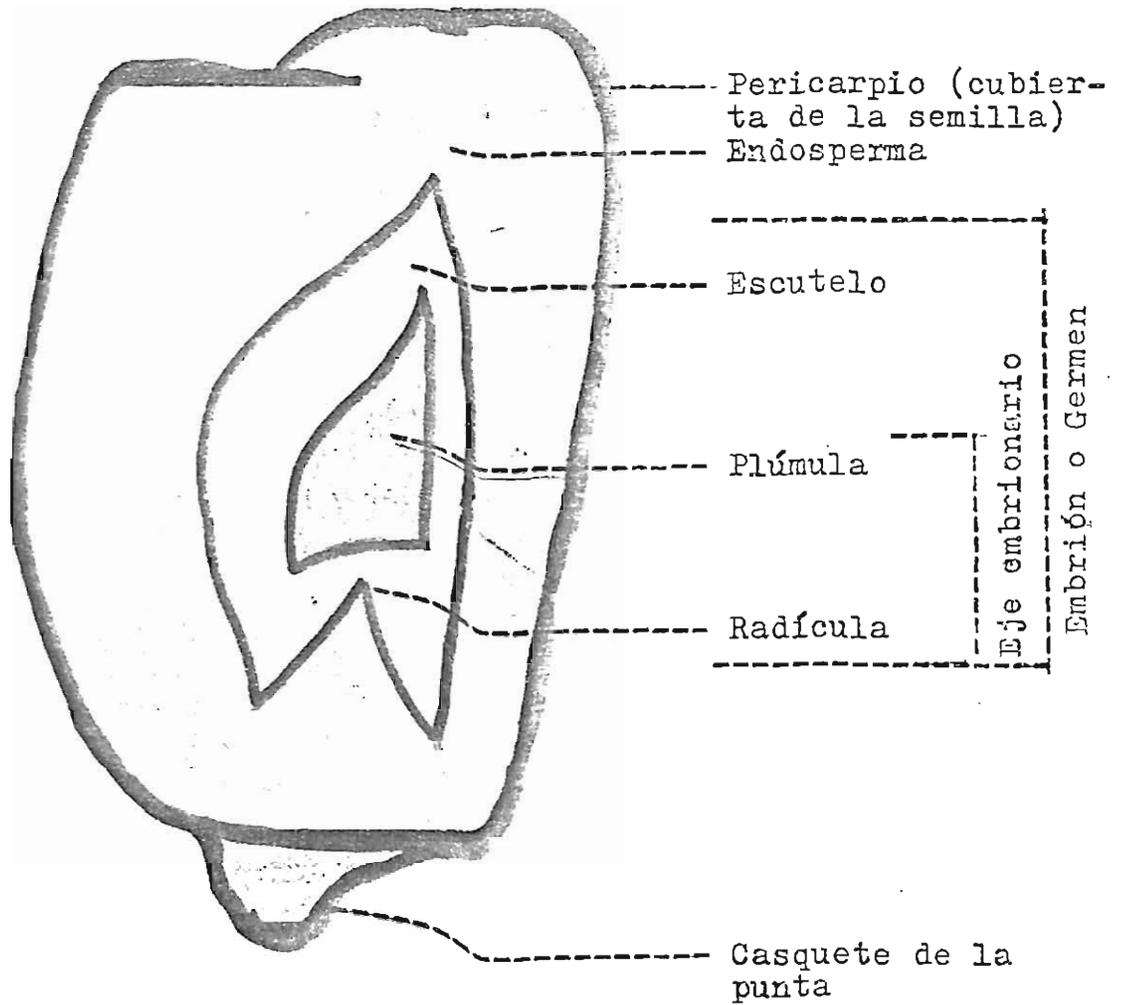


Fig. 1. Esquema del corte transversal de un grano de maíz, con sus partes delimitadas.

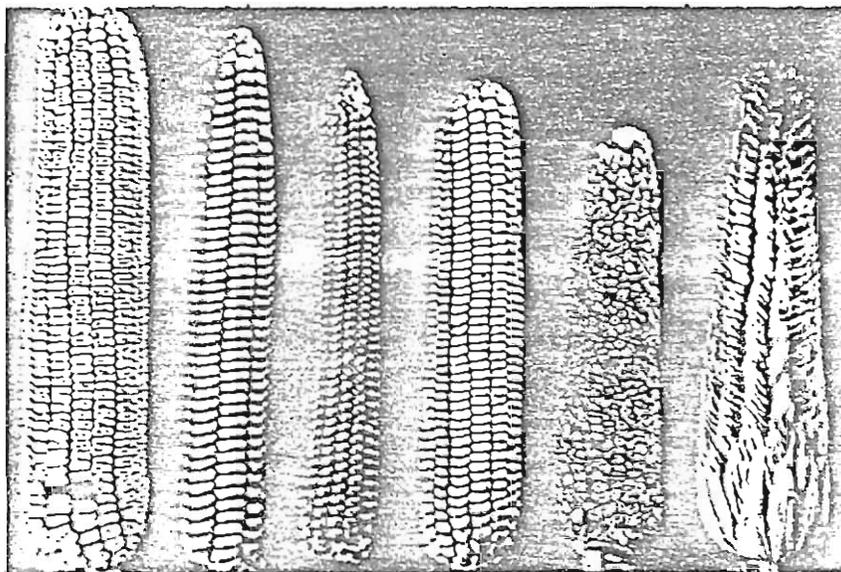


Fig. 2. Los tipos de maíz difieren en caracter de la semilla. De izquierda a derecha: dentado, cristalino, reventón, harinoso, dulce y tunicado. (Tomado de Maíz, Variedades Mejoradas, Métodos de Cultivo y Producción de Semilla. Robert W. Jugenheimer).

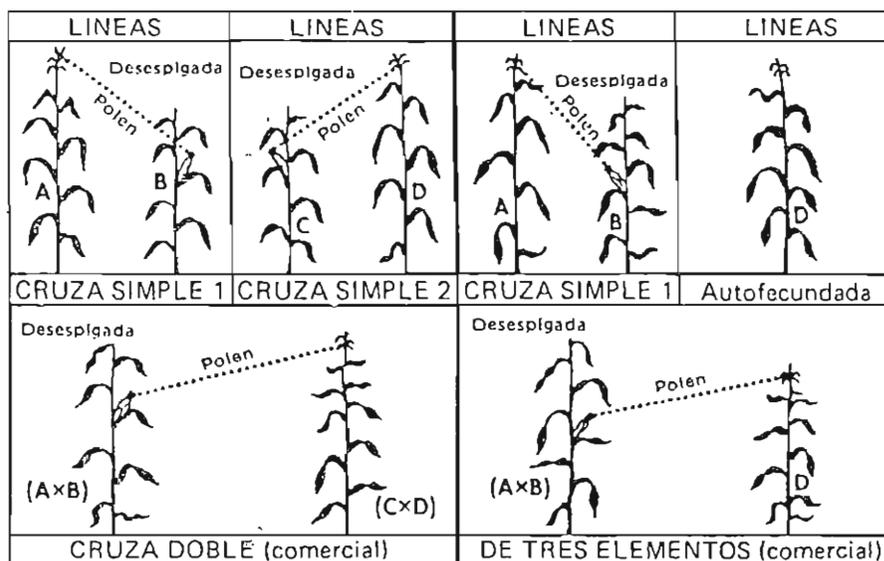


Fig. 3. Producción de semilla comercial de híbridos de cruza simple, de cruza doble y de cruza de tres elementos, por desespigamiento. (Tomado de Maíz, Variedades Mejoradas, Métodos de Cultivo y Producción de Semilla. Robert W. Jugenheimer).

