



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

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

**CAMPUS MONTECILLO
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
PRODUCCIÓN DE SEMILLAS**

TAMAÑO DE MUESTRA PARA CARACTERIZACIÓN Y MANTENIMIENTO VARIETAL EN MAÍZ

ZEFERINO FERNÁNDEZ VERA

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2007

La presente tesis titulada: **Tamaño de muestra para caracterización y mantenimiento varietal en maíz**, realizada por **Zeferino Fernández Vera**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

CONSEJO PARTICULAR

Consejero: Dr. Aquiles Aquiles Carballo

Asesor: M.C. Adrián Hernández Livera

Asesor: Dr. Vicente González Romero

ÍNDICE

ÍNDICE	I
ÍNDICE DE CUADROS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	V
RESUMEN	VI
SUMMARY	VII
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.2. HIPÓTESIS.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. IDENTIDAD VARIETAL	3
2.2. DESCRIPCIÓN VARIETAL.....	4
2.2.1. <i>Utilidad de la descripción varietal</i>	6
2.3. MANTENIMIENTO VARIETAL	7
2.3.1. <i>Factores que causan deterioro en la pureza genética</i>	9
2.3.2. <i>Métodos de mantenimiento varietal</i>	11
2.4. MUESTREO PARA MANTENIMIENTO VARIETAL	16
2.5. MUESTREO PARA CARACTERIZACIÓN VARIETAL.....	18
2.5.1. <i>Muestreo Aleatorio Simple (MAS)</i>	18
2.5.2. <i>Muestreo cualitativo</i>	19
2.5.3. <i>Utilidad del tamaño de muestra</i>	20
III. MATERIALES Y METODOS	23
3.1. MATERIAL GENÉTICO	23
3.2. LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO	23
3.3. UNIDAD DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA DE MUESTREO.....	24
3.4. CARACTERES MEDIDOS	24
3.4.1. <i>Caracteres cuantitativos</i>	24
3.4.2. <i>Caracteres cualitativos</i>	25
3.5. ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO DE MUESTRA (N) PARA LOS CARACTERES CUANTITATIVOS.....	25
3.6. ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO DE MUESTRA (N) PARA LOS CARACTERES CUALITATIVOS 26	
3.7. CÁLCULO DE PRECISIÓN	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1. CARACTERES CUANTITATIVOS	28
4.1.1. <i>Línea CML 244</i>	28
4.1.2. <i>Línea CL 1</i>	30
4.1.3. <i>Variedad CPV 20</i>	33
4.1.4. <i>Comparación entre materiales</i>	35
4.1.5. <i>Precisión en la descripción varietal</i>	42

4.2.	CARACTERES CUALITATIVOS	49
4.2.1.	<i>Frecuencia relativa</i>	49
4.2.2.	<i>Tamaño de muestra</i>	53
4.2.3.	<i>Comparación de los tamaños de muestra por material</i>	57
4.3.	DISCUSIÓN GENERAL.....	58
V.	CONCLUSIONES	62
VI.	BIBLIOGRAFIA	63

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	Pag.
Cuadro 1. Parámetros estadísticos por carácter, para la línea CML 244.....	29
Cuadro 2. Tamaño de muestra para la línea CML 244 con $n = 250$ plantas, $\alpha=0.01$ y 0.05 , y $d = 5$ y 10%	30
Cuadro 3. Parámetros estadísticos por carácter, para la línea CL 1.....	32
Cuadro 4. Tamaño de muestra para la línea CL 1 con $n = 400$ plantas, $\alpha = 0.01$ y 0.05% , y $d = 5$ y 10%	33
Cuadro 5. Parámetros estadísticos por carácter, para la variedad CPV 20.....	34
Cuadro 6. Tamaño de muestra para la variedad CPV 20 con $n = 400$ plantas, $\alpha = 0.01$ y 0.05 , y $d = 5$ y 10%	35
Cuadro 7. Comparación de coeficientes de variación (CV) entre los materiales, para los caracteres evaluados.....	36
Cuadro 8. Tamaño de muestra con $n = 400$ y 250 plantas, $\alpha = 0.01$ y 0.05 , $d = 5$ y 10%	38
Cuadro 9. Cálculo de precisión por carácter considerando el mayor tamaño de muestra ($n = 138$).....	44
Cuadro 10. Cálculo de precisión por carácter considerando un tamaño de muestra de $n = 59$ plantas.....	45
Cuadro 11. Cálculo de precisión por carácter considerando el mayor tamaño de muestra ($n = 162$).....	46
Cuadro 12. Cálculo de precisión por carácter considerando un tamaño de muestra de $n = 61$ plantas.....	47
Cuadro 13. Cálculo de precisión por carácter considerando el mayor tamaño de muestra ($n = 224$).....	48
Cuadro 14. Cálculo de precisión por carácter considerando un tamaño de muestra de $n = 86$ plantas.....	49
Cuadro 15. Frecuencias relativas en las variantes de tres caracteres	

cualitativos para la línea CML 244.....	51
Cuadro 16. Frecuencias relativas en las variantes de cuatro caracteres cualitativos para la línea CL 1.....	52
Cuadro 17. Frecuencias relativas en las variantes de cuatro caracteres cualitativos para la variedad CPV 20.....	53
Cuadro 18. Tamaño de muestra necesario para describir el carácter CBG, con dos niveles de confianza (95 y 99%) y dos niveles de precisión (5 y 10%).....	55
Cuadro 19. Tamaño de muestra necesario para describir el carácter CG, con dos niveles de confianza (95 y 99%) y dos niveles de precisión (5 y 10%).....	56
Cuadro 20. Tamaño de muestra necesario para describir el carácter CE, con dos niveles de confianza (95 y 99%) y dos niveles de precisión (5 y 10%).....	57
Cuadro 21. Tamaño de muestra necesario para describir el carácter CA, con dos niveles de confianza (95 y 99%) y dos niveles de precisión (5 y 10%).....	57
Cuadro 22. Tamaño de muestra necesario para describir cada carácter dentro de cada material, con dos niveles de confianza (95 y 99%) y dos niveles de precisión (5 y 10%).....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	Pag.
Figura 1. Tamaño de muestra para diferentes caracteres en los materiales CML 244, CL 1 y CPV 20, con $n = 250$ y 400 plantas; $\alpha = 0.05$ y $d = 5\%$	40
Figura 2. Tamaño de muestra para diferentes caracteres en los materiales CML 244, CL 1 y CPV 20, con $n = 250$ y 400 plantas; $\alpha = 0.01$ y $d = 5\%$	41
Figura 3. Tamaño de muestra para diferentes caracteres en los materiales CML 244, CL 1 y CPV 20, con $n = 250$ y 400 plantas; $\alpha = 0.05$ y $d = 10\%$	41
Figura 4. Tamaño de muestra para diferentes caracteres en los materiales CML 244, CL 1 y CPV 20, con $n = 250$ y 400 plantas; $\alpha = 0.01$ y $d = 10\%$	42

RESUMEN

Uno de los factores necesarios para el mantenimiento de la pureza varietal en maíz es contar con una buena caracterización inicial, para lo cual es importante manejar un tamaño de muestra adecuado, con la finalidad de que el número de plantas muestreadas sea el mínimo posible (de acuerdo a los recursos disponibles), pero con resultados confiables en cuanto a que describan adecuadamente a una población. En base a esto el presente trabajo de investigación se llevó a cabo con el objetivo de comparar diferentes tamaños de muestra para realizar la caracterización de variedades de maíz con diferente nivel de variación fenotípica. Se establecieron dos líneas: CML 244 (endogamia 0.9960) y CL 1 (endogamia 0.9375) en Montecillo, estado de México; y la variedad CPV 20 (endogamia 0) en Tecámac, estado de México; durante el ciclo PV 2004. El tamaño de muestra fue de 400 plantas para CL 1 y CPV 20, y de 250 para CML 244. Se evaluaron ocho caracteres cuantitativos (LP, RTP, NHTF, AIM, LM, DM, NHM y DO) y cuatro cualitativos (CBG, CG, CE y CA); caracteres considerados como esenciales en la descripción de maíz. Los resultados indican que entre más variación y mayor sea la confiabilidad y la precisión, mayor será el número de plantas a muestrear con la finalidad de realizar una buena descripción varietal. El tamaño de muestra necesario para caracterizar los materiales bajo estudio es de 181 plantas para la línea CML 244, 235 para la línea CL 1 y de 248 para la variedad CPV 20; con una confianza del 99% y una precisión del 5%. Estos resultados señalan que entre mayor sea el nivel de endogamia de los materiales menor será el tamaño de muestra para describir una población, dado el alto grado de homogeneidad que existe entre sus individuos.

Palabras clave: *Zea mays* L., descripción varietal, variación fenotípica, muestreo simple aleatorio.

SUMMARY

A necessary factor to maintain the varietal purity in maize is to do a good initial characterization and have an adequate sample size, sampling the lowest number of plants as possible (according to the available resources, but with a confident varietal description). This study was carried out to compare different sample sizes for the characterization of maize varieties, with different phenotypic variation. The lines CML 244 (endogamy coefficient, 0.9960) and CL 1 (endogamy coefficient, 0.9375) were established at Montecillo and the variety CPV 20 (endogamy coefficient, 0) at Tecamac, Mexico, during the SS 2004 cycle. The sample size was 400 plants for CL 1 and CPV 20 and 250 for CML 244. Eight quantitative (LP, RTP, NHTF, AIM, LM, DM, NHM and DO) and four qualitative (CBG, CG, CE and CA) characters were evaluated. Characters considered as essentials for maize description. The obtained results showed that as maize variation exists and higher is going to be the confidence and precision level it will be necessary to sample a high number of plants to obtain a good varietal description. The adequate sample size was 181 plants for the line CML 244, 235 for the line CL 1 and 245 for the variety CPV 20, with a confidence level of 99 % and precision of 5 %. These results showed that as higher the endogamy level is lower, the sample size will be to describe a population due to the higher degree of homogeneity of its individuals.

Key words: Zea mays L., varietal description, quantitative characters, qualitative characters, phenotypic variation.

I. INTRODUCCIÓN

La calidad de la semilla está determinada principalmente por cuatro aspectos: 1) calidad física, la cual involucra pureza, tamaño uniforme y un buen aspecto; 2) calidad fisiológica, que considera viabilidad, germinación y vigor; 3) calidad sanitaria, que significa garantía que la semilla esté libre de patógenos y, 4) calidad genética, que es sinónimo de identidad varietal, con la cual se garantiza que la variedad es similar en sus características cuando fue liberada por parte del fitomejorador.

La calidad genética es muy importante, y por ello debe cuidarse que durante la fase de multiplicación e incremento de semilla los materiales liberados no pierdan las características deseables logradas por el fitomejorador; lo cual es posible mediante un buen programa de mantenimiento, el que debe estar considerado dentro del esquema de producción de semillas.

El mantenimiento varietal es una parte importante dentro de los programas de mejoramiento genético y producción de semillas, y es responsabilidad de los fitomejoradores y de los encargados de los incrementos iniciales de semilla original y básica; puesto que es esencial que las variedades o líneas no pierdan su identidad genética y con ello mantengan las características deseables logradas por el fitomejorador. Sin embargo, es común que durante el proceso de multiplicación de semilla se presenten sesgos en relación a la constitución genética original debido al deficiente control en el sistema de reproducción y al desconocimiento de las características fenotípicas que definen su identidad varietal (Virgen, 1991).

Sin lugar a dudas, una de las acciones obligadas para realizar con éxito el mantenimiento de la pureza varietal, es contar con una buena caracterización inicial de la variedad que se trate, para lo cual es necesario manejar un tamaño de muestra adecuado, con la finalidad de que el número de plantas muestreadas sea el mínimo posible (de acuerdo a los recursos disponibles), pero con resultados confiables en cuanto a que describan adecuadamente a una población. No obstante, en la

actualidad no existe un plan de muestreo estandarizado el cual indique el tamaño de muestra a utilizar, sino que más bien depende de la experiencia de las personas u organismos responsables del mantenimiento varietal.

Un factor importante a considerar en la descripción varietal de cualquier material, es que no es el tamaño de la población sino la variación, la confianza y la precisión las que van a determinar el tamaño de muestra que permita la estimación de parámetros descriptivos, y que además esta en función del carácter bajo estudio.

Bajo este contexto, en el presente trabajo de investigación se plantearon los siguientes objetivos e hipótesis:

1.1. Objetivos

- a) Comparar diferentes tamaños de muestra para realizar la caracterización de variedades de maíz con distinto nivel de variación fenotípica.
- b) Determinar el tamaño apropiado de la población de plantas que garanticen conservar la pureza genética.

1.2. Hipótesis

- a) El tamaño de muestra adecuado está en función de la variación y no del tamaño de la población de la variedad que se pretenda caracterizar o conservar en su identidad.
- b) Entre mayor sea la confiabilidad y precisión deseada, mayor será el tamaño de muestra para la caracterización.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Identidad varietal

La Asociación de Agencias Oficiales de Certificación de Semillas de los Estados Unidos, AOSCA (citado por Orozco, 1990) define a una variedad como “una subdivisión de una clase que es diferente, uniforme y estable”; sobre dicha definición el CIAT (1983) señala que es **diferente** porque posee características que la distinguen de otras variedades conocidas y definen su identidad; **uniforme**, porque presentan características típicas que definen su identidad y su rango de variación es reducido y, **estable**, porque las características esenciales que la identifican son relativamente constantes en tiempo y espacio.

Por su parte Douglas (1991) menciona que las variedades deben tener además de altos rendimientos, características uniformes y un comportamiento consistente y predecible, que permita identificarlas y facilitar su multiplicación.

Cuando se ha formado una nueva variedad y se ha sometido a una evaluación, el primer punto que se tiene que establecer es su identidad para poder diferenciar los rasgos que la distinguen de las variedades ya existentes. La uniformidad de la variedad es necesaria para su identificación en el campo de producción de semilla, en el que se debe dar una rigurosa atención al mantenimiento de la estabilidad genética y que para propósitos comerciales sea de utilidad para la protección varietal; sin embargo, es importante que los requerimientos de uniformidad no sean muy rigurosos con la finalidad de conservar la diferenciación (Sneep y Hendriksen, 1979).

Actualmente es difícil distinguir entre las variedades de diversos cultivos debido a su similitud en las características morfológicas y fisiológicas, lo cual generalmente es un reflejo de su cercano parentesco genético; con frecuencia una diferencia genética muy pequeña puede ser la base de una nueva variedad, si dicha diferencia proporciona resistencia a insectos ó enfermedades, alto contenido de proteína,

rendimiento, ó algún otro rasgo deseable que garantice la liberación de la variedad (Copeland y McDonald, 1995).

Douglas (1991) indica que la variabilidad genética será útil cuando eleve los límites de adaptabilidad sin reducir el rendimiento y la calidad de la semilla; pero para propósitos de producción de semilla, se debe controlar y mantener dentro de límites aceptables la variación natural de una variedad, siempre y cuando esta variación se describa en tipos y proporciones relativas. A este respecto el CIAT (1983) establece que la pureza varietal no significa necesariamente homogeneidad total de tipos; supone más bien, la identificación de ámbitos ó variaciones que resulten conciente ó inconscientemente del trabajo de mejoramiento al momento de liberar una variedad; por lo que se debe cuantificar la variación posible esperada aunque ésta sea baja, de lo contrario, la presencia de estos segregantes ó mezclas pueden ocasionar la cancelación de campos de producción de semilla cuyo comportamiento agronómico y comercial hubiera estado dentro de los límites definidos por el fitomejorador cuando liberó a la variedad.

2.2. Descripción varietal

La descripción varietal es el conjunto de observaciones que permiten distinguir y caracterizar a una población de plantas que constituyen una variedad. Debido a que las mismas poseen diferentes rasgos, es imprescindible que cada variedad sea adecuadamente identificada en todas sus características agronómicas y morfológicas esenciales (Muñoz *et. al.*, 1993).