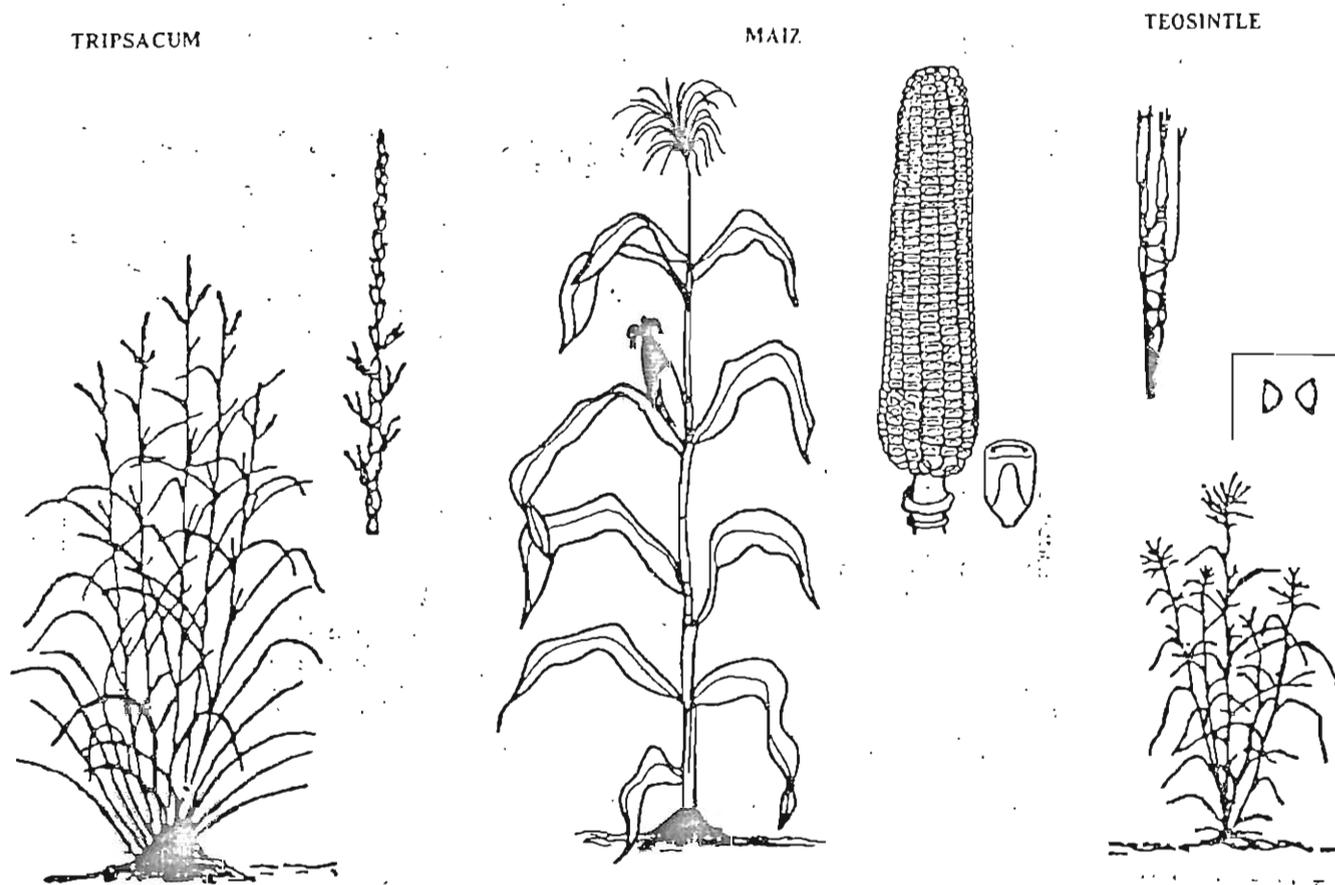


Fig. 4. Comparación de *Tripsacum* (planta y espiga); maíz (planta, espiga y grano) y *Teosintle* (planta, espiga y grano). (Tomado de *El Maíz, su Cultivo y Aprovechamiento*, Manuel Llanos Company).

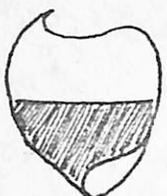
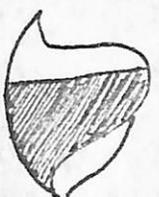
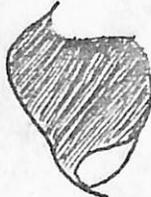
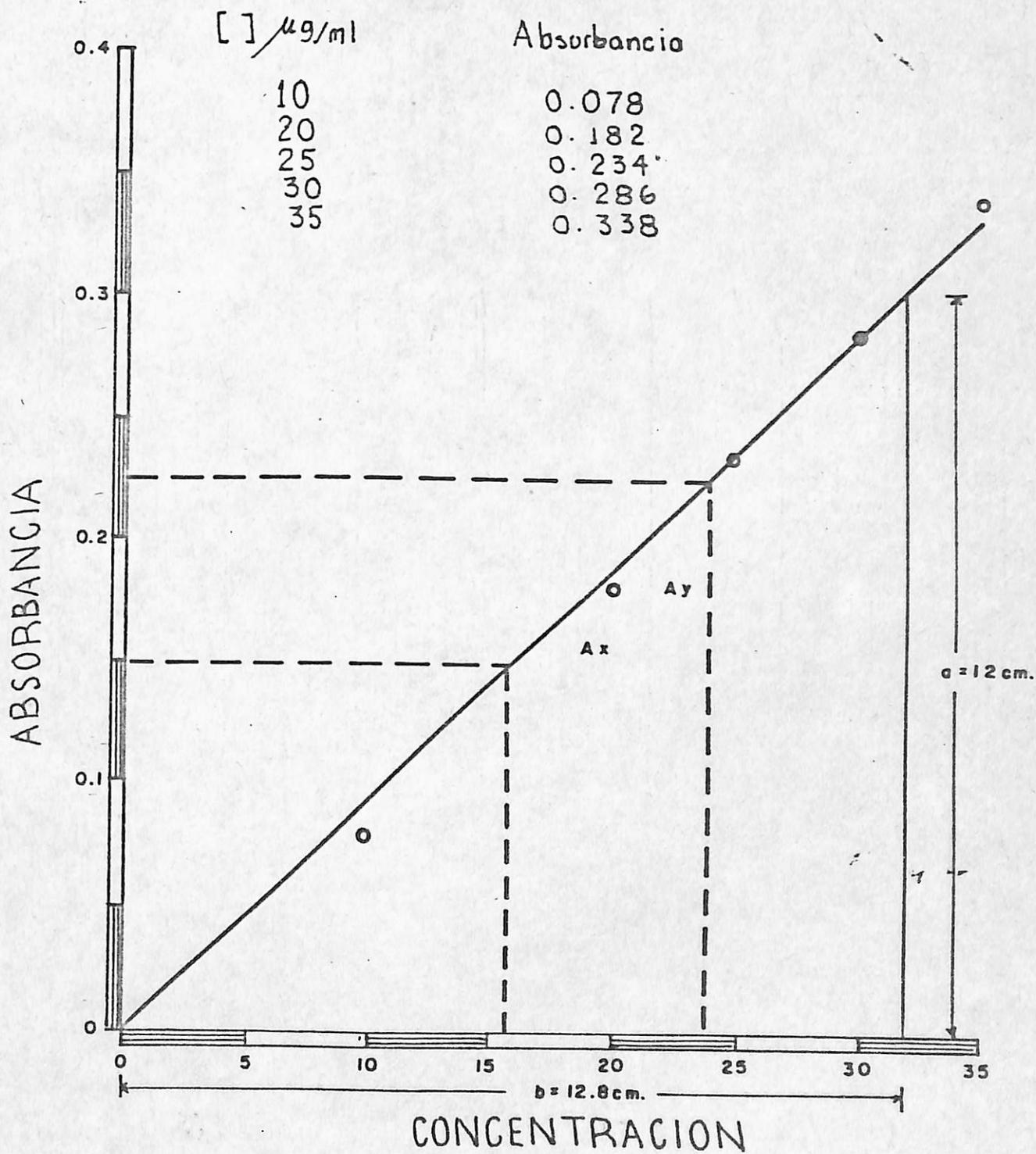
1-		NORMAL	100%
2-		Intermedio entre normal y modificado.	75/25
3-		MODIFICADO	50/50
4-		Intermedio entre modificado y opaco	25/75
5-		OPACO	100%

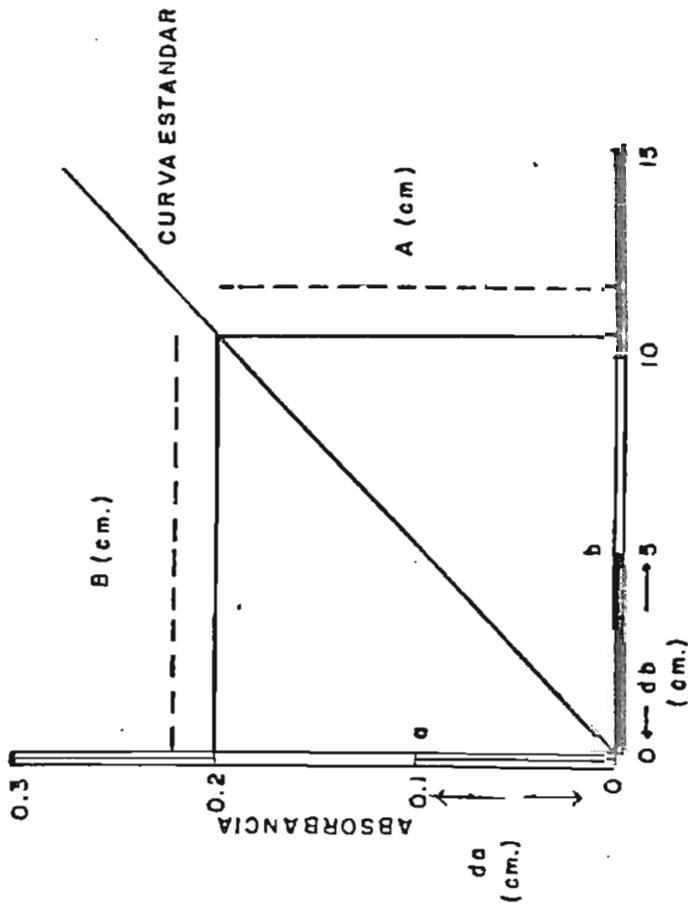
Fig. 5. Selección de materiales por el método de la lámpara fluorescente. (selección visual).

STANDARES DE TRIPTOFANO A 545 nm.



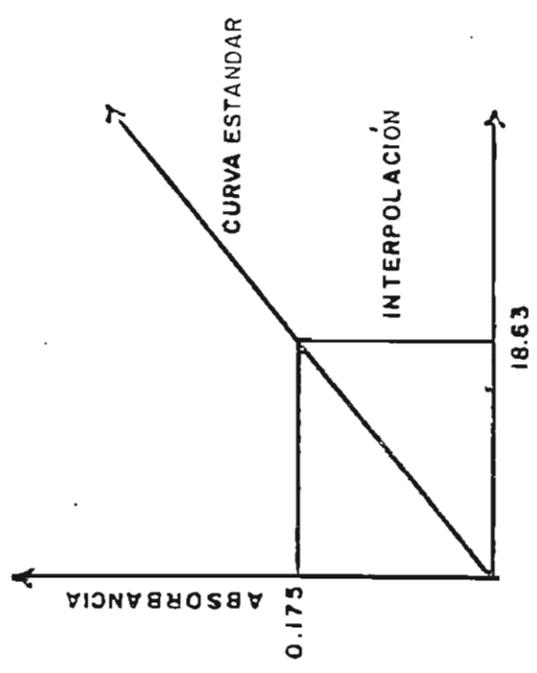
GRAF. I CURVA ESTANDAR DE TRIPTOFANO A 545 nm.

BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



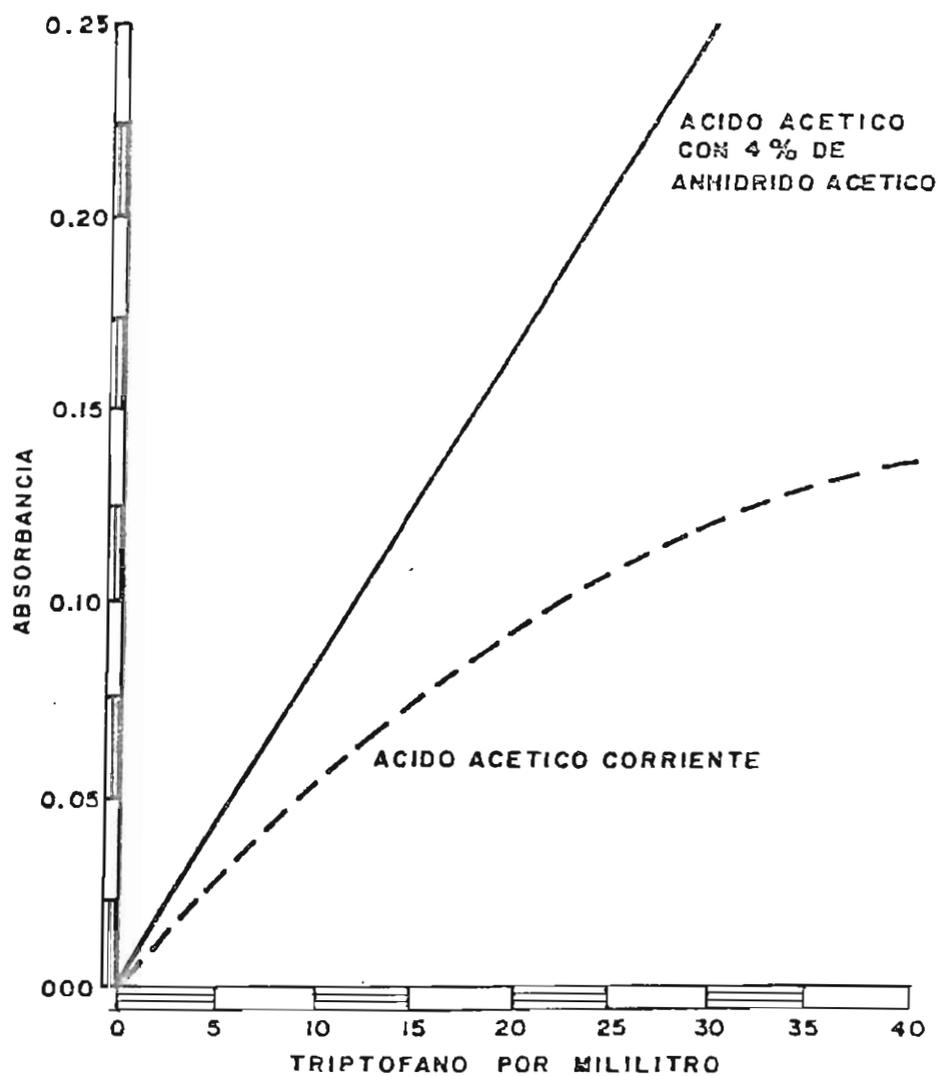
CONCENTRACION DE MICROGRAMOS/MILITROS DE TRIPTOFANO

GRAF. 2 OBTENCIÓN DE VALORES PARA DETERMINAR EL CALCULO NUMÉRICO DEL FACTOR (F)