Sneep y Hendriksen (1979) mencionan que en los inicios del mejoramiento genético, las variedades disponibles tenían características fenotípicas que las hacían fácilmente identificables; actualmente la mayoría es una síntesis de atributos genotípicos complejos, los cuales no necesariamente se expresan fenotípicamente. Por este motivo, al evaluar una nueva variedad se debe establecer su identidad y al mismo tiempo conducir experimentos para determinar su rendimiento y otras características; Asimismo se deben examinar y describir los caracteres morfológicos y fisiológicos,

dando mayor atención a los rasgos que las distinguen de otras variedades ya existentes.

Carballo (1993) señala que la descripción varietal debe cuantificar la variación ambiental, ya que en la práctica muchos de los caracteres morfológicos en los que se basa resultan afectados por el medio; por lo tanto, para cualquier característica siempre existirá una variación ocasionada por efectos genéticos, por efectos ambientales o por ambos, que deberá cuantificarse para ser incluida en la descripción.

La descripción varietal la debe hacer el fitomejorador; para ello debe lograr un muestreo adecuado de plantas y ambientes, sin confundirla con el ideotipo que él pretende lograr en su proceso de selección. Debe considerar a los descriptores con un criterio amplio, de modo que permita definir la identidad, uniformidad y estabilidad de una variedad. Por tanto, la eliminación de plantas de otras variedades, así como de segregantes de la misma variedad en el campo, requiere de un patrón de referencia, que permita en forma confiable, decidir qué fenotipos pertenecen a la variedad; pues corresponde al productor de semilla mantener los genotipos generados por el fitomejorador, durante las sucesivas generaciones de incrementos de semilla a que se debe someter una variedad después de su liberación (Poey, citado por Orozco, 1990).

A este respecto, Muñoz, *et. al.* (1993) señalan que al realizar la descripción varietal sobre el fenotipo, el cual esta en función de los efectos del genotipo, del ambiente y de la interacción genotipo-ambiente, es importante distinguir cada efecto para evitar cambios en la identidad genética debido a la eliminación de plantas supuestamente fuera de tipo y que sólo son diferentes por efectos ambientales; así, en la práctica muchos de los caracteres morfológicos en los que se basa la descripción varietal resultan afectados por el medio; por lo tanto, para cualquier característica siempre existirá una variación ocasionada por efectos genéticos, ambientales o por ambos, que deberán cuantificarse para ser incluida en la descripción varietal.

Smith y Smith (1989) señalan algunas ventajas potenciales de un sistema que demanda distinciones entre variedades:

1. La disponibilidad de ciertas diferencias varietales que proporcionen a un agricultor la flexibilidad de escoger al mejor adaptado de una gama de genotipos,
2. Que los agricultores, sean capaces de disminuir sus riesgos relacionados con el ambiente y plagas mediante la utilización de varios genotipos,
3. Habrá una tendencia hacia la diversidad genética, reduciendo así el potencial de erosión y vulnerabilidad genética,
4. Los mejoradores deben estar animados para continuar las estrategias que incrementen la posibilidad de liberar nuevos genotipos.

En resumen, la descripción varietal es una síntesis de las características generales de la variedad, la cual es necesaria para efectuar depuraciones en distintas fases del crecimiento, para mantener la pureza genética durante varios ciclos de multiplicación consecutivos, y adicionalmente contribuir a solucionar los conflictos que puedan surgir en los campos de producción de semilla, registro y comercialización de variedades (George, 1983).

2.2.1. Utilidad de la descripción varietal

La etapa final del mejoramiento genético de una especie es la evaluación y selección de las variedades con características deseables y con ello llegar a la liberación de un nuevo material, es en esta etapa cuando termina la responsabilidad del fitomejorador y comienza la responsabilidad del especialista en semillas (García, citado por Orozco, 1990).

En esta etapa es cuando se pone en riesgo la pérdida de la identidad varietal por los incrementos sucesivos de semilla, especialmente en los materiales de polinización cruzada. Los factores que pueden causar esta pérdida en la pureza genética son el desconocimiento por parte del productor de semilla de cuando un individuo esta fuera de tipo o es característico de la variedad, aunado a la costumbre de eliminar cualquier planta visiblemente fuera de tipo en la población, esto puede causar un cambio indeseable en las características de identidad (García, citado por Orozco, 1990).

La utilidad de una descripción varietal está en función de la precisión, de modo que puedan responder a los objetivos de los usuarios. Para estudios genéticos y evolutivos se necesitan datos con exactitud, de muchas características botánicas; sin embargo, con fines comerciales, sólo se necesita describir las características agronómicas y comerciales de interés para el agricultor. Entre estos dos extremos se encuentra la descripción varietal que se usa en el comercio de semillas, cuyos objetivos principales son controlar la pureza genética y física de cada variedad que asegure credibilidad. Este proceso debe hacerse con precisión para evitar confusión e inseguridad tanto en las personas involucradas en la producción de semillas como en los responsables de controlar su pureza. Asimismo, es una herramienta obligada para los inspectores de campo, cuando se trata de lograr equidad en el juicio al calificar plantas fuera de tipo y cuando se trata de nuevas variedades con las cuales no están ampliamente familiarizados (Muñoz, *et. al.*, 1993).

Rivas (1988) señala la importancia de caracterizar progenitores y variedades en diferentes ambientes, para cuantificar los componentes de variación en los descriptores, a la vez que identificar aquellos más útiles por su estabilidad. En este sentido, Keefe y Draper (1986) mencionan que una adecuada identificación o caracterización de líneas y variedades permitirá una operación exitosa de los esquemas nacionales de certificación de semillas para la adjudicación y establecimiento de los derechos del fitomejorador y para el control del comercio de semillas, basándose en atributos específicos de calidad, determinados por el genotipo o ligados a éste.

2.3. Mantenimiento varietal

Una población genética es un conjunto de individuos que tienen en común un mismo grupo de genes, que guardan estrechas relaciones entre sí, y que le confieren sus propias características y la hacen diferente a otras (Falconer, 1981).

Carballo (1992) indica que una variedad mejorada representa la culminación del trabajo de un fitomejorador; todo esfuerzo, costo, y el tiempo empleado para obtener

una variedad superior, puede perderse en el corto o mediano plazo, si no se sigue un esquema apropiado de mantenimiento, que permita conservar las características originales por las que fue propuesta su liberación. El mantenimiento varietal considera únicamente a la semilla de categoría original, y tiene el propósito de conservar la identidad de progenitores y variedades, independientemente del grado de variabilidad que presente.

En este mismo sentido el CIMMYT (1985) señala que el mantenimiento de la pureza en la semilla original de una variedad de polinización libre o en una línea pura, debe ser responsabilidad del fitomejorador; ya que además de generar nuevas variedades debe adquirir el compromiso de vigilar el mantenimiento de su calidad genética a través de todo el proceso de multiplicación de semilla (Carballo, 1992).

Delouche (1969) señala que una planeación conjunta de fitomejoradores y productores de semilla para la multiplicación inicial de las categorías de semilla original y básica, debe responder a la demanda real y esperada del mercado, asimismo a la promoción y difusión de la empresa; debe cumplir con el requisito de conservar al máximo la pureza genética y reducir los costos de producción inherentes al almacenamiento y conservación de los materiales.

Douglas (1991) menciona que en términos generales, la participación del fitomejorador en la organización para el mantenimiento y multiplicación inicial de semillas es de tres maneras:

1. En el mantenimiento de la población mejorada, en etapas anteriores a la obtención de semilla básica y en la producción de esta clase de semilla,
2. Trabajando con un equipo que se encargue de mantener las variedades generadas por él, haciendo los incrementos intermedios y produciendo semilla básica y,
3. Proporcionando asesoría y supervisión a otra entidad independiente que se encargue de todas las etapas intermedias y de la semilla básica.

Es importante que además de que una variedad o híbrido posea características agronómicas deseables superiores a las de las variedades existentes, también sea fácil de identificar y multiplicar para lograr alta calidad física y conservar su pureza genética (Smith y Smith, 1989).

2.3.1. Factores que causan deterioro en la pureza genética

Dentro de los factores que afectan la estructura genética de una población, Márquez (1985) menciona que el proceso de selección consciente o inconsciente de los mejores individuos de una población, en un programa de mantenimiento varietal, puede producir cambios en sus frecuencias génicas.

Por otra parte, Carballo y Monroy (1979) señalan que la inestabilidad genética de las líneas progenitoras que forman los híbridos en México (1 a 3 autofecundaciones), dificulta el desarrollo de programas de mantenimiento varietal, debido que pueden originar cambios que se manifiesten tanto es su comportamiento *per se* como en la aptitud combinatoria cuando ocurra cualquier tipo de selección.

Otros factores importantes que afectan la estructura genética de una población son los siguientes:

- La mutación génica natural o artificial, la cual es el único fenómeno que produce modificaciones generando nuevas formas en la variabilidad genética (Molina; citado por Virgen, 1991).
- La migración de genes de otras poblaciones pueden cambiar las frecuencias génicas, por lo que es común observar en los campos de producción de semillas una falta de control en la eliminación de mezclas (plantas fuera de tipo) y en los aislamientos (Carballo y Mendoza; citados por Virgen, 1991).
- El sistema de apareamiento, el cual es importante, puesto que los incrementos de semillas generalmente se realizan mediante la autofecundación, cruzamientos fraternales o una combinación de ambos (Rosario; citado por Virgen, 1991).

En condiciones naturales bajo apareamiento al azar, un individuo de la población tiene la misma probabilidad de aparearse con cualquier otro; por lo tanto, la frecuencia relativa de un genotipo es equivalente a la probabilidad que tiene de aparecer en la población permaneciendo constante a través de las generaciones de apareamiento al azar (Falconer, 1981).

El mantenimiento varietal implica un conocimiento preciso de las características genéticas de las especies, de sus mecanismos de reproducción y de los efectos ambientales sobre estos factores (Carballo, 1992).

De manera específica, la producción de semilla híbrida de maíz en México resulta ilustrativa de la pérdida de identidad y uniformidad de los progenitores debido a la ausencia de una metodología de mantenimiento varietal que permitiera conservar la pureza genética de los materiales. Celis (1985) hizo una revisión de los principales factores que han originado esta problemática.

1. Desde los inicios del mejoramiento genético en México, el objetivo principal fue el de generar materiales de alto rendimiento con amplia variabilidad genética que pudieran adaptarse a la gran diversidad de zonas ecológicas en el país. Para la formación de los híbridos se utilizaron variedades de polinización libre, variedades sintéticas y líneas con bajo nivel de endogamia.
2. Falta de una renovación sistemática de las variedades comerciales de maíz debido a que en la actualidad se manejan aún híbridos que se formaron hace 20 años.
3. Ausencia de una programación de incrementos de semillas correspondientes a cada categoría, lo que ha provocado se tenga un gran número de orígenes de un mismo material; además, no se dispone de una técnica apropiada para realizar los incrementos en función del material.
4. Caracterización insuficiente basada en promedios que no consideran la variación, lo que dificulta conservar la identidad genética durante los sucesivos y pequeños incrementos de semilla de los progenitores de híbridos comerciales de maíz.

5. La gran variabilidad de los híbridos que están formados con líneas de bajo nivel de endogamia y reducida base germoplásmica. Para el caso de Valles Altos, un total de 38 líneas básicas intervienen en la formación de alrededor de 12 híbridos, de cruza doble y trilineales.

2.3.2. Métodos de mantenimiento varietal

Para asegurar la pureza genética de los híbridos o variedades es esencial un método de mantenimiento varietal adecuado, el cual dependerá del sistema de reproducción del cultivo. Aunque cualquier método tiene muchas variantes posibles, el rasgo esencial de cada uno de ellos es que no ocurran cambios genéticos durante el mantenimiento y así se asegura la pureza genética del material (Sneep y Hendriksen, 1979).

Los requerimientos para el manejo de materiales genéticos pueden diferir entre los métodos de selección de variedades, pero es importante distinguir entre el mejoramiento genético de una variedad y su mantenimiento varietal; el primero es una actividad que conduce a la generación de una nueva variedad, y el segundo implica la conservación de la pureza varietal tal y como ha sido descrita por el fitomejorador (Douglas, 1991); lo que implica algún sistema de selección individual de plantas en función de algún carácter de interés para la producción de semillas (Carballo, 1993), además de un ensayo de autenticidad del tipo en las plantas seleccionadas (Douglas, 1991).

Douglas (1991) indica que quien se haga cargo de la multiplicación inicial de semilla, para que se suministre a terceros para su multiplicación posterior, deberá considerar lo siguiente:

1. Es necesario preservar las características de la variedad tal como éstas han sido descritas.
2. Hay que contar con un mecanismo para el mantenimiento y multiplicación de semilla.
3. Es indispensable la cooperación entre los sectores público y privado.

Hartman y Kester (1988) proponen la siguiente metodología para el mantenimiento de la pureza genética:

- Aislamiento adecuado para prevenir contaminaciones por cruzamiento natural y por mezclas mecánicas.
- Inspección de los campos de producción de semillas antes de los estados de desarrollo en los cuales pudieran contaminarse.
- Prueba periódica de variedades para pureza genética.
- Evitar cambios genéticos sembrando variedades únicamente en sus áreas de adaptación.
- Certificación de variedades para mantener la pureza genética y la calidad de las semillas.
- Adoptar el sistema de que limita a cuatro el número de generaciones de multiplicación de semilla: original, básica, registrada y certificada.

Douglas (1991) propone dos métodos básicos:

- 1) Almacenar la semilla a largo plazo; y
- 2) Multiplicación anual de la semilla

Los dos sistemas pueden combinarse y el proceso se puede repetir cada tres ó cinco años y la semilla de las plantas seleccionadas se almacena para su utilización durante los años intermedios.

Carballo (1992) señala que factores deben considerarse para asegurar el mantenimiento de la pureza genética durante todo el proceso de multiplicación de semilla:

- a) Control en el origen de la semilla (necesario el uso de semilla de clase y origen aprobados).
- b) Seguir los requerimientos en cuanto a cultivo del ciclo anterior (para evitar contaminaciones por plantas voluntarias).

- c) Aislamiento, para evitar contaminación natural, infección de enfermedades o mezclas mecánicas.
- d) Eliminación de plantas fuera de tipo (roughing).
- e) Certificación de semillas. La semilla certificada implica que el cultivo y el lote de semillas se inspeccionan cuidadosamente y son garantía de buena calidad.
- f) Comparación de orígenes. Es necesario realizarlo periódicamente para verificar la pureza genética, así como el control de enfermedades transmitidas por semilla.
- g) Evitar deriva genética, para lo cual debe usarse un tamaño de muestra adecuado.
- h) Sembrar las variedades únicamente en sus áreas de adaptación para evitar cambios por selección natural.
- i) Adoptar el sistema que limita cuatro el número de generaciones de multiplicación de semilla: original-básica-registrada-certificada.

En plantas de polinización cruzada como el maíz, el peligro de perder la identidad varietal es más frecuente, ya que en cada incremento que se hace de los materiales, estos se exponen a una posible contaminación si no se guarda un control estricto; por lo que se debe tener algunas precauciones, tales como vigilar el origen y estructura del material, terrenos y ciclos de multiplicación, adaptación del cultivo, aislamientos, beneficio y almacenamiento (Carballo, 1992); en el caso de semilla básica, la FAO (citado por Virgen, 1991) menciona que las mayores precauciones radican en controlar adecuadamente la utilización de lotes libres del cultivo en cuestión, el aislamiento, la descontaminación y los cuidados en el manejo de la cosecha y en el beneficio.

El comportamiento de los híbridos de maíz debe ser similar si año tras año se cultivan bajo las mismas condiciones ambientales, y por ello se requiere de un método de mantenimiento que evite cambios en su comportamiento debido a su sistema de reproducción (Jugenheimer, 1981).

Carballo y Mendoza (citados por Virgen, 1991) mencionan que para tratar de mantener la pureza genética en variedades de maíz consideran dos aspectos fundamentales:

- Manejo adecuado en el incremento de la semilla. En términos generales se refiere a los lugares y ciclos de cultivo en que se hacen estas prácticas, al grado de especialización del personal que las realiza, a los fines para los cuales se hacen los aumentos y a la técnica que se utilice, y
- Realizar la caracterización fenotípica periódica de los materiales con el fin de detectar sesgos en las poblaciones, definir sus posibles causas y tomar las medidas convenientes para corregir estos problemas.