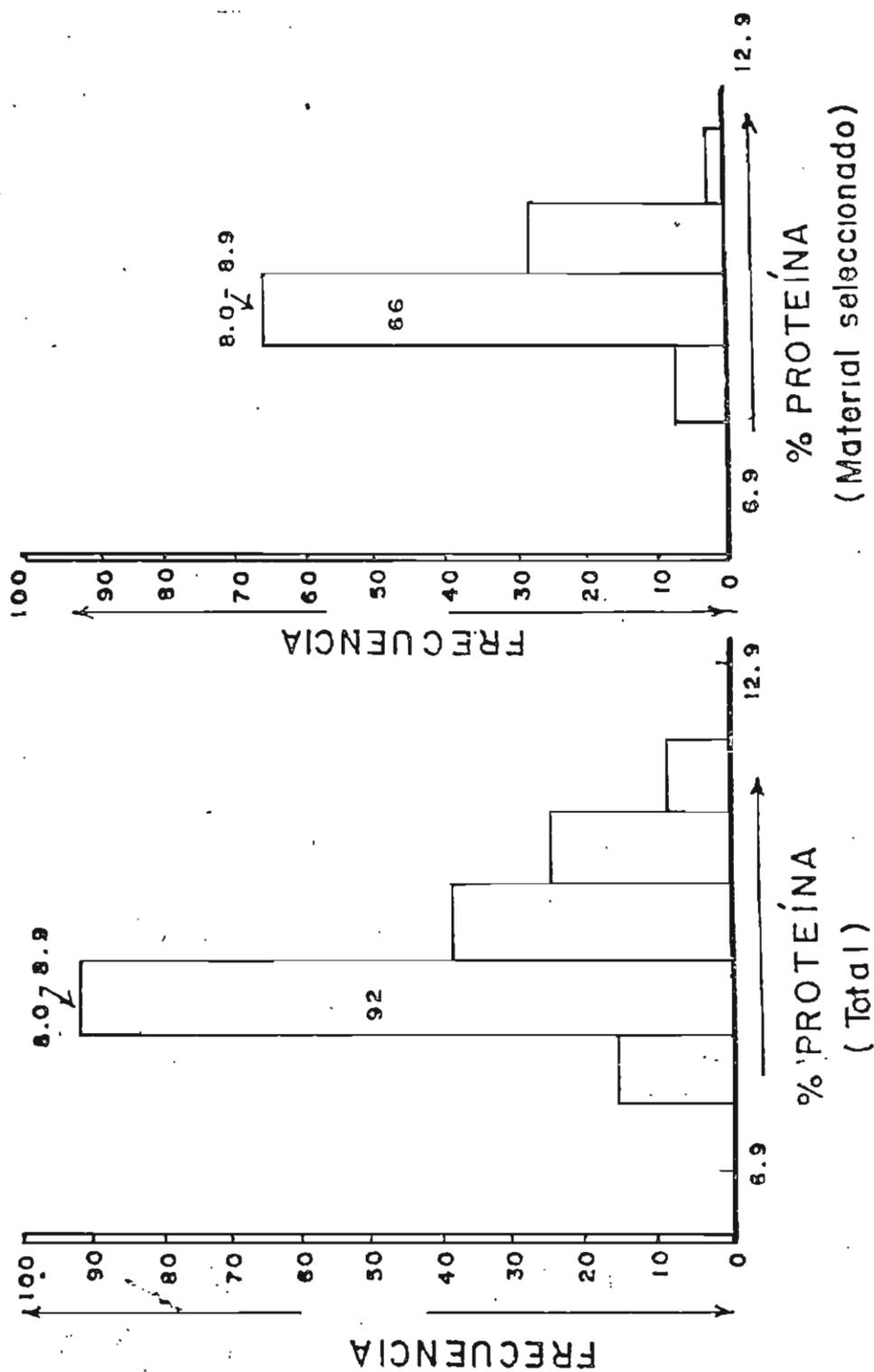


CONCENTRACION DE MICROGRAMOS/MILITROS DE TRIPTOFANO

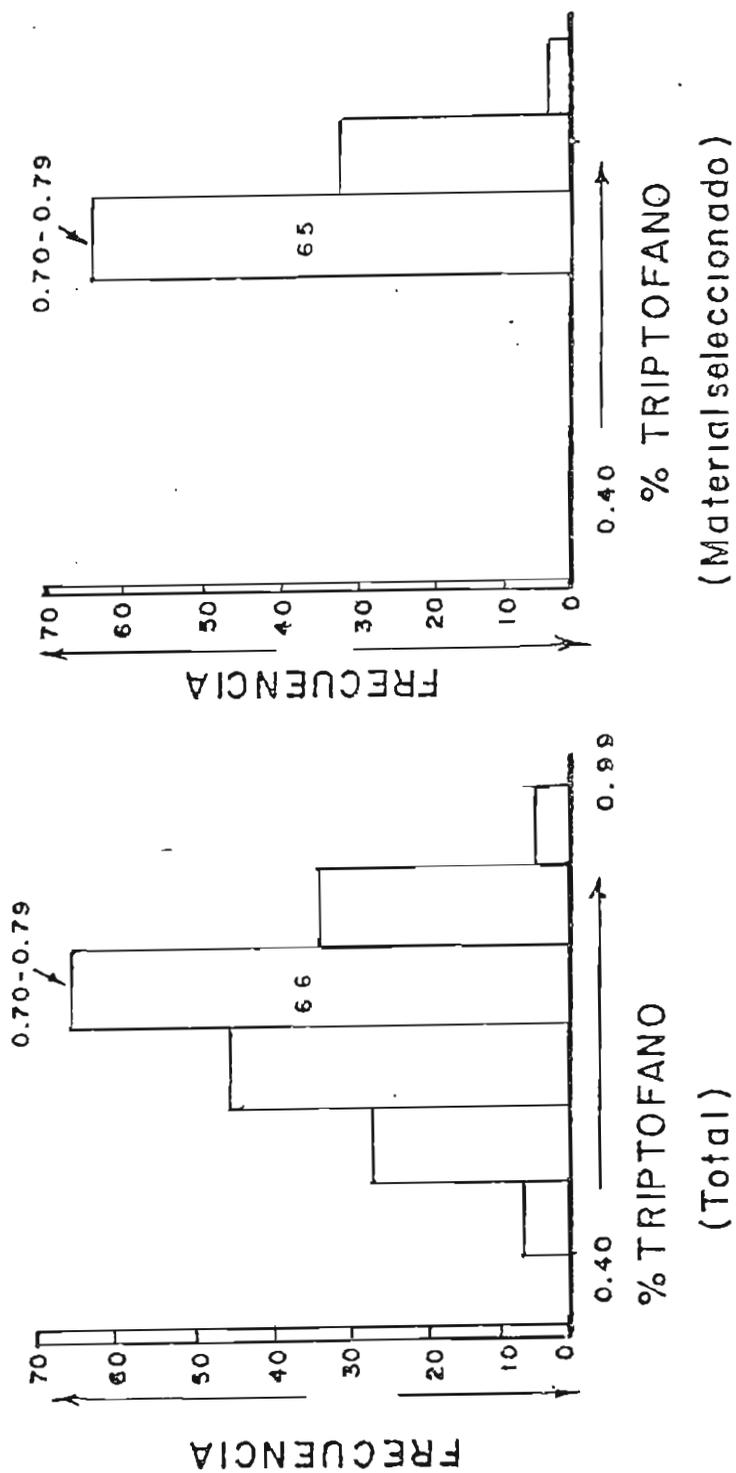
GRAF. 3 CURVA ESTANDAR PARA INTERPOLAR LA MUESTRA N° 221 Y OBTENER EL VALOR DE CONCENTRACIÓN



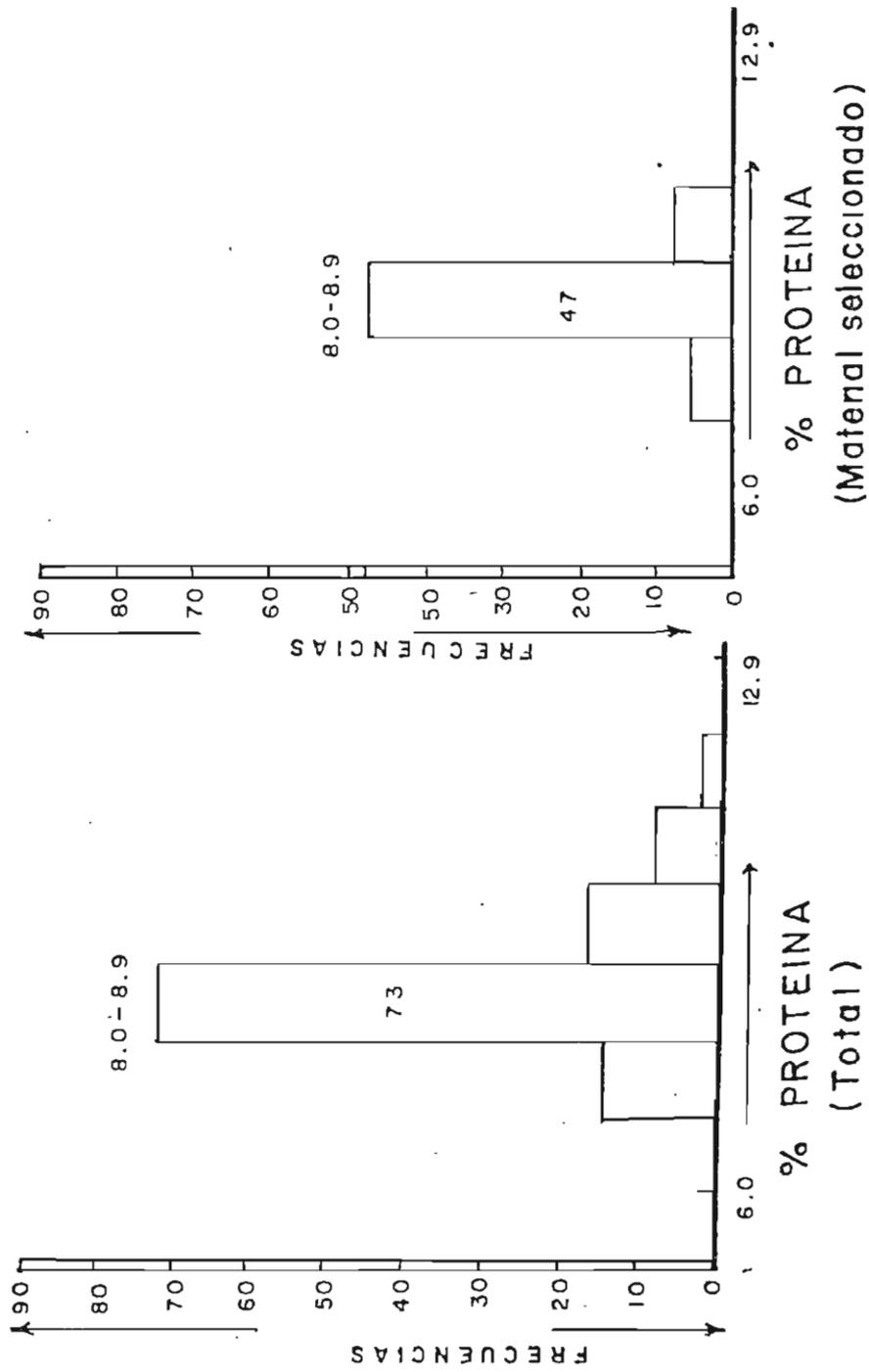
GRAF.4 CURVA COMPARATIVA EN LA QUE SE OBSERVA EL USO DEL ACETICO CORRIENTE Y EL QUE CONTIENE 4% DE ANHIDRIDO ACETICO.



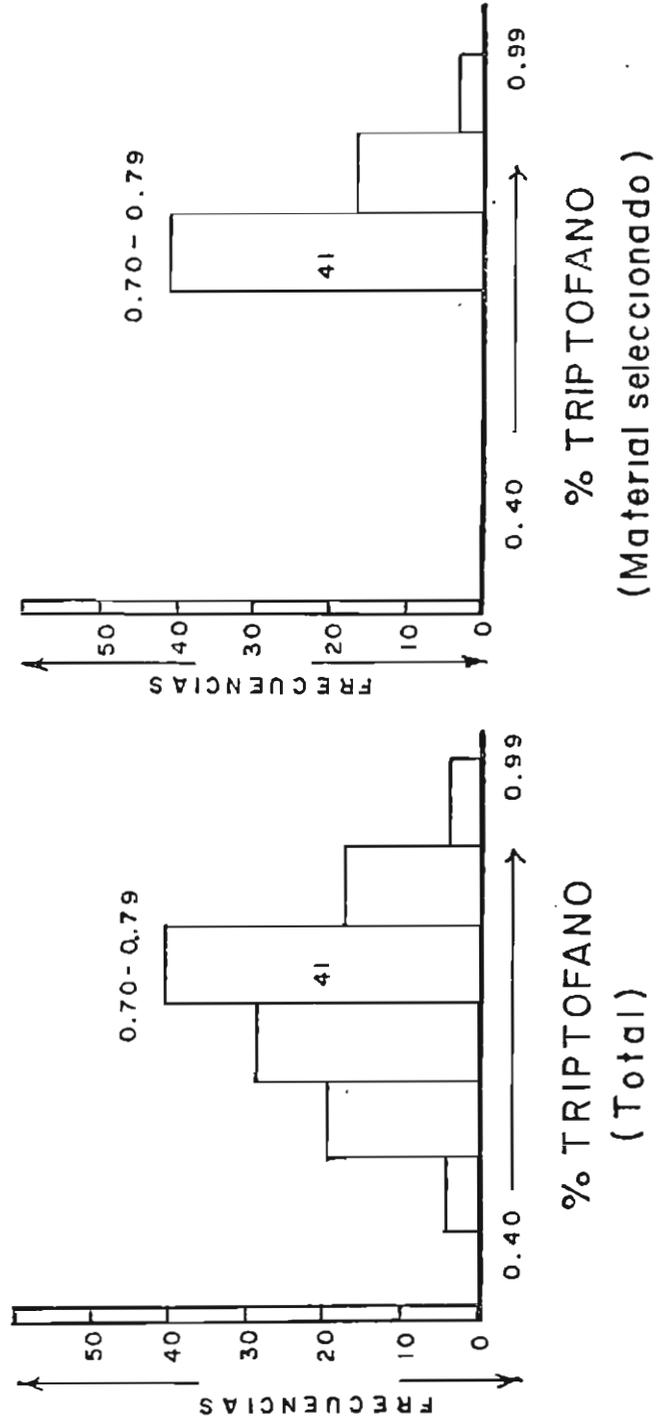
Graf. 5. Distribución de frecuencias para valores de proteína en forma global en la variedad CENTA M-5B y la población 39 YELLOW FLINT.



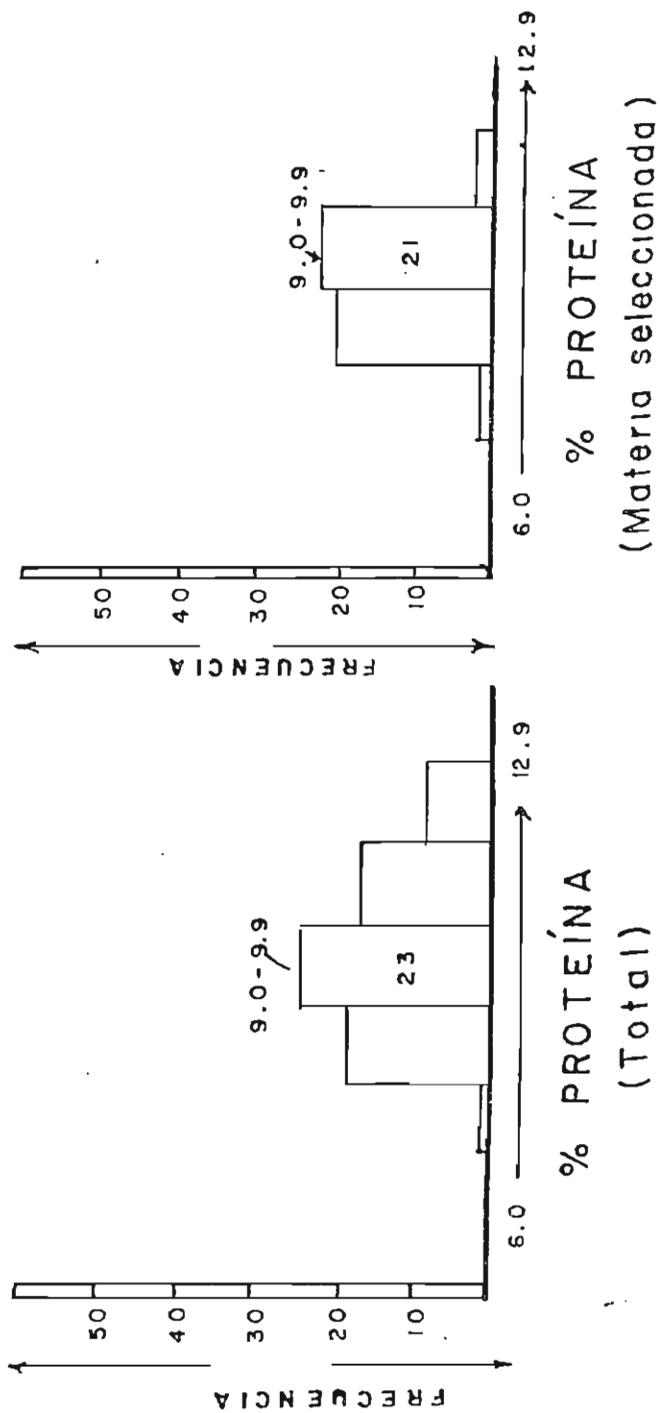
Graf. 6. Distribución de frecuencias para valores de triptofano presente en proteína, en forma global en la variedad CENTA M-5B y la población 39 YELLOW FLINT.