Russell y Vega (1973) indican que se pueden utilizar tres métodos para el mantenimiento de las líneas de maíz: apareamiento fraternal, autofecundación ó ambos. La autopolinización de mazorcas por surco ha sido preferida porque la variación genética dentro de la línea es fácilmente detectada y eliminada.

Carballo (1993) indica que los procedimientos generales de mantenimiento varietal son:

1. Selección masal
 - Considerando plantas representativas del tipo verdadero de la variedad.
 - Eliminando plantas fuera de tipo.
2. Cruzamientos fraternales.
 - Entre grupos de plantas
 - Cruzas planta a planta
3. Selección familiar:
 - Familias de medios hermanos
 - Familias de hermanos completos
 - Familias de líneas S1.
4. Selección individual y prueba de progenies
5. Selección individual y pruebas replicadas de progenies.

6. Sistema de pedigree.

Bogenschutz y Russell (1986) compararon durante 11 generaciones los métodos de mantenimiento por apareamiento fraternal, autopolinización y una combinación de ambos, en progenies de mazorca por surco de líneas genéticamente estables. Encontraron que hubo diferencias de un 30% en generaciones de apareamiento al azar; de 56% para generaciones autopolinizadas, y de 51% utilizando en forma alternada los dos métodos para las variables días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, número de brácteas, número de hileras por mazorca, diámetro y longitud de mazorca, rendimiento de grano y peso de 300 semillas. El estudio les permitió concluir que el apareamiento fraternal reduce el efecto de inestabilidad genética, y que un sistema de reproducción de apareamiento fraternal con generaciones alternadas de autofecundación puede ser más benéfico que la autofecundación en mazorca por surco en ciertas líneas.

Russell y Vega (1973) evaluaron la estabilidad genética en caracteres cuantitativos de 11 líneas endogámicas tardías que se multiplicaron en 11 generaciones sucesivas de autofecundación de progenies en mazorca/surco; en 40 pruebas encontraron cambios significativos en variación para los caracteres: días a floración masculina y femenina, número de brácteas, número de granos por hilera, longitud y diámetro de mazorca, peso de 300 semillas y rendimiento.

En el caso de las plantas autógamias, deben tomarse en cuenta su porcentaje de polinización cruzada, ya que puede ser causa de heterogeneidad de un número considerable de loci; por ello es preciso tratar tales cultivos como genéticamente heterogéneos y de polinización cruzada; únicamente las líneas provenientes de poblaciones estrictamente autógamias y las líneas que son obtenidas por endogamia repetida deben ser consideradas genéticamente homogéneas (Roelofsen, 1982).

La UPOV (citado por Virgen, 1991) establece que para especies autógamias el sistema más común para mantener e incrementar semilla original está basado en la

selección cuidadosa de plantas típicas de la variedad en su reproducción sembrando surcos con la progenie de cada planta, y en la evaluación de las progenies seleccionadas para recombinarlas y constituir el nuevo incremento de la variedad.

Para mantener un material que se sospecha aún segrega tipos indeseables o incluso que requiere de una selección correctiva, es conveniente recurrir a la purificación varietal de la semilla original, metodología que debe aplicarse tanto a variedades como en líneas que forman parte de un híbrido (Cisneros, 1985).

2.4. Muestreo para mantenimiento varietal

De acuerdo con Crossa (1988), el mantenimiento varietal en la producción de semillas debe conservar la integridad genética durante la fase de reproducción; sin embargo, en ocasiones no se tiene la posibilidad de manejar una población de tamaño grande que evite cambios en las frecuencias génicas, y se toman muestras de tamaño pequeño originando la fijación o pérdida de alelos favorables como resultado del muestreo aleatorio de gametos, fenómeno que es conocido como deriva genética

Omolo y Russel (1971) hacen las siguientes consideraciones en relación al mantenimiento varietal en función del tamaño de muestra: a) una población heterogénea de maíz es un grupo de individuos en la cual los genes son transmitidos de generación en generación; b) los mejoradores no sólo están interesados en la constitución genética de la población, sino también en la frecuencia de los genes transmitidos de una generación a otra; c) una población natural es grande y sus frecuencias génicas no cambian a menos que ocurran factores que provoquen el cambio y, d) los mejoradores generalmente trabajan con poblaciones de tamaño pequeño, pero reconocen que el tamaño debe ser lo suficientemente grande para evitar cambios en las frecuencias génicas causadas por un muestreo inadecuado. En consecuencia, indican que se debe tener un mínimo de 5000 plantas en un campo aislado para que una población pueda ser considerada como infinita; si hay exclusión total del polen extraño, este método podría mantener una población heterogénea sin

cambios genéticos significativos exceptuando a otros factores tales como insectos y enfermedades.

Omolo y Russel (1971) condujeron un experimento para determinar el número mínimo de plantas requeridas que no causaran cambios genéticos significativos en dos poblaciones heterogéneas de maíz; la multiplicación de semilla se hizo a través de cinco generaciones de apareamiento aleatorio con tamaños de muestra de 500, 200, 80, 32 y 13 plantas por generación; concluyendo que un tamaño de muestra de 200 plantas por generación es adecuada para la multiplicación de poblaciones heterogéneas realizando polinización manual; y en caso de presencia de endogamia puede ser un tamaño de muestra de 80 plantas.

Cuando el tamaño de población es pequeño y la tasa de endogamia se incrementa, los alelos más frecuentes tienden a ser fijados y los menos frecuentes a ser perdidos (Virgen, 1991). Bajo este contexto, Crossa (1988) hace las siguientes estimaciones sobre el tamaño de población mínimo para llevar a cabo un programa de regeneración de semilla:

- Cuando únicamente los procesos dispersivos afectan la frecuencia génica, el número mínimo de individuos que deben ser tomados de una población para tener un 40% de probabilidad de obtener un individuo heterocigoto en un solo locus; es de tres en la primera generación, de cuatro en la segunda, y de 10 a 20 en la quinta generación.
- Con una población de 100 plantas, con frecuencias génicas de 0.5, la probabilidad de encontrar un heterocigoto es mayor de 0.4, aún después de 30 generaciones. Si la frecuencia de genotipos raros es menor de 5%, se requiere de un tamaño de población más grande.
- El tamaño de población depende de la frecuencia del genotipo; por ejemplo, si los genotipos ocurren con frecuencias de más del 10%, pueden conservarse con tamaño de población de 40 individuos.

- Cuando se consideran multi-loci, la probabilidad de encontrar 30 loci independientes en estado de heterocigoto es de 0.5, en poblaciones grandes.
- Para mantener una tasa de endogamia de 1 %, el número efectivo (***N_e***) de la población debe ser de al menos 150 individuos para tres alelos y de 300 para cuatro alelos en un locus.
- Con una tasa reproductiva por cada familia de dos individuos, el tamaño efectivo de la población se duplica, lo que debe ser usado en la práctica de la regeneración de semilla.

2.5. Muestreo para caracterización varietal

2.5.1. Muestreo Aleatorio Simple (MAS)

Existen diferentes esquemas de muestreo para obtener una adecuada estimación de la media de un carácter en una población. Uno de los que se utiliza como herramienta estadística en la experimentación agrícola, ha sido el muestreo aleatorio simple (Orozco, 1990).

El muestreo es un proceso de selección al azar de unidades en una población; la probabilidad de ocurrencia de una muestra da propiedades específicas a estadísticos obtenidos a partir de la valoración de la muestra, lo cual sirve para estimar a los parámetros. El **MAS** es el esquema más simple de muestreo y el que sirve de base para otros esquemas. Consiste en extraer un número *n* (tamaño de la muestra) de unidades de muestreo de una población de tamaño ***N***. La selección de estas *n* unidades de muestreo se hace extrayéndolas una a una de la población. El **MAS** es un diseño de muestreo de elección sin reemplazo (Gómez, 1977).

Los criterios que se usan para determinar el tamaño de muestra necesario para estimar un parámetro, son la precisión y la confiabilidad del estimado de dicho parámetro. La precisión se refiere al máximo alejamiento o error de estimación que el investigador esta dispuesto a aceptar entre el estimador y el parámetro correspondiente. Por su parte, la confiabilidad está dado por la seguridad o confianza

que se desea tener, de que el valor del estimador esté en el intervalo de la precisión deseada (Gómez, 1977).

Suponiendo normalidad y considerando la relación entre los conceptos anteriores junto con el estimador de varianza, se ha propuesto la siguiente ecuación para determinar el tamaño de muestra para la estimación de la media usando MAS (Gómez, 1977).

$$n = \frac{NZ_{\alpha/2}^2 s_{n'}^2}{Nd^2 + Z_{\alpha/2}^2 s_{n'}^2}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra aproximado para estimar la media una población finita en MAS, usando estimadores de varianza.

N = Tamaño de la población finita.

d = Es la precisión; diferencia que se acepta entre el estimador y el parámetro de estudio. $d = |\bar{x}_n - \bar{X}_N|$

Z_{α/2} = Valor de confiabilidad en función de la distribución normal estándar, e indica que el estimador conserva su precisión.

S_{n'}² = Varianza de la muestra de tamaño **n'**.

2.5.2. Muestreo cualitativo

En el muestreo aleatorio simple es posible efectuar un muestreo cualitativo que consiste en determinar el porcentaje o la proporción de individuos de una población que presentan cierta característica o cualidad que los diferencia del resto de la población. En este tipo de muestreo, el parámetro de interés es la proporción en la población que se denota por **P_N**, y por **Q_N** al resto de la población que no tiene el parámetro de interés. Por lo tanto la sumatoria de ambas proporciones es igual el total de la población (**P_N + Q_N = 1**) (Gómez, 1977).

El estimador de P_N es la proporción en la muestra y se denota por p_n , al igual que Q_N se denota por q_n .

El tamaño de muestra para estimar la proporción de ambos parámetros P_N y Q_N puede obtenerse de la siguiente ecuación (considerando muestreo sin reemplazo):

$$n = \frac{N Z_{\alpha/2}^2 p_n q_n}{N d^2 + Z_{\alpha/2}^2 p_n q_n}$$

En donde:

n = Tamaño de muestra aproximado para estimar la proporción P_N de una población finita en MAS, usando la proporción de individuos con la característica de interés.

N = Tamaño de la población finita

d = Es la precisión; diferencia que se acepta entre el estimador y el parámetro de estudio. $d = |p_n - P_N|$

$Z_{\alpha/2}$ = Valor de confiabilidad en función de la distribución normal estándar, e indica que el estimador conserva su precisión.

p_n = Es la proporción en la muestra de individuos con la característica de interés.

q_n = es la proporción en la muestra de individuos que no presentan la característica de interés. En donde $p_n + q_n = 1$.

2.5.3. Utilidad del tamaño de muestra

La Asociación Internacional para Pruebas de Semillas, ISTA (citado por Orozco, 1990) hace la identificación de una variedad considerando que cada muestra debe sembrarse por lo menos en dos repeticiones; estas deberán situarse en diferente campos, ó en diferentes puntos del mismo campo. El espaciamiento de las hileras deberá ser amplia para permitir la observación de los caracteres en la plantas. Asimismo, la ISTA sugiere que la parcela sea de un tamaño convencional, sin indicar sus dimensiones.

La Asociación de Productores de Semilla de Canadá verifica la pureza genética de variedades de maíz utilizando 200 plantas por parcela (Pauksens y Dhesi, 1975). En México, Simental (1978) indica que el muestreo se efectúa en los campos para producción de semilla certificada con el propósito de realizar una verificación varietal; tomando de 11 a 20 plantas para lotes de 51 a 100 ha. También menciona que para confirmar la pureza varietal en maíz, es necesario obtener la semilla de los campos de producción, a partir de una muestra de 2 kg por cada 20 t de semilla, para evaluarse en una parcela de 200 m² con dos repeticiones; recomienda que para hacer la verificación varietal, cada muestra deberá establecerse en parcelas en un número conveniente de hileras con separación de 100 cm; cada hilera debe contener 60 plantas cuya distancia es variable; en el caso de cereales de grano pequeño es conveniente sembrar las semillas a una distancia de 20 ó 25 cm y en otros cultivos de semillas más grandes, a una distancia de 40 ó 50 cm.

Márquez (1972) menciona que es posible determinar el tamaño óptimo de la muestra de una población de maíz aplicando el método de la máxima curvatura, cuando se hace variar el número de plantas por parcela. Para hacer esta determinación observó, en seis poblaciones de maíz de diferente heterogeneidad genética, los cambios del coeficiente de variación (CV) y el error estándar de la media (S_x), calculados en cuatro tamaños muestrales: 8, 16, 24 y 32 plantas por parcela. Sus resultados indican que con cuatro repeticiones, el tamaño óptimo fue un poco menos de 8 plantas/parcela; pero para obtener una estimación con niveles aceptables de confiabilidad ($\alpha = 0.05$ y $\alpha = 0.01$) será necesario usar parcelas de 17 plantas y seis repeticiones; es decir, aproximadamente 102 plantas.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 1983) considera que los caracteres cualitativos son más confiables porque están menos influenciados por el ambiente; dentro de una misma localidad y en cualquier localidad la expresión de estos caracteres sufre solo ligeras modificaciones. Este mismo organismo recomienda un formato modelo para concentración de los datos tomados en el campo; sugiere

tomar tal información en una muestra de 20 plantas para cada variable, número considerado arbitrariamente como el mínimo para estimar la media (\bar{x}), la desviación estándar (S_x) y el coeficiente de variación (CV) en cada carácter descriptivo, ya que no presenta evidencia estadística experimental del número de plantas que se deben tomar como unidad muestral. También señala que la precisión de la descripción está en función del número de localidades y de las fechas en que se establecen las plantas con fines de descripción varietal, por lo que se recomienda tomar en cuenta esta consideración para estimar valores más reales. Asimismo, se indica que un mayor número de observaciones determina que el coeficiente de variación tienda a reducirse, por lo que el número óptimo de individuos para describir a una población mediante cierto carácter, deberá coincidir o aproximarse al número donde se estabiliza el coeficiente de variación.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Material genético

Se utilizaron tres genotipos de maíz con diferente nivel de endogamia.

- a) Variedad CPV 20, es una variedad de polinización abierta con un nivel de endogamia del 0%.
- b) Línea CL 1, liberada por el programa de semillas del Colegio de Postgraduados (CP), progenitor de híbridos comerciales, corresponde a una línea S₄ con un nivel de endogamia del 93.75%.
- c) Línea CML 244, liberada por el CIMMYT, progenitor de híbridos comerciales, corresponde a una línea S₈ con un nivel de endogamia del 99.6%.

3.2. Localización del experimento

La fase de campo se llevó a cabo en dos localidades diferentes durante el ciclo de cultivo primavera-verano del 2004. Los materiales CL 1 y CML 244 se establecieron en el campo experimental del CP en Montecillo, Edo. de México, el cual se encuentra ubicado geográficamente entre lo 19° 30' Latitud Norte y 98° 51' Longitud Oeste, a una altitud de 2240 msnm. Se encuentra dentro del área de influencia de Chapingo, Edo. de México, el cual de acuerdo con la clasificación climática de Köppen (modificada por García, 1981) tiene un clima C (Wo)(w)b(i'); que corresponde a un clima templado con lluvias en verano, el más seco de los subhúmedos, con veranos frescos y prolongados, con temperatura media anual entre 12 y 18 °C; la oscilación anual de las temperaturas medias mensuales es de 5 a 7 °C, y el mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano. La precipitación media anual es de 664.87 mm.

El material CPV 20 se estableció en el campo experimental del CP ubicado en Tecámac, Edo. de México, ubicado geográficamente entre los 19° 43' latitud norte y 98° 58' longitud oeste, a una altitud de 2,340 msnm. El clima predominante de la localidad es templado, semiseco y con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 16.4 °C con un máximo de 31.5 °C y una mínima de 6.5 °C. Tiene una

precipitación pluvial promedio anual de 636 mm (Köppen, modificada por García, 1981).

3.3. Unidad de estudio y metodología de muestreo

Los lotes se establecieron para el incremento de semilla de maíz de la categoría básica para el caso de los materiales CML 244 y CL 1, y de semilla categoría registrada para el material CPV 20.

La elección de los elementos de la población se hizo con base en el método de muestreo aleatorio simple, que consistió en tomar una muestra de tamaño, n , para una población de tamaño N , la que se consideró, por cuestiones prácticas, como equivalente al tamaño de la población; la unidad de muestreo fue una planta, que se eligió al azar y de manera alternada, tomando en cuenta sólo aquellas con competencia completa por los cuatro punto cardinales, estas plantas fueron identificadas con una etiqueta. El tamaño de la población (N) fue de 400 plantas para el caso de los materiales CL 1 y CPV 20 y de 250 para el material CML 244.

3.4. Caracteres medidos

Los caracteres evaluados se seleccionaron y midieron tomando como referencia la guía oficial para la descripción varietal del maíz; se evaluaron un total de 12 caracteres; 8 cuantitativos y 4 cualitativos; caracteres considerados como “esenciales”.

3.4.1. Caracteres cuantitativos

- a) Altura de inserción de la mazorca (AIM). Distancia en cm desde la superficie del suelo hasta el nudo de inserción de la mazorca principal.
- b) Número de hojas totales en floración (NHTF). Número de hojas de la planta al momento de la floración.
- c) Longitud de la panoja (LP). Distancia en cm desde el último nudo superior del tallo hasta el extremo superior del eje principal de la panoja.

- d) Ramas totales en la panoja (RTP). Número de ramas totales en la panoja, incluyendo el eje central y ramas secundarias.
- e) Longitud de la mazorca (LM). Distancia en cm desde la base hasta el ápice de la mazorca.
- f) Diámetro de la mazorca (DM). Grosor en cm de la parte central de la mazorca.
- g) Número de hileras en la mazorca (NHM). Número de hileras de granos contados en la parte media de la mazorca principal.
- h) Diámetro de olote (DO). Grosor en cm de la parte central del olote (raquis).

3.4.2. Caracteres cualitativos

Para evaluar estos caracteres se tomó como referencia la nomenclatura y tabla de colores descritas en el Manual Gráfico para la Descripción Varietal del Maíz (SNICS, 2001). Los caracteres evaluados fueron:

- a) Color de anteras (CA). Color predominante de anteras expuestas.
- b) Color de estigmas (CE). Color predominante de los estigmas receptivos.
- c) Color de la base de las glumas (CBG). Color predominante en la base de las glumas.
- d) Color de las glumas (CG). Color predominante en las glumas.

3.5. Estimación del tamaño de muestra (n) para los caracteres cuantitativos.

Utilizando los datos por planta para cada carácter, se obtuvieron los parámetros estadísticos de la población: media, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación, los cuales fueron utilizados para obtener el tamaño de muestra necesario para estimar la media de la población finita. El tamaño de muestra fue obtenido considerando dos niveles de confiabilidad ($\alpha = 0.01$ y $\alpha = 0.05$) y dos niveles de precisión ($d = 5\%$ y $d = 10\%$).

Para obtener el tamaño de muestra se utilizó la siguiente ecuación:

$$n = \frac{NZ_{\alpha/2}^2 S_{n'}^2}{Nd^2 + Z_{\alpha/2}^2 S_{n'}^2}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra aproximado para estimar la media una población finita en el Muestreo Simple Aleatorio (MAS), usando estimadores de varianza.

N = Tamaño de la población finita, 400 plantas para el caso de los materiales CPV 20 y CL 1, y 250 plantas para CML 244.

d = Es la precisión; diferencia que se acepta entre el estimador y el parámetro de estudio. Para este caso fue del 5 y 10% de la media de la muestra preliminar $\bar{x}_{n'}$.

$Z_{\alpha/2}$ = Valor de confiabilidad en función de la distribución normal estándar, e indica que el estimador conserva su precisión. Para este caso fue del 99 y 95%.

$S_{n'}^2$ = Varianza de la muestra de tamaño n'

3.6. Estimación del tamaño de muestra (n) para los caracteres cualitativos

Utilizando los datos por planta para cada carácter, se obtuvo la proporción de los estimadores p_N y q_N ; los cuales fueron utilizados para obtener el tamaño de muestra necesario para estimar la media de la población finita. El tamaño de muestra fue obtenido considerando dos niveles de confiabilidad ($\alpha = 0.01$ y $\alpha = 0.05$) y dos niveles de precisión ($d = 5\%$ y $d = 10\%$).

Para obtener el tamaño de muestra se utilizó la siguiente ecuación:

$$n = \frac{NZ_{\alpha/2}^2 p_{n'} q_{n'}}{Nd^2 + Z_{\alpha/2}^2 p_{n'} q_{n'}}$$

En donde:

n = Tamaño de muestra aproximado para estimar la proporción P_N de una población finita en MAS, usando la proporción de individuos con la característica de interés.

N = Tamaño de la población finita

d = Es la precisión; diferencia que se acepta entre el estimador y el parámetro de estudio.

Z_{α/2} = Valor de confiabilidad en función de la distribución normal estándar, e indica que el estimador conserva su precisión.

p_{n'} = Es la proporción en la muestra preliminar de individuos con la característica de interés.

q_{n'} = Es la proporción en la muestra preliminar de individuos que no presentan la característica de interés. En donde **p_{n'} + q_{n'} = 1**.

3.7. Cálculo de precisión

Para los caracteres cuantitativos en los que se utilizó ya fuera un mayor o un menor tamaño de muestra al calculado de acuerdo a la ecuación del Muestreo Simple Aleatorio, se calculó ya fuera la ganancia o la pérdida en la precisión aplicando la siguiente ecuación:

$$d_i = \sqrt{\frac{Z_{\alpha/2}^2 S_{n_i}^2}{n} - \frac{Z_{\alpha/2}^2 S_{n_i}^2}{N}}$$

Donde:

d_i = precisión

n = Tamaño de muestra que se decide usar para estimar la media correspondiente a la variable **V_i** en una población finita en MAS, usando estimadores de varianza.

N = Tamaño de la población finita, 400 plantas para el caso de los materiales CPV 20 y CL 1, y 250 plantas para CML 244.

Z_{α/2} = Valor de confiabilidad en función de la distribución normal estándar, e indica que el estimador conserva su precisión.

S²_{n_i} = Varianza de la muestra de tamaño **n**, para la variable **V_i**

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracteres cuantitativos

4.1.1. Línea CML 244

4.1.1.1. Parámetros estadísticos

Los parámetros estadísticos obtenidos, para cada uno de los caracteres cuantitativos evaluados en la línea CML 244, considerando el total de la población, esto es $n = 250$ plantas, se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Parámetros estadísticos por carácter, para la línea CML 244.

Parámetro	LP	RTP	NHTF	AIM	NHM	LM	DM	DO
Media	23.3	8.9	13.0	42.8	14.5	9.71	3.96	2.62
Varianza	9.4	9.1	0.9	53.0	1.8	2.89	0.10	0.08
Desv. Estándar	3.1	3.0	1.0	7.3	1.4	1.70	0.31	0.28
Coef. Var. (%)	13.2	33.8	7.4	17.0	9.3	17.49	7.87	10.52
Valor Mínimo	16.8	4.0	11.0	29.0	12.0	6.0	3.22	1.83
Valor Máximo	30.9	15.0	15.0	58.0	18.0	13.40	5.05	3.20
Moda	22.5	7.0	13.0	41.0	14.0	8.43	4.08	2.52

LP = Longitud de la panoja; RTP = Ramas totales en la panoja; NHTF = Número de hojas totales en floración; AIM = Altura de inserción de la mazorca; NHM = Número de hileras en la mazorca; LM = Longitud de mazorca; DM = Diámetro de mazorca; DO = Diámetro de olote.

Es el coeficiente de variación (CV) el parámetro estadístico de mayor relevancia en la estimación del tamaño de muestra necesario para describir la variabilidad de una población, ya que entre mayor sea el valor del CV mayor será la cantidad de elementos a muestrear para caracterizar adecuadamente a una población.

En el caso de la línea CML 244, de los ocho caracteres cuantitativos evaluados, fue RTP el que presentó una mayor variabilidad (CV = 33.8%), después estuvieron LM (17.49%), AIM (17.0%), LP (13.2%), DO (10.52%); en tanto que los caracteres con menor variabilidad fueron NHM (9.3%), DM (7.87%) y NHTF (7.4%).

El coeficiente de variación promedio de todos los caracteres evaluados fue de 14.57%, lo que indica que se trata de una población homogénea; ya que poblaciones con un CV mayor al 20% son consideradas como heterogéneas; y en este caso siete de los ocho caracteres evaluados tuvieron valores menores al 20%, excepto el de RTP.

4.1.1.2. Tamaño de muestra

En el Cuadro 2 se enlista el tamaño de muestra necesario para describir adecuadamente a la población para cada uno de los caracteres descritos, considerando el total de la población; esto es $n = 250$ plantas, utilizando dos diferentes niveles de confianza ($\alpha = 0.01$ y 0.05) y dos niveles de precisión ($d = 5$ y 10%).

Cuadro 2. Tamaño de muestra para la línea CML 244 con $n = 250$ plantas, $\alpha = 0.01$ y 0.05 , y $d = 5$ y 10% .

Carácter	$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$	
	$d = 5\%$	$d = 10\%$	$d = 5\%$	$d = 10\%$
LP	24	6	39	11
RTP	103	38	138	59
NHTF	8	2	13	3
AIM	38	11	59	18
NHM	12	3	21	6
LM	38	11	58	19
DM	9	2	16	4
DO	16	4	27	7

LP = Longitud de la panoja; RTP = Ramas totales en la panoja; NHTF = Número de hojas totales en floración; AIM = Altura de inserción de la mazorca; NHM = Número de hileras en la mazorca; LM = Longitud de mazorca; DM = Diámetro de mazorca; DO = Diámetro de olote.

Se puede observar que para todos los caracteres evaluados, el menor tamaño de muestra es el que da como resultado empleando el menor nivel de confianza ($\alpha = 0.05$) y el menor grado de precisión ($d = 10\%$); y por el contrario el mayor tamaño de muestra es el resultado de utilizar el mayor nivel de confianza ($\alpha = 0.01$) con el mayor grado de precisión ($d = 5\%$).

El carácter que requiere de un mayor tamaño de muestra es RTP, necesitando de 38 (con $\alpha = 0.05$ y $d = 10\%$) a 138 individuos ($\alpha = 0.01$ y $d = 5\%$) para describir adecuadamente la variabilidad que existe en éste material para este carácter; resultado esperado puesto que fue este mismo carácter el que presentó la mayor variabilidad de los ocho caracteres cuantitativos evaluados, medido por su CV.

El tamaño de muestra para otros caracteres fue de 11 a 59 plantas para AIM, 11 a 58 para LM, 6 a 39 para LP; y en los de menor variabilidad fue de 4 a 27 para DO, 3 a 21 para NHM, 2 A 16 para DM y 2 a 13 para NHTF.

En términos generales, siete de los ocho caracteres evaluados requieren un tamaño de muestra menor a 59 individuos, considerando el mayor nivel de confianza y de precisión ($\alpha = 0.01$ y $d = 5\%$); excepto RTP por ser el de mayor variabilidad; por tal motivo si se utilizara este tamaño de muestra (59 plantas) se podría describir apropiadamente este material; sin embargo, el tamaño de muestra indicado para describir apropiadamente los caracteres considerados en la presente investigación sería de 138 plantas, con una confiabilidad del 99% y una precisión del 5%; para no perder precisión y confiabilidad al describir RTP y por extensión a los demás caracteres considerados en la investigación.

4.1.2. Línea CL 1

4.1.2.1. Parámetros estadísticos

Los parámetros estadísticos obtenidos, para cada uno de los caracteres cuantitativos evaluados para la línea CL 1, considerando el total de la población, esto es $n = 400$ plantas, se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Parámetros estadísticos por carácter, para la línea CL 1

Parámetro	LP	RTP	NHTF	AIM	NHM	LM	DM	DO
Media	26.0	4.1	13.1	92.2	18.9	9.9	4.2	2.3
Varianza	2.37	1.33	0.80	9.16	2.7	1.63	0.32	0.21
Desv. Estándar	5.62	1.76	0.64	83.98	7.5	2.64	0.10	0.05
Coef. Var. (%)	9.12	31.99	6.07	9.94	14.0	16.46	7.65	9.20
Valor Mínimo	32.0	7.0	15.0	110.0	24.0	13.47	5.55	2.85
Valor Máximo	19.2	2.0	11.0	71.0	12.0	6.17	3.50	1.62
Moda	26.0	4.0	13.0	90.0	20.0	10.50	4.42	2.41

LP = Longitud de la panoja; RTP = Ramas totales en la panoja; NHTF = Número de hojas totales en floración; AIM = Altura de inserción de la mazorca; NHM = Número de hileras en la mazorca; LM = Longitud de mazorca; DM = Diámetro de mazorca; DO = Diámetro de olote.

El carácter que presentó la mayor variabilidad fue RTP (CV =31.99%), resultado similar a CML 244. Después le siguieron LM (16.46%), NHM (14.0%), AIM (9.40%), DO (9.2%), LP (9.12%), y por último los caracteres con menor variabilidad fueron DM (7.65%) y NHTF (6.07); estos dos últimos también fueron los que presentaron menor variabilidad en la línea CML 244.

Resultados similares fueron reportados por Virgen (1991), quien al caracterizar una línea de maíz S₄, encontró que el carácter cuantitativo de mayor variación fue el de RTP, y los de menor variabilidad fueron DM y NHTF.

El CV promedio para este material fue de 13.05%; lo que también indica que se trata de una población con un alto grado de homogeneidad puesto que siete de los ocho caracteres evaluados presentaron valores menores al 17%, y de hecho cinco tuvieron valores menores al 10%.

4.1.2.2. Tamaño de muestra

En el Cuadro 4 se enlista el tamaño de muestra necesario para describir adecuadamente a la población para cada uno de los caracteres descritos, considerando el total de la población; esto es n = 400 plantas, utilizando dos diferentes niveles de confianza ($\alpha = 0.01$ y 0.05) y dos niveles de precisión (d = 5 y 10%).

Cuadro 4. Tamaño de muestra para la línea CL 1 con n = 400 plantas, $\alpha = 0.01$ y 0.05%, y d = 5 y 10%.

Carácter	$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$	
	d = 5%	d = 10%	d = 5%	d = 10%
LP	12	3	21	5
RTP	113	36	162	58
NHTF	6	1	10	2
AIM	15	4	25	6
NHM	30	8	49	14
LM	38	10	61	17
DM	9	2	15	4
DO	13	3	22	6

LP = Longitud de la panoja; RTP = Ramas totales en la panoja; NHTF = Número de hojas totales en floración; AIM = Altura de inserción de la mazorca; NHM = Número de hileras en la mazorca; LM = Longitud de mazorca; DM = Diámetro de mazorca; DO = Diámetro de olote.

En la línea CL 1, el carácter que requiere el mayor tamaño de muestra es RTP, necesitando de 36 ($\alpha = 0.05$ y d = 10%) a 162 plantas ($\alpha = 0.01$ y d = 5%) para poder describir apropiadamente la variabilidad.

El tamaño de muestra necesario para describir a los otros siete caracteres cuantitativos, en orden descendente, fue de 10 a 61 para LM, 8 a 49 para NHM, 4 a 25 para AM, 3 a 22 para DO, 3 a 21 para LP, 2 a 15 para DM y de 1 a 10 para NHTF.

En términos generales, siete de los ocho caracteres evaluados requieren de un tamaño de muestra menor a 61 plantas, considerando el mayor nivel de confianza y de precisión, excepto RTP por ser el de mayor variabilidad; por lo que se podría utilizar este número de plantas (61 plantas) para describir apropiadamente esta línea; sin embargo, se perdería precisión y confiabilidad al describir RTP, por lo que dependiendo del propósito de la caracterización, pudiera ser necesario optar por un tamaño de muestra de 162 plantas, la cual daría mayor confiabilidad y precisión para todos los caracteres.