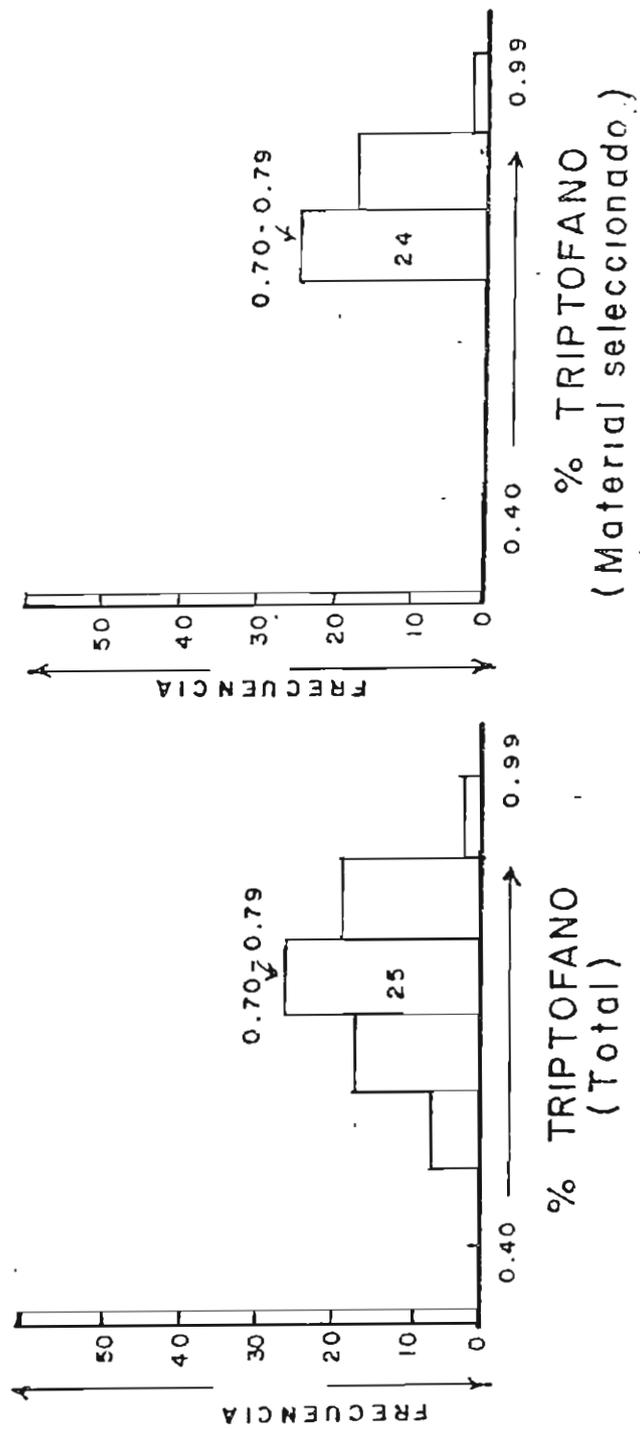
Graf. 7. Distribución de frecuencias para valores de proteína en la variedad CENTA M-5B.



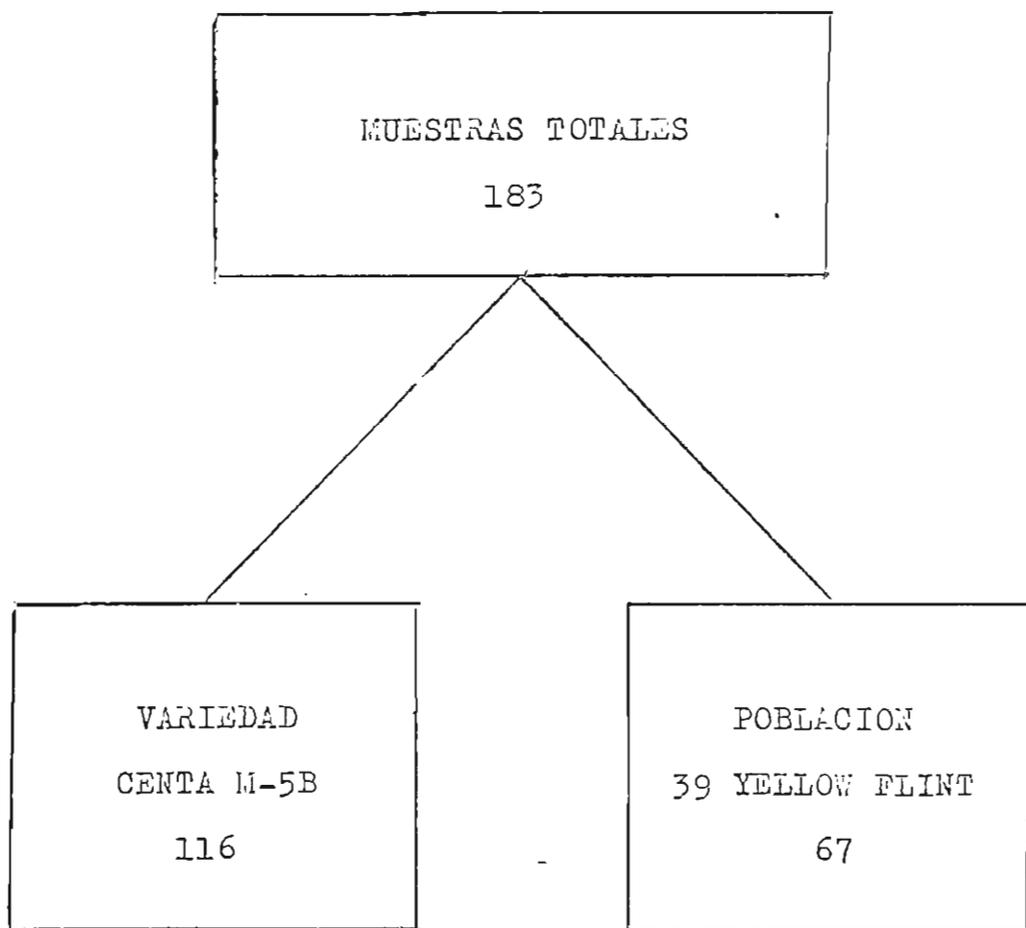
Gráf. 8. Distribución de frecuencias para valores de *triptofano* presente en proteína en la variedad CENTA M-5B.