4.1.3. Variedad CPV 20

4.1.3.1. Parámetros estadísticos

Los parámetros estadísticos obtenidos, para cada uno de los caracteres cuantitativos evaluados en la variedad CPV 20, considerando el total de la población, esto es n = 400 plantas, se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Parámetros estadísticos por carácter, para la variedad CPV 20

Parámetro	LP	RTP	NHTF	AIM	NHM	LM	DM	DO
Media	33.4	5.7	12.7	129.6	17.6	12.5	4.5	2.4
Varianza	21.16	6.28	1.11	208.43	5.77	6.40	0.12	0.06
Desv. Estándar	4.60	2.51	1.06	14.44	2.40	2.53	2.35	0.24
Coef. Var. (%)	13.79	43.80	8.29	11.14	13.68	20.19	7.68	9.97
Valor Mínimo	22.0	2.0	10.0	91.5	12.0	6.3	3.5	1.8
Valor Máximo	45.0	15.0	15.0	169.0	26.0	19.1	5.5	3.1
Moda	33.0	5.0	13.0	122.0	18.0	15.45	4.5	2.35

LP = Longitud de la panoja; RTP = Ramas totales en la panoja; NHTF = Número de hojas totales en floración; AIM = Altura de inserción de la mazorca; NHM = Número de hileras en la mazorca; LM = Longitud de mazorca; DM = Diámetro de mazorca; DO = Diámetro de olote.

Al igual que en los otros dos materiales, el carácter que presentó la mayor variabilidad fue RTP con un CV de 43.8%, después le siguieron LM (20.19%), LP (13.79%), NHM (13.68%), AIM (11.14%) y por último los de menor variabilidad fueron DO (9.97%), NHTF (8.29%) y DM (7.68%). Resultados similares fueron reportados por Vera (1998), quien al realizar la descripción varietal para esta misma variedad, encontró que el carácter de mayor variabilidad fue RTP con un coeficiente de variación desde 56.4 hasta 71.7% y el de menor variabilidad fue DM con un CV de 7.7 a 10.4%.

El Coeficiente de Variación promedio fue de 16.07%, lo que también habla de una población homogénea en los caracteres evaluados, puesto que siete de los ocho considerados en el estudio tuvieron un CV menor al 20%.

4.1.3.2. Tamaño de muestra

En el Cuadro 6 se enlista el tamaño de muestra necesario para describir adecuadamente a la población para cada uno de los caracteres descritos,

considerando el total de la población; esto es $n = 400$ plantas, utilizando dos diferentes niveles de confianza ($\alpha = 0.01$ y 0.05) y dos niveles de precisión ($d = 5$ y 10%).

Cuadro 6. Tamaño de muestra para la variedad CPV 20 con $n = 400$ plantas, $\alpha = 0.01$ y 0.05 , y $d = 5$ y 10% .

Carácter	$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$	
	$d = 5\%$	$d = 10\%$	$d = 5\%$	$d = 10\%$
LP	27	7	45	12
RTP	170	62	224	97
NHTF	10	2	17	4
AIM	18	5	31	8
NHM	27	7	44	12
LM	55	15	86	26
DM	9	2	15	4
DO	16	4	26	7

LP = Longitud de la panoja; RTP = Ramas totales en la panoja; NHTF = Número de hojas totales en floración; AIM = Altura de inserción de la mazorca; NHM = Número de hileras en la mazorca; LM = Longitud de mazorca; DM = Diámetro de mazorca; DO = Diámetro de olote.

El carácter que requiere de una mayor tamaño de muestra es RTP, necesitando de 62 ($\alpha = 0.05$ y $d = 10\%$) a 224 plantas ($\alpha = 0.01$ y $d = 5\%$) para poder describir apropiadamente la variabilidad que existe entre los elementos de esta variedad para este carácter que fue el que presentó la mayor variabilidad.

Para los otros caracteres, el tamaño de muestra es de 15 a 86 para LM, 7 a 45 para LP, 7 a 44 para NHM, 5 a 31 para AM, 4 a 26 para DO, 2 a 17 para NHTF y de 2 a 15 para DM.

En términos generales, siete de los ocho caracteres evaluados requieren de un tamaño de muestra menor a 86 plantas, considerando el mayor nivel de confianza y de precisión, excepto RTP por ser de mayor variabilidad; por lo que se podría utilizar este tamaño de muestra para describir apropiadamente a CPV 20; sin embargo, se perdería precisión y confiabilidad en el carácter RTP, por lo que, de contar con tiempo y recursos, el tamaño de muestra indicado para describir apropiadamente los

caracteres considerados en la presente investigación sería de 224 plantas, con una confiabilidad del 99% y una precisión del 5%.

4.1.4. Comparación entre materiales

Al realizar una comparación entre los tres materiales utilizados en la presente investigación, se obtuvieron los siguientes resultados:

4.1.4.1. Variabilidad entre materiales

El Coeficiente de variación es un parámetro estadístico muy importante puesto que indica el grado de variabilidad que existe entre los elementos de una población para la variable o carácter bajo estudio; y este valor es directamente proporcional al tamaño de muestra requerido para describir dicho carácter, esto significa que a mayor variabilidad mayor será el número de elementos necesarios a muestrear para caracterizar a la población.

Cuadro 7. Comparación (%) de coeficientes de variación (CV) entre los materiales, para los caracteres evaluados.

Material	LP	RTP	NHTF	AIM	NHM	LM	DM	DO	Promedio
CML 244	13.2	33.8	7.4	17.0	9.3	17.49	7.87	10.52	14.57
CL 1	9.12	31.99	6.07	9.94	14.0	16.46	7.65	9.20	13.05
CPV 20	13.79	43.80	8.29	11.14	13.68	20.19	7.68	9.97	16.07

LP = Longitud de la panoja; RTP = Ramas totales en la panoja; NHTF = Número de hojas totales en floración; AIM = Altura de inserción de la mazorca; NHM = Número de hileras en la mazorca; LM = Longitud de mazorca; DM = Diámetro de mazorca; DO = Diámetro de olote.

El material que presentó una menor variabilidad entre los diferentes caracteres fue la línea CL 1 (CV promedio de 13.05%), después CML 244 (CV = 14.57%) y por último la variedad CPV 20 (CV = 16.07%); resultados que no siguen el orden previsto, puesto que hipotéticamente se esperaba que existiera una menor variabilidad entre los elementos del material CML 244 por tener un mayor grado de endogamia (S_8) que los otros dos materiales; sin embargo, su variabilidad fue ligeramente mayor a la línea CL 1 (S_4), situación que puede atribuirse a efectos de selección, en el sentido de que cualquier material conducido con un buen programa de mantenimiento varietal, seleccionando los individuos apegados al tipo verdadero, ayudan a darle una mayor

estabilidad genética y por lo tanto a homogenizar las características entre los individuos de dicha población.

De los tres materiales, el carácter con mayor variabilidad fue el de RTP con un CV de 31.99 hasta 43.80%; resultados similares a los que fueron encontrados por Vera (1994), Virgen (1991) y Orozco (1990); quienes al caracterizar diferentes materiales encontraron que el carácter cuantitativo con mayor variabilidad fue el de RTP; con CV mayores al 50%. La mayor variabilidad en este carácter se encontró entre los individuos de la variedad CPV 20 (CV = 43.8%), lo cual era esperado puesto que se trata de una variedad de polinización abierta y por lo tanto con un grado cero de endogamia; conforme se incrementa el nivel de endogamia entre los materiales disminuyó la variabilidad para este carácter; ya que las líneas CML 244 y CL 1 tuvieron un CV menor que CPV 20.

Los caracteres de menor variación en los tres genotipos fueron NHTF y DM; resultados similares fueron reportados por Virgen (1991).

4.1.4.2. Tamaño de muestra

En el Cuadro 8 se enlista el tamaño de muestra necesario para describir adecuadamente a la población de cada uno de los materiales utilizados y para cada uno de los caracteres descritos; considerando el total de la población, esto es $n = 400$ plantas para el caso de CL1 y CPV 20 y $n = 250$ plantas para la línea CML 244; utilizando dos diferentes niveles de confianza ($\alpha = 0.01$ y 0.05) y dos niveles de precisión ($d = 5$ y 10%).

Cuadro 8. Tamaño de muestra con n = 400 y 250 plantas, $\alpha = 0.01$ y 0.05 , d = 5 y 10%

Carácter	CML 244				CL 1				CPV 20			
	$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$	
	d=5%	d=10%										
LP	24	6	39	11	12	3	21	5	27	7	45	12
RTP	103	38	138	59	113	36	162	58	170	62	224	97
NHTF	8	2	13	3	6	1	10	2	10	2	17	4
AIM	38	11	59	18	15	4	25	6	18	5	31	8
NHM	12	3	21	6	30	8	49	14	27	7	44	12
LM	38	11	58	19	38	10	61	17	55	15	86	26
DM	9	2	16	4	9	2	15	4	9	2	15	4
DO	16	4	27	7	13	3	22	6	16	4	26	7

LP = Longitud de la panoja; RTP = Ramas totales en la panoja; NHTF = Número de hojas totales en floración; AIM = Altura de inserción de la mazorca; NHM = Número de hileras en la mazorca; LM = Longitud de mazorca; DM = Diámetro de mazorca; DO = Diámetro de olote.

En términos generales, el material que requiere un mayor tamaño de muestra para describir apropiadamente cada uno de sus caracteres, independientemente del nivel de precisión y de confianza, es el CPV 20, debido a su alta variabilidad, medida por su coeficiente de variación, ya que se necesitan desde cuatro hasta 224 elementos; resultados que coinciden con lo esperado, en el sentido de que una variedad con un menor grado de endogamia, como es el caso del CPV 20, tiene un mayor grado de variabilidad en cada uno de sus caracteres y por lo tanto requiere de un mayor tamaño de muestra para una adecuada descripción varietal de su población.

Por otra parte, la línea CML 244 requiere de un tamaño de muestra de dos hasta 138 elementos, mientras que en CL 1 se necesitan de uno hasta 162 individuos. Ambos materiales muestran un comportamiento muy similar en la mayoría de los caracteres, lo cual se esperaba puesto que la variabilidad en los mismos fue baja (determinada por su CV) y con valores muy similares. Aunque se esperaba que fuera la línea CML 244 la que tuviera una menor variabilidad, por su mayor grado de endogamia, y por lo tanto requiriera de un menor tamaño de muestra para describir a su población; no resultó así, tal como se mencionó en el apartado anterior, en virtud de que es posible lograr homogeneidad con un buen programa de mantenimiento varietal buscando conservar homogeneidad fenotípica en los caracteres descriptivos de una variedad, que fue el caso de la línea CL 1.

De manera particular, el carácter que requiere un mayor tamaño de muestra, para todos los materiales e independientemente del nivel de confianza y precisión, es el de Número de Ramas Totales en la Panoja (RTP), toda vez que requiere desde 36 hasta 224 individuos, para describir apropiadamente la variabilidad. Por otra parte, los caracteres en los que se necesita un menor tamaño de muestra fueron: NHTF (1 a 17 plantas), DM (2 a 16) y DO (3 a 27 plantas) (Figuras 1 – 4), resultados que sostienen la hipótesis planteada, en el sentido de que el tamaño de muestra esta en función del carácter bajo estudio y de su variabilidad.

Al analizar la influencia del nivel de confianza sobre el tamaño de muestra para cada uno de los caracteres, se puede observar (Figuras 1 – 4) que independientemente del grado de precisión, conforme se incrementa el nivel de confiabilidad (del 95 al 99%) se incrementa el tamaño de muestra para todos los caracteres; esto se debe a que para obtener un valor de la población muestra cercano a la media de la población original, con un alto grado de confiabilidad es necesario considerar un mayor número de elementos para acercarnos a ese valor. Por lo tanto el tamaño de la muestra es directamente proporcional a la confianza deseada; no obstante los efectos generados no son muy grandes en comparación con el nivel de precisión; ya que al analizar este parámetro en forma independiente se aprecia que también tiene una influencia directa sobre el tamaño de muestra; puesto que, independientemente del nivel de confianza, conforme se busca mayor precisión, se incrementa el tamaño de muestra, ya que si se busca obtener un valor más cercano a la media de la población original es necesario muestrear un mayor número de individuos.

En las figuras 1 a 4 se puede observar que es el nivel de precisión el parámetro que tiene una mayor influencia sobre el tamaño de muestra, aún sobre el nivel de confianza, puesto que al analizarlos en forma independiente, los cambios en valores del tamaño de muestra son mayores cuando se busca mejorar la precisión que cuando se incrementa el nivel de confianza; esto significa que este parámetro es más sensible para determinar el tamaño de muestra.

Por otra parte al analizar ambos parámetros en forma conjunta (figuras 1 a 4) el mayor tamaño de muestra para describir adecuadamente cada uno de los caracteres es con una confianza del 99% y una precisión del 5%; por el contrario, el menor tamaño de muestra es reportado con una confianza del 95% y una precisión del 10%; esto es, entre mayor sea el nivel de confianza y de precisión mayor será el tamaño de muestra necesario para describir adecuadamente a una población.

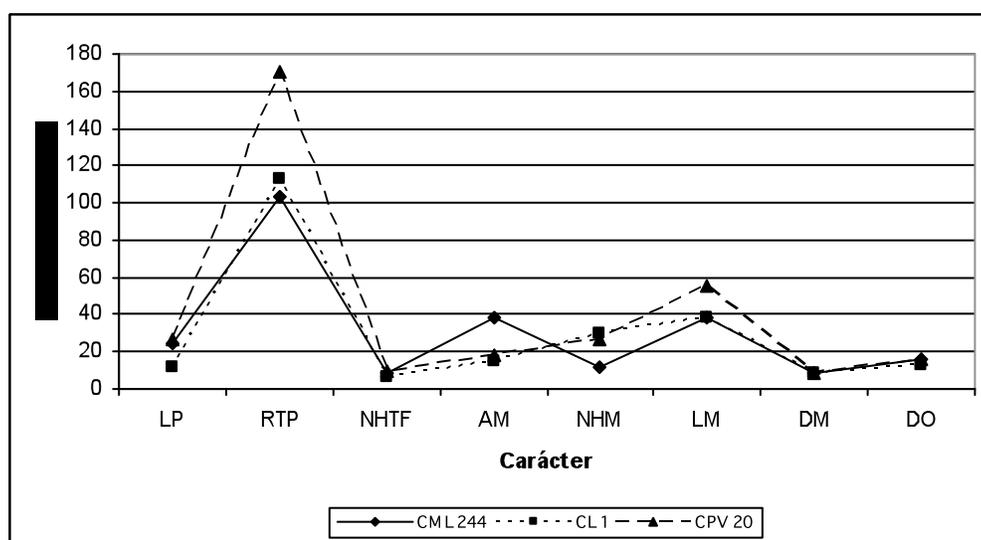


Figura 1. Tamaño de muestra para diferentes caracteres en los materiales CML 244, CL 1 y CPV 20, con $n = 250$ y 400 plantas; $\alpha = 0.05$ y $d = 5\%$

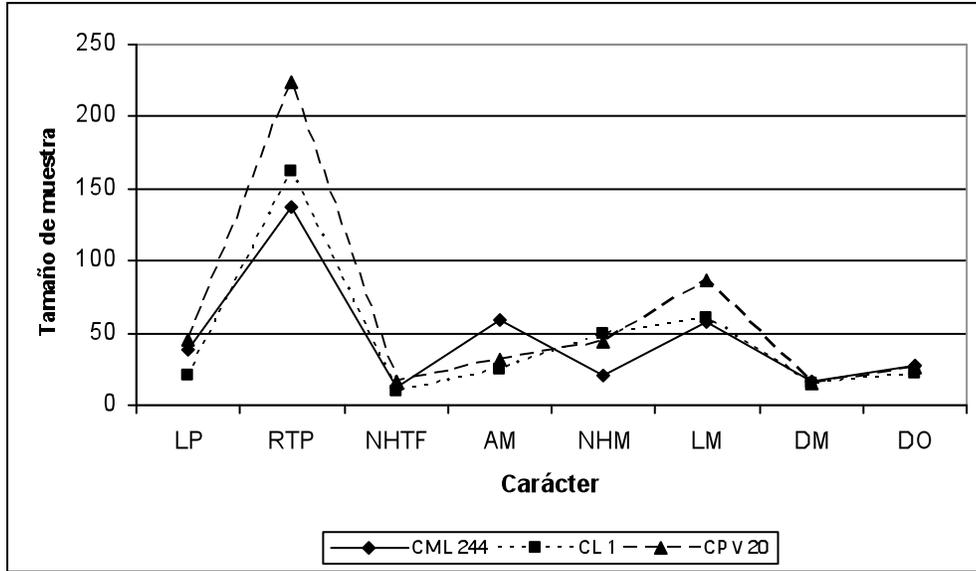


Figura 2. Tamaño de muestra para diferentes caracteres en los materiales CML 244, CL 1 y CPV 20, con $n = 250$ y 400 plantas; $\alpha = 0.01$ y $d = 5\%$

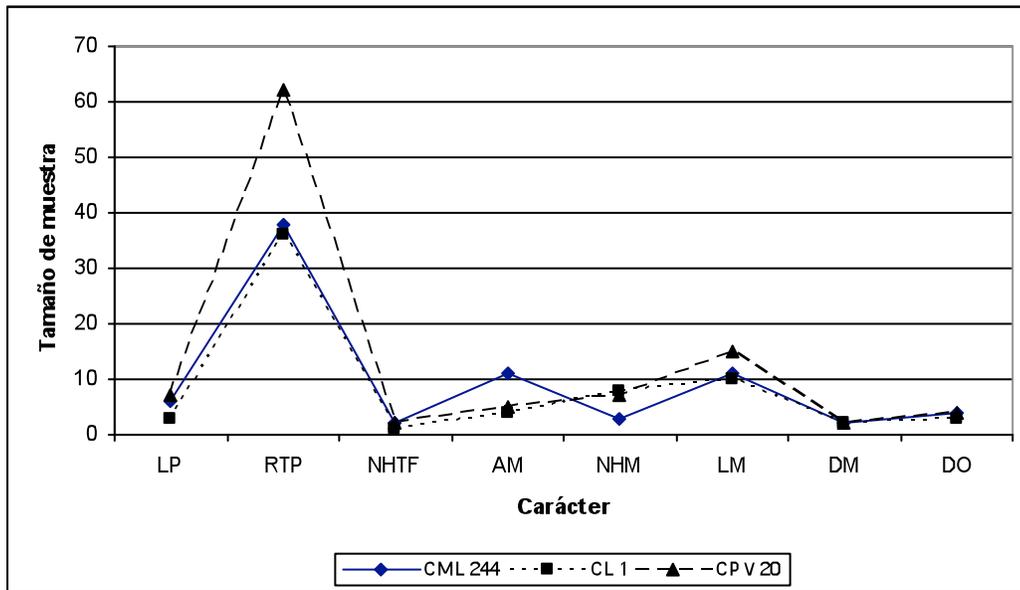


Figura 3. Tamaño de muestra para diferentes caracteres en los materiales CML 244, CL 1 y CPV 20, con $n = 250$ y 400 plantas; $\alpha = 0.05$ y $d = 10\%$

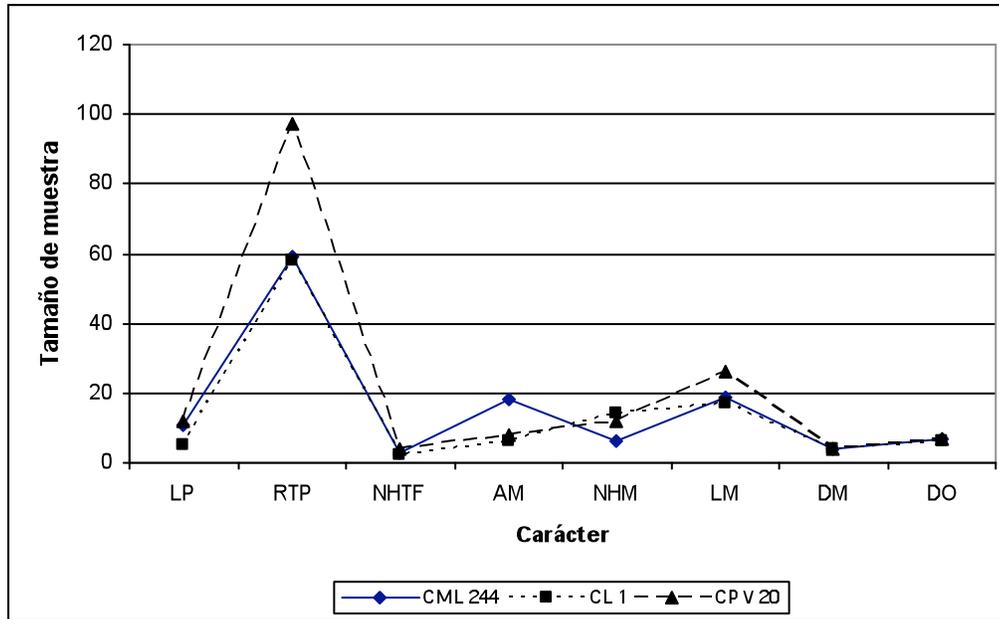


Figura 4. Tamaño de muestra para diferentes caracteres en los materiales CML 244, CL 1 y CPV 20, con $n = 250$ y 400 plantas; $\alpha = 0.01$ y $d = 10\%$

Estos resultados apoyan una de las hipótesis planteadas, en el sentido de que el nivel de confianza, la precisión y el carácter bajo estudio, definen el tamaño de muestra necesario para describir a la población; que en el caso particular del estudio, los tamaños apropiados son: 138 individuos para CML 244, 162 para CL 1 y 224 para CPV 20 (considerando $\alpha = 0.01$ y $d = 5\%$).

La decisión sobre qué tamaño de muestra utilizar va a depender del nivel de confianza y precisión que se quiera tener; para este caso el valor más recomendado sería el que requiere un mayor número de individuos en cada material, ya que un valor menor a este implicaría no describir apropiadamente la variabilidad de cada carácter, puesto que se perdería confiabilidad y precisión, especialmente en los de alta variabilidad, que requieren un tamaño mayor; además de que, el hecho de tomar el mayor valor también implica describir mejor a los otros caracteres con un mayor grado de precisión y confiabilidad. Sin embargo, la decisión sobre el tamaño de muestra a utilizar también va a depender de los recursos económicos, materiales y

humanos que se tengan disponibles, y con estos elementos es decisión que tomará el fitomejorador.

4.1.5. Precisión en la descripción varietal

Tal como se mencionó en el apartado anterior, la decisión sobre qué tamaño de muestra utilizar va a depender del nivel de confianza y precisión que se quiera tener; con especial énfasis en la precisión, ya que este parámetro tiene una mayor influencia sobre el tamaño de muestra, dado su mayor sensibilidad a ligeros cambios; además de que indica el máximo grado de alejamiento permisible con relación a la media verdadera de la población.

Por lo anterior se calculó la ganancia o pérdida en precisión en cada carácter por material, considerando dos tamaños de muestra; el mayor, que en todos los materiales fue para RTP, y el tamaño intermedio, el cual sólo implica la mitad de los elementos en relación al mayor tamaño. Estos tamaños de muestra utilizados fueron los reportados por el mayor nivel de confianza (99%) y de precisión (5%).

El cálculo de la precisión se realizó aplicando la ecuación dada en la sección 3.7, y la selección de los individuos en cada tamaño de muestra, para obtener los parámetros estadísticos relacionados en el cálculo de ganancia ó pérdida de precisión, fue realizada del total de la población en cada material, de acuerdo a los criterios del Muestreo Simple Aleatorio (MAS), utilizando las tablas de números aleatorios, tomadas del libro de Scheaffer, *et al* (1987).

4.1.5.1. Línea CML 244

Para el caso de este material se calculó la ganancia en precisión considerando el mayor tamaño de muestra el cual fue de 138 plantas para el carácter RTP, con los siguientes resultados.

Cuadro 9. Cálculo de precisión por carácter considerando el mayor tamaño de muestra (n = 138)

Carácter	Precisión final	Precisión inicial	Ganancia en precisión
LP	0.45	1.17	0.72
RTP	0.45	0.45	0.00
NHTF	0.14	0.65	0.51
AIM	1.07	2.14	1.07
NHM	0.20	0.73	0.53
LM	0.25	0.49	0.24
DM	0.05	0.20	0.15
DO	0.04	0.13	0.09

LP = Longitud de la panoja; RTP = Ramas totales en la panoja; NHTF = Número de hojas totales en floración; AIM = Altura de inserción de la mazorca; NHM = Número de hileras en la mazorca; LM = Longitud de mazorca; DM = Diámetro de mazorca; DO = Diámetro de olote.

En siete de los ocho caracteres hubo ganancia en el nivel de precisión con respecto a lo que se estimó inicialmente, debido a que el cálculo se realizó en base a un mayor tamaño. Tal es el caso del carácter LP, en el cual el máximo valor alejado de la media de la población va a ser de 0.45 cm, lo que representa una ganancia en precisión de 0.72 cm con respecto a la precisión calculada inicialmente de 1.17 cm, ya que esta era a partir de un tamaño de 39 plantas. Para el carácter NHTF hubo una ganancia de 0.51 hojas, para AIM la ganancia es de 1.07 cm, para NHM de 0.53 hileras, para LM de 0.24 cm, para DM de 0.15 cm y para DO de 0.09 cm. Sólo para el carácter RTP no hubo ganancia en la precisión ya que el cálculo fue considerando el tamaño de muestra mayor que es el que este carácter requería.

Ahora bien, si el tamaño de muestra a utilizar fuera el inmediato inferior a 138 plantas, el cual es de 59 elementos (que corresponde al carácter AIM), entonces se perdería precisión en el carácter RTP, aunque aún habría ganancia en otros caracteres:

Cuadro 10. Cálculo de precisión por carácter considerando un tamaño de muestra de n = 59 plantas.

Carácter	<i>Precisión final</i>	<i>Precisión inicial</i>	<i>Ganancia en precisión</i>
LP	0.90	1.17	0.27
RTP	0.89	0.45	-0.44
NHTF	0.28	0.65	0.37
AIM	2.14	2.14	0.00
NHM	0.39	0.73	0.34
LM	0.49	0.49	0.00
DM	0.09	0.20	0.11
DO	0.08	0.13	0.05

LP = Longitud de la panoja; RTP = Ramas totales en la panoja; NHTF = Número de hojas totales en floración; AIM = Altura de inserción de la mazorca; NHM = Número de hileras en la mazorca; LM = Longitud de mazorca; DM = Diámetro de mazorca; DO = Diámetro de olote.

Aún con este tamaño de muestra sigue habiendo una ganancia en precisión en cinco caracteres: LP, NHTF, NHM, DM y DO, ya que estos requieren un número menor de plantas para una caracterización apropiada. En los caracteres AIM y LM no hay ganancia en precisión pero tampoco se pierde, ya que es el tamaño necesario para describirlos.

En el único carácter que hay una pérdida en la precisión es para el de RTP, ya que el máximo valor del cual vamos a estar alejados de la media de la población sería de 0.89 ramas, lo cual representa una disminución en 0.44 ramas con respecto a la estimada inicialmente de 0.45; esto, en virtud de que al utilizar un menor número de individuos para la caracterización se pone en riesgo la descripción de la variabilidad para algún carácter y por lo tanto la precisión ya no es igual.

Aún utilizando un tamaño de muestra menor al estimado inicialmente, la descripción varietal de este material podría ser aceptable; puesto que sólo se perdería precisión en uno de los ocho caracteres que se evaluaron; con la ventaja de optimizar el uso de los otros recursos; por sólo caracterizar 59 plantas en lugar de 138.

4.1.5.2. Línea CL 1

Para éste material se calculó la ganancia en precisión considerando el mayor tamaño de muestra el cual fue de 162 plantas para el carácter RTP, con los siguientes resultados.

Cuadro 11. Cálculo de precisión por carácter considerando el mayor tamaño de muestra (n = 162).

Carácter	<i>Precisión final</i>	<i>Precisión inicial</i>	<i>Ganancia en precisión</i>
LP	0.37	1.30	0.93
RTP	0.21	0.21	0.00
NHTF	0.13	0.66	0.53
AIM	1.43	4.61	3.18
NHM	0.43	0.95	0.52
LM	0.25	0.49	0.24
DM	0.05	0.21	0.16
DO	0.03	0.12	0.09

LP = Longitud de la panoja; RTP = Ramas totales en la panoja; NHTF = Número de hojas totales en floración; AIM = Altura de inserción de la mazorca; NHM = Número de hileras en la mazorca; LM = Longitud de mazorca; DM = Diámetro de mazorca; DO = Diámetro de olote.

Al igual que en CML 244, hubo una ganancia en precisión en siete de los ocho caracteres evaluados, al haber utilizado un mayor número de individuos para su caracterización.

Para el carácter LP la ganancia es de 0.93 cm, para NHTF de 0.53 hojas, de 3.18 cm para AIM, para NHM es de 0.52 hileras, para LM de 0.24 cm, para DM de 0.16 cm y para DO es de 0.09 cm.

En el único carácter para el que no hubo una ganancia en precisión fue el de RTP puesto que el tamaño de muestra utilizado fue el mismo que este requería para su caracterización.

Por otra parte si se considerara un tamaño de muestra menor a 162 plantas; esto es que fuera el inmediato inferior que es de 61 elementos, el cual corresponde al

carácter LM, entonces involucraría perder precisión en el carácter que requiere de un mayor tamaño de muestra.

Cuadro 12. Cálculo de precisión por carácter considerando un tamaño de muestra de n = 61 plantas

Carácter	<i>Precisión final</i>	<i>Precisión inicial</i>	<i>Ganancia en precisión</i>
LP	0.72	1.30	0.58
RTP	0.40	0.21	-0.19
NHTF	0.24	0.66	0.42
AIM	2.79	4.61	1.82
NHM	0.83	0.95	0.12
LM	0.49	0.49	0.00
DM	0.10	0.21	0.11
DO	0.07	0.12	0.05

LP = Longitud de la panoja; RTP = Ramas totales en la panoja; NHTF = Número de hojas totales en floración; AIM = Altura de inserción de la mazorca; NHM = Número de hileras en la mazorca; LM = Longitud de mazorca; DM = Diámetro de mazorca; DO = Diámetro de olote.

Aún con un tamaño de muestra menor sigue habiendo ganancia en precisión en seis caracteres (LP, NHTF, AIM, NHM, DM y DO) y esta se mantiene en el carácter LM.

Para el caso del carácter RTP el máximo valor que estaría alejado de la media de la población es de 0.40 ramas, lo cual representa una pérdida en precisión de 0.19 ramas con respecto a la calculada inicialmente de 0.21; sin embargo, el hecho de utilizar un tamaño de muestra menor (101 plantas menos) significa un ahorro en recursos, además de que la descripción varietal es bastante aceptable por sólo perder precisión en uno de los ocho caracteres.

4.1.5.3. Variedad CPV 20

Para este material se calculó la ganancia en precisión considerando el mayor tamaño de muestra, el cual fue de 224 plantas para el carácter RTP, con los siguientes resultados.

Cuadro 13. Cálculo de precisión por carácter considerando el mayor tamaño de muestra (n = 224)

Carácter	Precisión final	Precisión inicial	Ganancia en precisión
LP	0.53	1.67	1.14
RTP	0.29	0.29	0.00
NHTF	0.12	0.64	0.52
AIM	1.65	6.48	4.83
NHM	0.27	0.88	0.61
LM	0.29	0.62	0.33
DM	0.04	0.23	0.19
DO	0.03	0.12	0.09

LP = Longitud de la panoja; RTP = Ramas totales en la panoja; NHTF = Número de hojas totales en floración; AIM = Altura de inserción de la mazorca; NHM = Número de hileras en la mazorca; LM = Longitud de mazorca; DM = Diámetro de mazorca; DO = Diámetro de olote.