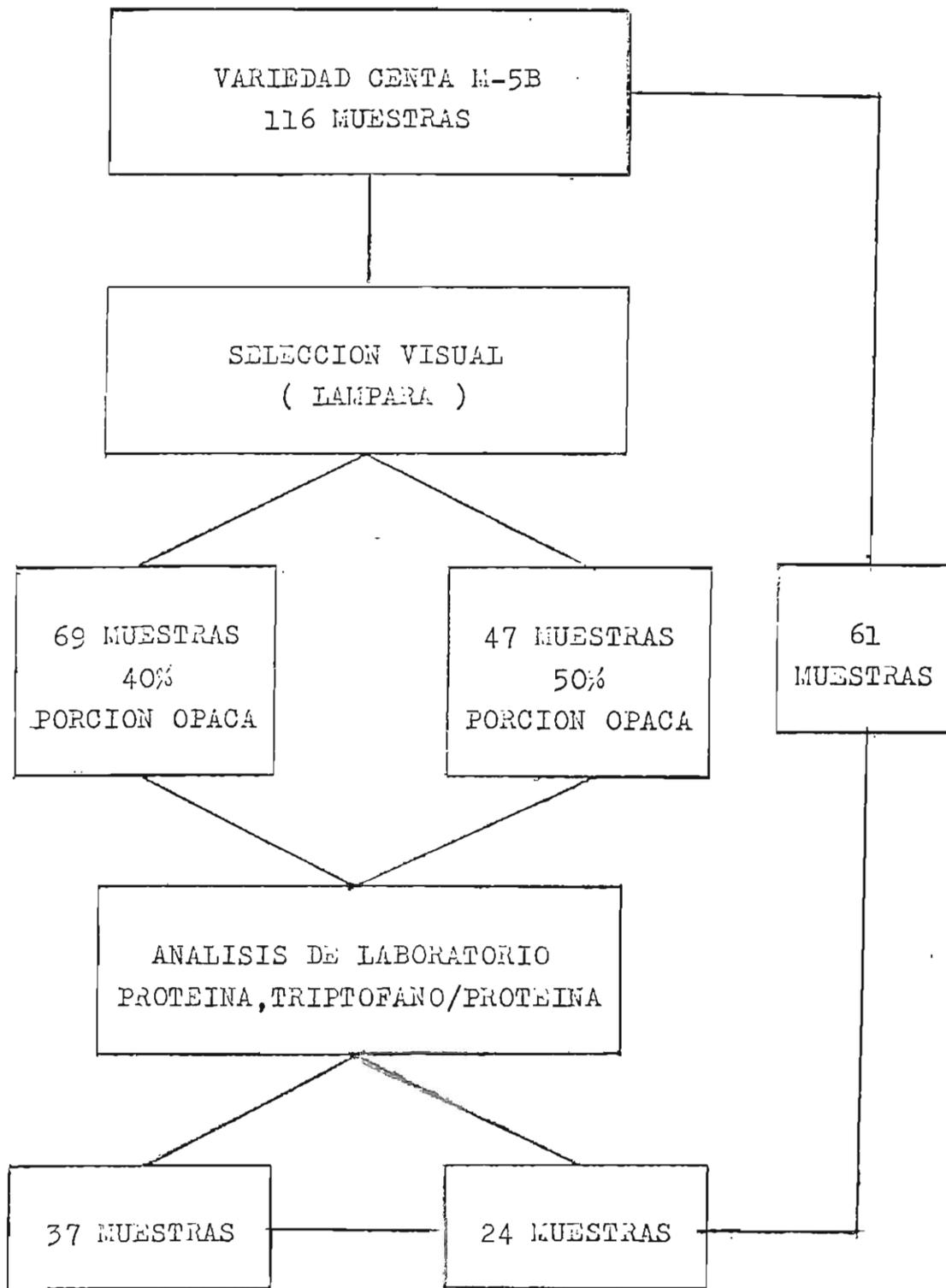
Graf. 9. Distribución de frecuencias para valores de proteína en la población 39 YELLOW FLINT.



Graf. 10. Distribución de frecuencias para valores de *triptofano* presente en proteína, en la población 39 YELLOW FLINT.



Cuadro 1. Cantidad de muestras analizadas en dos fuentes de germoplasma.



Cuadro 2. Selección de materiales pertenecientes a líneas de la variedad CENTA H-5B.

clases	frecuencias	
	CENTA M-5B + YELLOW FLINT, global	CENTA M-5B + YELLOW FLINT, mat. selec.
6.0 - 6.9	1.0	0.0
7.0 - 7.9	16.0	7.0
8.0 - 8.9	92.0	66.0
9.0 - 9.9	39.0	29.0
10.0 - 10.9	24.0	2.0
11.0 - 11.9	9.0	0.0
12.0 - 12.9	2.0	0.0
total	183.0	104.0

Cuadro 4. Frecuencias para porcentajes de proteína, en líneas de maíz CENTA M-5B y pob. 39 YELLOW FLINT, ambas con el gene opaco-2 incorporado.

clases	frecuencias	
	CENTA M-5B + YELLOW FLINT, global.	CENTA M-5B + YELLOW FLINT, mat. selec.
0.40 - 0.49	7.0	0.0
0.50 - 0.59	26.0	0.0
0.60 - 0.69	45.0	0.0
0.70 - 0.79	66.0	65.0
0.80 - 0.89	34.0	34.0
0.90 - 0.99	5.0	5.0
total	183.0	104.0

Cuadro 5. Frecuencias para porcentajes de triptofano presente en proteína, en líneas de maíz CENTA M-5B y la pob. 39 YELLOW FLINT, ambas con el gene opaco-2 incorporado.

clases	frecuencias	
	CENTA M-5B global	CENTA M-5B mat. selec.
6.0 - 6.9	1.0	0.0
7.0 - 7.9	15.0	6.0
8.0 - 8.9	73.0	47.0
9.0 - 9.9	16.0	8.0
10.0 - 10.9	8.0	0.0
11.0 - 11.9	2.0	0.0
12.0 - 12.9	1.0	0.0
total	116.0	61.0

Cuadro 6. Frecuencias para porcentajes de proteína, en líneas CENTA M-5B con el gene *opaco-2* incorporado.

clases	frecuencias	
	CENTA M-5B global	CENTA M-5B mat. selec.
0.40 - 0.49	6.0	0.0
0.50 - 0.59	20.0	0.0
0.60 - 0.69	29.0	0.0
0.70 - 0.79	41.0	41.0
0.80 - 0.89	17.0	17.0
0.90 - 0.99	3.0	3.0
total	116.0	61.0

Cuadro 7. Frecuencias para porcentajes de triptófano presente en proteína, en líneas CENTA M-5B con el gene *opaco-2* incorporado.

variedad	porción analizada	% Proteína	% Triptofano en Proteína	% Lisina
TUXPEÑO-1 (+) NORMAL	Endospermo	9.4	.41	1.65
	Grano Completo	10.6	.54	2.74
TUXPEÑO-QPM-81 (Alta Calidad Proteínica)	Endospermo	8.5	.78	2.94
	Grano Completo	10.3	.92	4.04
TUXPEÑO-QPM-85 (Alta Calidad Proteínica)	Endospermo	7.3	.81	2.87
	Grano Completo	9.5	.96	3.92

Cuadro 10. Comparación de los porcentajes de proteína y triptofano presente en proteína, entre las variedades TUXPEÑO QPM-81, TUXPEÑO QPM-85 (ambas de alta calidad proteínica) y la TUXPEÑO -1 normal. (Referencia del laboratorio de calidad de proteína del CIMMYT).

GENTA M-5B (LOTE AISLADO) MATERIALES SELECCIONADOS

No. Muestra	CLAVE	% SELECCION VISUAL	%PROTEINA	% TRIPTOFANO EN PROTEINA
232	3-5	50	7.18	0.791
234	4-3	40	8.00	0.701
237	7-4	40	8.60	0.700
238	8-2	40	8.13	0.875
242	12-2	40	8.01	0.714
244	13-3	50	8.00	0.757
246	14-2	40	8.00	0.748
248	15-3	40	8.40	0.840
249	18-2	40	8.30	0.718
252	22-5	40	8.21	0.703
253	23-3	40	7.24	0.798
255	41-1	40	8.03	0.806
256	41-2	40	8.11	0.785
258	42-4	50	8.14	0.858
259	42-5	50	8.17	0.716
260	47-1	40	8.56	0.796
261	48-3	40	8.40	0.843
262	48-4	50	7.04	0.734
263	48-5	40	8.00	0.799
264	49-1	40	9.10	0.797
265	49-4	40	8.20	0.700
266	54-1	50	9.01	0.774
268	59-2	40	9.00	0.700
269	62-2	40	9.47	0.700
270	63-2	40	8.21	0.724

No. Muestra	CLAVE	%SELECCION VISUAL	% PROTEINA	% TRIPTOFANO EN PROTEINA
271	64-2	50	8.48	0.700
272	67-1	40	8.23	0.838
273	67-2	40	8.82	0.785
274	67-4	40	8.53	0.814
275	67-5	40	8.00	0.746
277	71-4	50	7.55	0.715
278	72-1	50	7.50	0.709
281	73-4	50	9.15	0.700
282	73-5	50	8.67	0.788
283	75-4	50	8.64	0.712
284	75-5	40	8.00	0.870
286	78-2	50	8.03	0.700
289	79-3	50	8.00	0.703

MATERIALES NO SELECCIONADOS

No. Muestra	CLAVE	%SELECCION VISUAL	%PROTEINA	% TRIPTOFANO EN PROTEINA
231	2-3	50	8.60	0.587
233	4-2	50	7.15	0.583
235	4-4	50	7.33	0.550
236	5-1	50	12.24	0.472
239	9-11	40	7.90	0.449
240	9-5	40	8.38	0.512
241	10-1	50	8.64	0.570
243	12-3	40	10-04	0.604