Por utilizar un tamaño de muestra mayor al que requerían inicialmente para su caracterización, hubo una ganancia en la precisión en siete de los ocho caracteres; tal es el caso de LP en el cual hubo una ganancia de 1.14 cm, para NHTF es de 0.52 hojas, para AIM de 4.83 cm, para NHM de 0.61 hileras, para LM de 0.33 cm, para DM de 0.19 cm y para DO de 0.09 cm. Para el carácter RTP la precisión se mantuvo por haber utilizado el tamaño apropiado de muestra que le correspondía.

Por otra parte, si se quisiera reducir el número de individuos a caracterizar por falta de recursos, la otra opción viable sería de 86 plantas, por ser el tamaño inmediato inferior y que corresponde al carácter LM, aunque esto involucraría perder precisión en el carácter de mayor variabilidad (RTP).

Cuadro 14. Cálculo de precisión por carácter considerando un tamaño de muestra de n = 86 plantas.

Carácter	Precisión final	Precisión inicial	Ganancia en precisión
LP	1.13	1.67	0.54
RTP	0.62	0.29	-0.33
NHTF	0.26	0.64	0.38
AIM	3.56	6.48	2.92
NHM	0.59	0.88	0.29
LM	0.62	0.62	0.00
DM	0.09	0.23	0.14
DO	0.06	0.12	0.06

LP = Longitud de la panoja; RTP = Ramas totales en la panoja; NHTF = Número de hojas totales en floración; AIM = Altura de inserción de la mazorca; NHM = Número de hileras en la mazorca; LM = Longitud de mazorca; DM = Diámetro de mazorca; DO = Diámetro de olote.

Al igual que en las líneas CML 244 y CL 1, sigue habiendo ganancia en la precisión en seis caracteres: LP, NHTF, AIM, NHM, DM y DO, ya que en el carácter LM la precisión se mantiene.

Tal como se esperaba, fue en RTP donde se perdió precisión por utilizar un menor número de individuos al necesario; ya que la precisión final es de 0.62 ramas lo que representa una pérdida de 0.33 ramas con respecto a la calculada inicialmente de 0.29.

En términos generales, para los tres materiales el tamaño de muestra ideal para su caracterización sería aquel que considerara la mayor cantidad de individuos para describir apropiadamente el carácter de mayor variabilidad; que en este caso sería de 138 plantas para el material CML 244, 162 para el CL 1 y 224 para CPV 20. Sin embargo, si los recursos materiales, humanos, económicos y de tiempo no fueran los suficientes se podría considerar como una opción viable el utilizar un menor tamaño de muestra, pero tratando de no perder precisión en la mayoría de los caracteres que deben evaluarse. En este caso se empleó el tamaño inmediato inferior, el cual fue de 59 plantas para CML 244, 61 para CL 1 y 86 para la variedad CPV 20; con dichos tamaños de muestra sólo se pierde precisión en uno de los ocho caracteres

evaluados, el cual corresponde a RTP, por ser el de mayor variabilidad en todos los materiales.

La decisión sobre qué tamaño de muestra utilizar recae en el fitomejorador y/o productor de semilla y está en función de la precisión y confiabilidad que se quiera tener en la caracterización de un material, pero también está ligado a los recursos que se tengan disponibles; aunque si bien es cierto que cuando se trata de calidad genética lo más recomendable es no escatimar en el uso de recursos, aún así éstos juegan un papel importante en la toma de la decisión.

4.2. Caracteres cualitativos

La UPOV (citado por Virgen, 1991) considera que los caracteres cualitativos son de gran utilidad para caracterizar poblaciones de cultivos, porque están determinadas por pocos genes y no cambian su expresión a través de ambientes, como podría ocurrir con los caracteres cuantitativos.

4.2.1. Frecuencia relativa

La proporción de variantes en cada carácter, medido por su frecuencia relativa, indica la variabilidad de ese carácter en la población, y va a influir de manera directa en el tamaño de muestra necesario para caracterizar dicha variabilidad, puesto que a mayor variabilidad mayor será el número de elementos a muestrear para poder caracterizar dicha variación.

4.2.1.1. Línea CML 244

Para CML 244 se evaluaron tres variables cualitativas: Color en la base de las glumas (CBG), Color de las glumas (CG) y Color de estigmas (CE) en el total de la población de 250 plantas. Las frecuencias relativas por cada variable se presentan en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Frecuencias relativas en variantes de tres caracteres cualitativos para la línea CML 244.

Variable	Característica	No. de Observaciones	Frecuencia Relativa (%)
Color de la base de las glumas (CBG)	1: ausente	197	78.8
	2: presente	53	21.2
Color de las glumas (CG)	3: débil	214	85.6
	5: intermedio	36	14.4
Color de estigmas (CE)	1: ausente	14	5.6
	3: débil	111	44.4
	5: media	116	46.4
	7: fuerte	9	3.6

Para el caso del carácter CBG la característica predominante fue la ausencia de antocianinas en dicha estructura con el 78.8% de los individuos de la población; para el carácter CG la variante que predomina es una coloración suave o tenue por presencia de antocianinas, con una proporción del 85.6%; y en el caso de CE fue donde se presentó una mayor variabilidad, ya que se encontraron hasta 4 tipos de coloración en los estigmas, predominando la de intensidad media con una frecuencia del 46.4% y una coloración débil con el 44.4%.

4.2.1.2. Línea CL 1

En CL 1 se evaluaron cuatro variables cualitativas: Color en la base de las glumas (CBG), Color de las glumas (CG), Color de anteras (CA) y Color de estigmas (CE) en el total de la población de 400 plantas. Las frecuencias relativas por cada variable se presentan en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Frecuencias relativas en las variantes de cuatro caracteres cualitativos para la línea CL 1.

Variable	Característica	No. de Observaciones	Frecuencia Relativa (%)
Color de la base de las glumas (CBG)	1: ausente	94	23.5
	2: presente	306	76.5
Color de las glumas (CG)	1: ausente	400	100.0
Color de estigmas (CE)	1: ausente	9	2.3
	3: débil	108	27.0
	5: intermedio	277	69.3
	7: fuerte	6	1.5
Color de anteras (CA)	1: ausente	384	96.0
	2: intermedio	5	1.3
	3: fuerte	11	2.8

Para el carácter CBG la característica predominante fue la coloración por la presencia de antocianinas, con una proporción del 76.5%; característica que marca una diferencia con el material CML 244, ya que en este la característica predominante fue la ausencia de coloración.

Los caracteres CG y CA presentaron la mayor homogeneidad en este material, ya que para la variable CG el 100% de los individuos no presentó coloración en las glumas y para la variable CA el 96% de las plantas presentaron anteras sin coloración; por lo que ambas características pueden ser marcadas como relevantes en la descripción varietal de esta línea, toda vez que pueden constituir la diferencia con otros materiales.

Al contrario de estos caracteres, la variable CE fue la de mayor variabilidad, al igual que en CML 244, ya que se presentaron cuatro tipos diferentes de coloración en los estigmas por presencia de antocianinas, predominando la intermedia con una proporción del 69.3 % y después la coloración suave o tenue con el 27%.

4.2.1.3. Variedad CPV 20

Para el material CPV 20 se evaluaron cuatro variables cualitativas: Color en la base de las glumas (CBG), Color de las glumas (CG), Color de anteras (CA) y Color de estigmas (CE) en el total de la población de 400 plantas. Las frecuencias relativas por cada variable se presentan en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Frecuencias relativas en las variantes para cuatro caracteres cualitativos para la variedad CPV 20.

Variable	Característica	No. Observaciones	de Frecuencia Relativa (%)
Color de la base de las glumas (CBG)	1: ausente	145	36.3
	2: suave	172	43.0
	3: intermedio	63	15.8
	4: fuerte	20	5.0
Color de las glumas (CG)	1: ausente	324	81.0
	3: débil	54	13.5
	5: intermedio	16	4.0
	7: fuerte	6	1.5
Color de estigmas (CE)	1: ausente	373	93.3
	3: débil	21	5.3
	5: intermedio	6	1.5
Color de anteras (CA)	1: ausente	400	100

El carácter CA fue el que presentó el mayor grado de homogeneidad, ya que en el 100% de sus individuos no tuvieron coloración en esta estructura; característica que puede ser marcada como relevante en la descripción varietal de este material.

En el caso de CE y CG, aunque se presentaron de tres a cuatro diferentes tipos de coloración en sus estructuras respectivas, esto no indica necesariamente una alta variabilidad, ya que en ambas la mayor proporción está en la característica de ausencia de color, con una frecuencia del 93.3 y 81% respectivamente, mientras que las otras variantes tienen una proporción muy baja; por lo que se pueden considerar como caracteres con un alto grado de homogeneidad y que por lo tanto también podrían ser marcadas como relevantes en la descripción varietal.

En CPV 20 fue el carácter CBG el que presentó la mayor variabilidad, a diferencia de los otros dos materiales, puesto que se presentaron cuatro diferentes tipos de coloración por presencia de antocianinas en esta estructura; las variantes predominantes fueron una coloración suave y ausencia de color con una proporción del 43.0 y 36.3 % respectivamente.

4.2.2. Tamaño de muestra

Utilizando la ecuación dada en la sección 3.6 se estimó el tamaño de muestra necesario para caracterizar a la población para cada material y por cada carácter bajo estudio, considerando el total de la población, esto es $n = 400$ plantas para CL 1 y CPV 20, y $n = 250$ plantas para CML 244; utilizando dos niveles de confiabilidad (95% y 99%) y dos niveles de precisión (5% y 10%).

La estimación del tamaño de muestra se realizó en cada característica o tipo dentro de cada carácter; esto es, en el caso de los caracteres que presentaron más de dos variantes el cálculo del tamaño de muestra se realizó para cada una de ellas considerando a:

p_n = la frecuencia relativa directa de dicha variante y,

$$q_n = 1 - p_n$$

El rango en el tamaño de muestra reportado para cada carácter en cada material (Cuadro 18), es considerando tanto los resultados de utilizar un nivel de confianza del 95% y una precisión del 10%, como los de un nivel de confianza del 99% y una precisión del 5%.

a) Color en la base de las glumas (CBG)

El tamaño de muestra estimado como necesario para describir este carácter (Cuadro 18) muestra que CML 244 requeriría de 51 (con una $\alpha=0.05$ y $d=10\%$) a 160 elementos (con una $\alpha=0.01$ y $d=5\%$) para poder caracterizar la variabilidad que existe

entre sus individuos para este carácter, para CL 1 serían necesarios de 59 a 218 plantas, y de 76 a 248 individuos para el material CPV 20.

Cuadro 18. Tamaño de muestra necesario para describir el carácter CBG, con dos niveles de confianza (95 y 99%) y dos niveles de precisión (5 y 10%).

Clave	CML 244				CL 1				CPV 20			
	$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$	
	d=5%	d=10%										
1	127	51	160	77	163	59	218	92	188	73	242	111
2	127	51	160	77	163	59	218	92	194	76	248	116
3									135	45	188	72
4									62	17	96	29
Max. Valor	127	51	160	77	163	59	218	92	194	76	248	116

De acuerdo con estos resultados, nuevamente el material que requiere de un mayor tamaño de muestra es el CPV 20, ya que fue el que presentó una mayor variabilidad, con la presencia de hasta cuatro diferentes tipos de coloración en la base de las glumas. Por otra parte el material que presentó una menor variabilidad en este carácter fue la línea CML 244, y por lo tanto requiere de un menor tamaño de muestra; resultados esperados ya que este material es el que presenta el mayor grado de endogamia (S_8) en contraste con la alta variabilidad que presenta el CPV 20 por ser una variedad de polinización abierta; y en termino medio esta CL 1 que corresponde a una línea S_4 .

b) Color de glumas (CG)

El tamaño de muestra necesario para describir este carácter para cada material se presenta en el Cuadro 19, considerando cada característica diferente.

Cuadro 19. Tamaño de muestra necesario para describir el carácter CG, con dos niveles de confianza (95 y 99%) y dos niveles de precisión (5 y 10%).

Clave	CML 244				CL 1				CPV 20			
	$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$	
	D=5%	d=10%	d=5%	d=10%	d=5%	d=10%	D=5%	d=10%	d=5%	d=10%	d=5%	d=10%
1					1	1	1	1	149	52	202	82
3	108	40	142	62					124	40	175	65
5	108	40	142	62					51	14	81	24
7									21	6	36	10
Max Valor	108	40	142	62	1	1	1	1	149	52	202	82

El mayor grado de homogeneidad lo mostró la línea CL 1, ya que el 100% de sus elementos presentaron ausencia de color en las glumas (Cuadro 16); por lo que con una muestra mínima se podría describir dicha característica.

Por otra parte, en el caso de CML 244 sería necesario muestrear de 40 a 142 plantas, ya que presentó mayor variabilidad que la línea CL 1; sin embargo, fue la variedad CPV 20 la de mayor variabilidad, ya que se encontraron hasta cuatro diferentes tipos de coloración en la gluma y por lo tanto requiere de una mayor tamaño de muestra para caracterizar apropiadamente la variabilidad, necesitando de 52 a 202 plantas.

c) Color de estigmas (CE)

El tamaño de muestra necesario para describir este carácter para cada material se presenta en el Cuadro 20, donde puede apreciarse que el material que presentó la menor variabilidad fue CPV 20, a diferencia de los caracteres anteriores, ya que la característica predominante fue la ausencia de color en dicha estructura con una alta frecuencia dentro de la población (93.3%), lo que origina que requiera de un menor tamaño de muestra para su identificación (de 23 a 118 plantas).

Cuadro 20. Tamaño de muestra necesario para describir el carácter CE, con dos niveles de confianza (95 y 99%) y dos niveles de precisión (5 y 10%).

Clave	CML 244				CL 1				CPV 20			
	$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$	
	D=5%	d=10%	d=5%	d=10%	d=5%	d=10%	D=5%	d=10%	d=5%	d=10%	d=5%	d=10%
1	61	19	90	31	31	8	51	14	78	23	118	38
3	151	69	181	99	172	64	227	99	64	18	99	31
5	151	69	181	100	180	68	235	105	21	6	36	10
7	44	13	67	21	21	6	36	10				
Max Valor	151	69	181	100	180	68	235	105	78	23	118	38

Las líneas CML 244 y CL 1 presentaron una mayor variabilidad, puesto que se encontraron hasta 4 diferentes tipos de coloración en esta estructura; dentro de esa variabilidad la línea CML 244 fue la menos variable y por lo tanto requiere de un menor tamaño de muestra que CL 1; respectivamente los tamaños resultantes fueron de 69 a 181 y de 68 a 265 plantas.

d) Color de anteras (CA)

El tamaño de muestra necesario para describir este carácter (Cuadro 21), muestra que el mayor grado de homogeneidad se encontró en CPV 20, ya que el 100% de sus individuos presentaron la característica de ausencia de color en las anteras (Cuadro 17); por lo que el tamaño de muestra necesario es mínimo.

Cuadro 21. Tamaño de muestra necesario para describir el carácter, con dos niveles de confianza (95 y 99%) y dos niveles de precisión (5 y 10%).

Clave	CL 1				CPV 20			
	$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$	
	d=5%	d=10%	d=5%	d=10%	D=5%	d=10%	d=5%	d=10%
1	51	14	81	24	1	1	1	1
2	18	5	30	8				
3	37	10	60	17				
Max Valor	51	14	81	24	1	1	1	1

La línea CL 1 presentó una mayor variabilidad, ya que se encontraron tres diferentes tipos de coloración en las anteras, por lo que el tamaño de muestra necesario sería de 14 a 81 plantas.

4.2.3. Comparación de los tamaños de muestra por material.

En el Cuadro 22 se realiza una comparación entre los tamaños de muestra necesarios para caracterizar cada material considerando los caracteres cualitativos evaluados, y tomando en cuenta únicamente el mayor tamaño de muestra en cada carácter.

Cuadro 22. Tamaño de muestra necesario para describir cada carácter dentro de cada material, con dos niveles de confianza (95 y 99%) y dos niveles de precisión (5 y 10%).