No. MUESTRA	CLAVE	%SELECCION VISUAL	%PROTEINA	%TRIPTOFANO EN PROTEINA
245	13-4	40	9.97	0.515
247	14-5	50	8.03	0.530
250	19-1	40	10.07	0.450
251	20-5	40	8-72	0.538
254	23-5'	40	10.27	0.424
257	42-1	50	8.65	0.526
267	54-2	50	10.42	0.682
276	69-5	50	8.75	0.684
279	72-2	50	8.47	0.681
280	72-4	40	7.91	0.642
285	78-1	40	10-22	0.546
287	78-3	50	8.00	0.640
288	79-2	40	10.32	0.615
290	80-1	50	8.09	0.678
291	80-2	50	10.45	0.698
292	86-5	50	8.97	0.586
293	81-1	40	8.05	0.632

CENTA M-5B (MATERIAL SELECCIONADO)

No. MUESTRA	CLAVE	%SELECCION VISUAL	%PROTEINA	%TRIPTOFANO EN PROTEINA
299	84-1	40	7.04	0.897
302	85-1	50	9.03	0.748
305	90-1	50	8.80	0.721
312	95-3	40	8.84	0.405

No. MUESTRA	CLAVE	%SELECCION VISUAL	%PROTEINA	%TRIPTOFANO/PROTEINA
315	97-2	40	8.15	0.700
319	99-3	40	8.50	0.700
324	106-2	50	8.62	0.750
326	107-4	40	8.29	0.823
329	108-5	40	8.52	0.785
331	116-2	50	8.52	0.772
332	117-5	40	8.50	0.700
333	119-1	40	9.12	0.732
335	127-2	40	8.00	0.714
336	127-4	40	8.44	0.772

MATERIALES NO SELECCIONADOS

296	83-1	40	8.01	0.662
297	83-2	50	8.59	0.607
298	83-5	50	8.60	0.633
300	84-3	40	9.70	0.635
301	84-5	40	8.29	0.625
303	85-5	50	9.61	0.506
304	88-2	40	9.61	0.513
306	90-2	50	9.83	0.545
307	92-5	40	8.43	0.663
309	93-3	40	7.55	0.631

No. MUESTRA	CLAVE	% SELECCION VISUAL	% PROTEINA	% TRIPTOFANO EN PROTEINA
310	94-3	40	8.15	0.600
311	94-4	40	8.17	0.479
313	96-2	50	8.38	0.620
316	97-5	40	9.08	0.589
317	99-1	40	6.92	0.689
318	99-2	40	9.35	0.586
320	99-5	50	8.08	0.627
321	100-4	40	7.78	0.478
322	102-3	40	7.66	0.558
323	106-1	40	7.91	0.650
325	106-3	40	8.72	0.672
327	107-5	40	9.82	0.532
328	108-4	40	7.39	0.666
330	109-4	50	8.07	0.663
334	124-1	50	8.17	0.666
308	93-1	40	8.21	0.678
314	97-1	40	8.52	0.612

No. MUESTRA	CLAVE	% SELECCION VISUAL	% PROTEINA	%TRIPTOFANO EN PROTEINA
195	400- 1	50	8.73	0.871
196	400- 2	50	8.98	0.904
197	401-1	50	9.52	0.804
199	402-1	40	8.27	0.736
201	402-3	40	8.50	0.891
202	402-4	50	9.85	0.768
204	403-2	40	9.70	0.710
208	408-1	25	9.20	0.727
210	411-2	40	8.75	0.733
211	420-1	50	9.05	0.746
206	404.2	50	9.20	0.704

MATERIALES NO SELECCIONADOS

163	331-1	40	12.05	0.681
170	363-6	40	10.07	0.666
171	374-3	50	11.36	0.593
175	377-1	40	10.73	0.683
176	377-2	30	10.63	0.674
181	384-2	50	10.25	0.639
182	385-2	40	10.29	0.562
184	387-1	50	11.54	0.621
191	398-2	50	10.27	0.550
193	399-2	40	10.69	0.645
198	401-2	50	10.00	0.638
200	402-2	50	11.03	0.585
203	403-1	50	11.48	0.662

MUESTRA	CLAVE	%SELECCION VISUAL	% PROTEINA	%TRIPTOFANO EN PROTEINA
205	404-1	40	9.10	0.621
207	404-3	50	10.30	0.640
209	408-2	25	11.77	0.652
212	420-2	50	10.73	0.724
313	420-3	50	9.75	0.622
214	420-4	50	10.37	0.582

POBLACION YELOW FLINT MATERIAL SELECCIONADO

206	404-2	50	9.20	0.704
215	333-4	50	8.16	0.701
217	335-3	40	8.71	0.724
218	335-4	40	9.95	0.702
220	341-1	50	8.00	0.700
221	343-2	40	8.65	0.753
222	345-1	50	9.23	0.737
223	345-2	40	7.39	0.884
224	348-1	50	8.52	0.809
225	348-2	50	9.54	0.863
228	374-1	40	8.89	0.824

MATERIALES NO SELECCIONADOS

216	334-1	50	11.05	0.628
219	337-1	40	10.37	0.634
226	348-3	40	10.69	0.484
227	349-1	40	10.81	0.611
229	375-1	50	11.05	0.581

Tipo de reproducción sexual o heterogámica entre células hermanas.

. Fenotipo

Son las características cualitativas hereditarias de un material o apariencia externa de una planta.

. Genotipo

Son las características cualitativas hereditarias de un material o constitución genética.

. Germoplasma

Son materiales que pueden ser: una variedad, una línea o una población.

. Hembra

Es la mazorca de la planta de maíz (flor femenina).

. Heterosis o Vigor híbrido

Cuando dos linajes que no están emparentados entre sí se cruzan, los híbridos exceden con frecuencia a cualquiera de los progenitores en tamaño y vigor, este fenómeno se llama heterosis o vigor híbrido. El efecto máximo de la heterosis se presenta en F_1 .

. Híbrido

Es el primer resultado del cruzamiento de dos o más líneas puras que tengan características especiales.

. Hibridación

Proceso mediante el cual se obtienen maíces de calidad provenientes de dos o más líneas.

. Líneas

Se forman a través de autofecundaciones sucesivas en diferentes materiales genéticos.

. Línea S₁

Es la primera generación de la autofecundación.

. Macho

Es la espiga de la planta de maíz (flor masculina).

. Mutante

Es un cambio que sufre el material genético y que trae como consecuencia la formación de un fenotipo alterado.

. Nixtamal

Se le llama a la masa de harina de maíz previamente cocido con agua de cal y luego molida

Nixtamalización

Es el proceso de transformación del grano de maíz en la típica " tortilla ", con el intermedio de la cocción del grano en agua de cal y posterior su molienda.

Opaco-2

Gene que produce un aumento de las glutelinas, albúminas y globulinas (proteínas ricas en los aminoácidos lisina y triptofano) y una disminución de las prolaminas (zeína, proteína deficiente en estos aminoácidos).

Población

Grupo de individuos reproductivos que comparten el mismo conjunto de genes, que se encuentran localizados en un área geográfica determinada y que tiene continuidad a través del tiempo por la interconexión reproductiva entre las generaciones.

Polinización libre

Es el proceso por el cual las plantas se fecundan unas con otras de la misma especie, al soltar libremente

te el polen.

Pooles

Mezcla de germoplasma que se deja polinizar ella sola y se hace una serie de cruzamientos, que dan lugar a otro tipo de expresión genética.

Progenitor

Padres y otros parientes en línea recta ascendente de una mata.

Selección

Conjunto de mecanismos responsables de la modificación del éxito reproductivo de un genotipo.

Unidad Experimental o Parcela

Es la unidad a la que se le aplican los tratamientos. Puede constar de una sola hoja, un árbol completo, un área de terreno que contenga diversas plantas, un sólo animal, diversos animales o todo un rebaño.

Variedad

Significa ensamblaje de fenotipos relativamente uniformes, que representan la fracción superior de una población en un ciclo dado de mejoramiento y selección.