Carácter	CML 244				CL 1				CPV 20			
	$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$	
	d=5%	d=10%										
CBG	127	51	160	77	163	59	218	92	194	76	248	116
CG	108	40	142	62	1	1	1	1	149	52	202	82
CE	151	69	181	100	180	68	235	105	78	23	118	38
CA					51	14	81	24	1	1	1	1

CBG = Color en la base de las glumas; CG = Color de las glumas; CE = Color de estigmas; CA = Color de anteras.

Para caracterizar la variabilidad que existe en los caracteres cualitativos para los tres materiales, aplicando el mayor nivel de confianza ($\alpha=0.01$) y de precisión ($d = 5\%$) y considerando el carácter de mayor variabilidad dentro de cada material (puesto que éste es el que requiere del mayor tamaño de muestra para su descripción); se requieren de 181 elementos para la línea CML 244, 235 plantas para la línea CL 1 y de 248 para la variedad CPV 20. Un número de elementos menor implicaría perder precisión y confianza en la descripción varietal de estos materiales; sobre todo en el carácter de mayor variabilidad.

De acuerdo a estos resultados, la variedad CPV 20 fue la que requirió del mayor tamaño de muestra para describir apropiadamente la variabilidad que existe entre sus individuos, debido a que presentó una mayor variación en dos de los cuatro caracteres evaluados (CGB y CG) con respecto a los otros dos materiales.

Las líneas CML 244 y CL 1 tuvieron un comportamiento muy similar también en estos caracteres; aunque en este caso fue CML 244 la que mostró una menor variabilidad entre sus individuos y por lo tanto requirió de un menor tamaño de muestra que CL 1.

Estos resultados se comportaron de acuerdo a lo esperado, ya que el material con el mayor grado de endogamia (CML 244) fue el que requirió del menor tamaño de muestra; y por el contrario, el material con el menor grado de endogamia (CPV 20) requirió de un mayor número de plantas para su caracterización.

En lo que respecta al nivel de confianza y precisión, el mayor tamaño de muestra en todos los materiales y caracteres, fue cuando se utilizó el mayor nivel de confianza (99%) y de precisión (5%); ya que al realizar una caracterización varietal de cualquier material con el objetivo de estar lo más cercano posible a la media verdadera de la población y con el mayor grado de confianza, entonces será necesario muestrear el mayor número de plantas posibles. El menor tamaño de muestra fue cuando se empleó una confianza del 95% y una precisión del 10%.

4.3. Discusión general

De los resultados obtenidos se confirma que el tamaño de muestra necesario para describir una variedad de maíz va a depender del nivel de confiabilidad y precisión que se quiera tener; y también va a estar en función de los caracteres involucrados en la caracterización y de su propia variabilidad. Esto significa que en la caracterización de cualquier tipo de variedad (con diferente grado de endogamia), entre más cerca se pretenda que esté la media de la muestra con relación la media verdadera de la población, y además con un alto nivel de confianza, entonces será necesario caracterizar el mayor número de elementos posibles en la población.

En la evaluación de los caracteres cuantitativos los resultados obtenidos están acordes a lo esperado, ya que fue la variedad CPV 20 la que requirió del mayor tamaño de muestra por tratarse del material con mayor variabilidad genética de los tres bajo estudio, debido a que es de polinización abierta (S_0), y por lo tanto se

requiere para la caracterización del mayor número de elementos para describir lo mejor posible la variabilidad de la población; necesitando 224 plantas, para altos niveles de confianza (99%) y de precisión (5%).

Las líneas tuvieron un comportamiento muy similar entre sí, en la mayoría de los caracteres evaluados; aunque en términos generales CL 1 requirió de un menor tamaño de muestra (en cinco de los ocho caracteres evaluados: LP, NHTF, AIM, DM y DO) que CML 244; resultado que es contrario a lo previsto, ya que CML 244 tiene un mayor grado de endogamia (S_8) que CL 1 (S_4); resultados que pueden atribuirse al hecho de que la línea CL 1 ha sido conducida bajo un buen programa de mantenimiento varietal, a partir de una homogeneización fenotípica previa a su liberación. El tamaño de muestra necesario para caracterizar estos materiales en este tipo de caracteres es de 162 plantas para la línea CL 1 y de 138 para CML 244, con una confianza del 99% y una precisión del 5%.

Estos materiales se comportaron de manera similar en los caracteres cualitativos, toda vez que también fue la variedad CPV 20 la que requiriere del mayor tamaño de muestra con respecto a los otros dos materiales, debido a una mayor variabilidad en dos de los cuatro caracteres evaluados (CBG y CG); aunque también presentó un alto grado de homogeneidad en los caracteres CE y CA, inclusive en este último el 100% de sus individuos presentaron la misma variante (color verde); por lo que ambos caracteres pueden ser marcados como esenciales en la identificación de esta variedad, debido a que pueden ser punto de diferencia con otros materiales.

En los caracteres cualitativos, las líneas CML 244 y CL 1 tuvieron un comportamiento muy similar también, aunque fue CML 244 la que presentó una menor variabilidad entres sus individuos y por lo tanto requirió de un menor tamaño de muestra que CL 1; aunque esta última tuvo un alto grado de homogeneidad entre sus individuos para el carácter CG, ya que el 100 % no presentaron pigmentación en el color de las glumas, por lo que también puede ser marcado como relevante en su identidad.

El tamaño de muestra necesario para la descripción varietal apropiada, considerando en principio los caracteres estudiados, fue de 248 elementos para la variedad CPV 20, 235 para la línea CL 1 y de 181 para la línea CML 244; con una confianza del 99% y una precisión del 5%.

El carácter cuantitativo de mayor variabilidad en los tres materiales fue RTP, con un CV de 31.9 hasta 43.8%, y por lo tanto fue el que requirió del mayor tamaño de muestra que los otros siete caracteres. En este sentido, Márquez (1985) menciona que la alta variabilidad en algunos caracteres puede deberse a los errores de muestreo durante el incremento de las líneas, así como también a los cambios del fenotipo; no obstante, la variabilidad puede ser de origen, y entonces sería conveniente considerar la importancia de este tipo de caracteres en la descripción varietal, y analizar las implicaciones en una reducción del tamaño de muestra. En el caso de que este tipo de caracteres fuera de interés para el fitomejorador y/o productor de semillas, entonces para propósitos de mantenimiento y multiplicación de semillas el tamaño de muestra deberá ser el determinado por su propia variabilidad; ya que los caracteres uniformes no representarían problemas para su manejo (Virgen, 1991).

En lo que respecta a los caracteres cualitativos, no se puede marcar a uno en específico como el más variable, puesto que su comportamiento fue muy diferente entre cada material; no obstante, cabe mencionar que el carácter con menor variabilidad fue CA, debido a que presentó una alta proporción de individuos con una sola variante en la línea CL 1 y en CPV 20.

Estos resultados confirman una de las hipótesis planteadas inicialmente, en el sentido de que la variación, la confiabilidad y la precisión son los factores que van a determinar el tamaño de muestra que permita la estimación de parámetros descriptivos; y ésta va a estar en función del carácter bajo estudio. Esto significa que no existe un tamaño de muestra estándar para caracterizar algún material en especial, sino que más bien este tamaño va a depender de los caracteres involucrados en la

caracterización y de la variabilidad de dichos caracteres. Por lo tanto el tamaño de muestra recomendado para describir una variedad sería aquel que considerara el mayor número de plantas resultado del carácter más variable; con la finalidad de no perder precisión y confiabilidad en la caracterización de dicho carácter en la población, aunque debe hacerse un análisis previo de las implicaciones positivas y negativas con una reducción del número de plantas para la caracterización.

Bajo el contexto de tomar la referencia del carácter más variable, el tamaño de muestra necesario para caracterizar la variabilidad de los tres materiales, considerando los 12 caracteres evaluados en la presente investigación, sería de 181 plantas para la línea CML 244, 235 para la línea CL 1 y de 248 elementos para la variedad CPV 20; con una confianza del 99% y una precisión del 5%. Asimismo se puede establecer que existe una relación directa entre el nivel de endogamia y el tamaño de muestra; debido a que el material con mayor nivel de endogamia (CML 244) fue el que requirió del menor tamaño de muestra; y por el contrario el material con menor endogamia (CPV 20) fue el que requirió del mayor tamaño de muestra.

V. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

1. El tamaño de muestra necesario para caracterizar una población va a estar en función de la confiabilidad, la precisión, el carácter bajo estudio y la variación de la población, por lo que entre mayor sea la confiabilidad, la precisión deseada y la variación; mayor será el número de plantas a muestrear para realizar una buena descripción varietal de dicha población.
2. El tamaño de muestra recomendado para describir un material, será aquel que considere el mayor número de plantas; con la finalidad de no perder precisión y confiabilidad en la descripción de los caracteres más variables en la población.
3. El tamaño de muestra necesario para caracterizar a los materiales considerados en la presente investigación es de 181 plantas para la línea CML 244, 235 para la línea CL 1 y de 248 para la variedad CPV 20; con una confianza del 99% y una precisión del 5%. Estos resultados indican que entre mayor sea el nivel de endogamia de los materiales menor será el tamaño de muestra para caracterizar a dicha población, y viceversa.
4. El carácter cuantitativo de mayor variabilidad en los tres materiales fue Ramas Totales de la Panoja (RTP), con un CV de 31.9 hasta 43.8 %; por lo que es importante ponderar y decidir sobre la conveniencia de considerar como referencia a este tipo de caracteres en la descripción varietal, debido a su alta variabilidad.

VI. BIBLIOGRAFIA

- Bogenschutz**, T. G., and W. A. Russell. 1986. An evaluation for genetic variation within maize inbred lines maintained by sib-mating and self-pollination. *Euphytica* 35: 403-412.
- CIAT**. 1983. Metodología para obtener semillas de calidad. Maíz, frijol, arroz y sorgo. Ed. Unidad de Semillas del CIAT. Cali, Colombia. 200 p.
- Carballo** C., A. y M. Monroy R. 1979. Evaluación de la aptitud combinatoria general y específica de las líneas básicas del Bajío en sus diferentes incrementos para su mantenimiento. *Revista Fitotecnia* 1: 1-6.
- Carballo** C., A. 1992. La calidad genética y su importancia en los cultivos. *In*: Situación actual de la producción, investigación y comercio de semillas en México. Mendoza O, L. E.; E. Favela Ch.; P. Cano R. y J. H. Esparza M. (Eds). Memoria del III Simposio Mexicano sobre semillas agrícolas. Torreón, Coah. México. p. 80 – 94.
- Carballo** C., A. 1993. La calidad genética y su importancia en la producción de semillas. *In*: Situación actual de la producción, investigación y comercio de semillas en México. Mendoza O, L. E.; E. Favela Ch.; P. Cano R. y J. H. Esparza M. (Eds). *Revista SOMEFI*, Chapingo, México. p. 80 – 101.
- Celis** A., H. G. 1985. Problemática de la producción de semilla híbrida de maíz en la Mesa Central de México. *In*: Producción de semillas en México. Mendoza R., M.; A. Carballo C.; L. E. Mendoza O.; A. Estrada G.; P. Ramírez V. y A. Hernández L. (Eds). Memoria de La Reunión Nacional sobre Producción de Semillas en México. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Chapingo, Mex. p. 184 – 208.
- CIMMYT**. 1985. Desarrollo, mantenimiento y multiplicación de semilla de variedades de maíz de polinización libre. El Batán, México. 11 p.
- Cisneros** D., J. 1985. Problemática de la producción de semilla de los cultivos básicos (maíz, frijol, trigo y arroz). *In*: Producción de semillas en México. Mendoza R., M.; A. Carballo C.; L. E. Mendoza O.; A. Estrada G.; P. Ramírez V. y A. Hernández L. (Eds). Memoria de la Reunión Nacional sobre Producción de Semillas en México. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Chapingo, México. pp. 34 – 49.
- Copeland**, L. O. and M. B. McDonald. 1995. Principles of seed science and technology. Burgess Publishing Company. Minneapolis, Minnesota. 369 p.

- Crossa**, J. 1988. Theory and practice in determining sample size for conservation of maize germoplasm. *In* CIMMYT. Recent advances in the conservation and utilization of Genetic Resources. Proc. of the Global Maize Germoplasm Workshop. México, D.F. p 149-154.
- Delouche**, J. C. 1969. Programas de semillas genética y básica. Universidad de Mississippi. USA. Resúmenes.
- Douglas** J., E. 1991. Programa de semillas, Guía de planeación y manejo. Trad. de la 1ª edición en inglés; 2ª reimpresión. CIAT, Cali, Colombia. 357 p.
- Falconer** D.,S. 1981. Introducción a la genética cuantitativa. Traducción del inglés por Fidel Márquez Sánchez. Editorial CECSA. México. 430 p.
- García**, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 3ª Ed. México. 246 p.
- George** R., A. 1983. Guía para la tecnología de semillas de hortalizas. FAO. Roma. 33 p.
- Gómez** A., R. 1977. Introducción al muestreo estadístico. Tesis M.C. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 259 p.
- Hartman**, H. T. y D. E. Kester. 1981. Propagación de plantas. Principios y prácticas. Editorial CECSA, México. 814 p.
- Jugenheimer** R., W. 1981. Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Traducción del inglés por R. Piña G. 1ª ed. Editorial Limusa. México. 841 p.
- Keefe**, P. D. and S. R. Draper. 1986. The measurement of new characters for cultivar identification in wheat using machine vision. *Seed Sci. and Technology* 4:715-724.
- Márquez** S., F. 1972. Tamaño de muestra para representar poblaciones de maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia*: 163 – 178.
- Márquez** S., F. 1985. Genotecnia vegetal. Métodos, teoría y resultados. Tomo I. AGT Ed. S.A. México. 357 p.
- Muñoz** G., G. Giraldo, J. Fernández de Soto. 1993. Descriptores varietales: arroz, frijol, maíz y sorgo. Pub. No. 177. CIAT. Cali, Colombia. 174 p.
- Omolo**, E. and W. A. Russel. 1971. Genetic effects of population size in the reproduction of two heterogeneous maize populations. *Iowa State Journal of Science* 45: 499-512.

- Orozco M., F. de J.** 1990. Tamaño de muestra para descripción varietal en líneas endogámicas de maíz (*Zea mays* L.). Tesis M.C. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 102 p.
- Pauksens, J. and N. S. Dhesi.** 1975. Cultivar verification methods used in Canada. *Seed Sci. and Technology* 6: 585 – 592.
- Rivas A., A. O.** 1988. Identidad varietal en maíz en relación con la estabilidad de diversos caracteres. Tesis M.C. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 112 p.
- Roelofsen, H.** 1982. Genetic conservation by regeneration. In: E. Porceddu and G. Jenkins (Eds). *Seed regeneration in cross pollinated species. Proceeding of the CEC/Eucarpia Seminar.* Rotterdam. pp 151 – 164.
- Russell, W. A. and U. A. Vega.** 1973. Genetic stability of quantitative characters in successive generation in maize inbred lines. *Euphytica*. 22: 172 – 180.
- Scheaffer, L. R.; W. Mendenhall y L. Ott.** 1987. Elementos de muestreo. Traducción de la 3ª edición en inglés por Gilberto Rendón y José R. Gómez. Grupo Editorial Iberoamérica S.A. de C.V.. Chapingo, México. pp. 306-309.
- Simental S., F. J.** 1978. Pureza varietal. Ponencia del VII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitogenética. PRONASE – SARH. Villahermosa, Tabasco.
- Smith, J. S. C. and O. S. Smith.** 1989. The description and assessment of distance between inbred lines of maize: I. the use of morphological traits as descriptors. *Maydica* 34: 141-150.
- Sneep, J. and A. J. T. Hendriksen.** 1979. Plant breeding perspectives. Centre for agricultural publishing and documentation. Wageningen. 435 p.
- SNICS.** 2001. Manual gráfico para la descripción varietal del maíz (*Zea mays* L.). 1ª edición.
- Vera C., J.** 1998. Descripción y mantenimiento de la identidad en la variedad de maíz CPV 20 (PL). Tesis M.C. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 101 p.
- Virgen V., J.** 1991. Caracterización de genotipos de maíz y su utilidad en el mantenimiento varietal. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 100 p.