



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

**“PARÁMETROS GENÉTICOS Y RESPUESTA A LA SELECCIÓN EN UN
COMPUESTO DE MAIZ MORADO (*Zea mays* L.) CANAÁN 2735 msnm,
AYACUCHO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

AUTOR:

QUISPE TENORIO JOSE ANTONIO

ASESOR:

DR. SÁNCHEZ SOTOMAYOR SEGUNDO RAMIRO

JURADO:

DR. JAVE NAKAYO JORGE LEONARDO

DR. BOLIVAR JIMENEZ JOSÉ LUIS

DR. MALPARTIDA CANTA ROMMEL

LIMA - PERÚ

2020

Dedicatoria

A mis queridos hijos Mardonio, Lilia
e Isabel y a mi querida esposa
Haydée.

A la memoria de mis queridos padres
Elodia y Arturo y a mis queridos
hermanos Lourdes, César y Martha.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional Federico Villareal – Escuela Universitaria de Posgrado, por la formación académica, científica y humanística en mis estudios de doctorado en medio ambiente y desarrollo sostenible.

A mi asesor Dr. Segundo Sánchez Sotomayor, por su valiosa contribución en las distintas etapas de la presente investigación.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por el apoyo brindado en la ejecución del presente estudio.

A mis profesores del doctorado de medio ambiente y desarrollo sostenible de la Universidad Nacional Federico Villarreal, por sus valiosas enseñanzas.

Índice general

| | Página |
|---|--------|
| Dedicatoria | ii |
| Agradecimiento | iii |
| Índice general | iv |
| Índice de tablas | vi |
| Índice de figuras | viii |
| Resumen | ix |
| Abstract | x |
| Résumé | xi |
| | |
| I. Introducción | 1 |
| | |
| 1.1. Planteamiento del problema | 2 |
| 1.2. Descripción del problema | 3 |
| 1.3. Formulación del problema | 5 |
| 1.4. Antecedentes | 6 |
| 1.5. Justificación de la investigación | 12 |
| 1.6. Limitaciones de la investigación | 14 |
| 1.7. Objetivos | 15 |
| 1.8. Hipótesis | 16 |
| | |
| II. Marco teórico | 17 |
| | |
| 2.1. Marco conceptual | 17 |
| 2.2. Características del maíz de libre polinización | 20 |
| 2.3. Selección masal | 23 |
| | |
| III. Método | 26 |
| | |
| 3.1 Tipo de investigación | 26 |
| 3.2. Población y muestra | 26 |

| | |
|--------------------------------------|----|
| 3.3. Operacionalización de variables | 27 |
| 3.4. Instrumentos | 30 |
| 3.5. Procedimientos | 33 |
| 3.6. Análisis de datos | 33 |
| | |
| IV. Resultados | 39 |
| 4.1. Contrastación de hipótesis | 39 |
| 4.2. Análisis e interpretación | 40 |
| | |
| V. Discusión de resultados | 53 |
| 5.1. Discusión | 53 |
| | |
| VI. Conclusiones | 61 |
| | |
| VII. Recomendaciones | 63 |
| | |
| VIII. Referencias | 64 |
| | |
| IX. Anexos | 69 |

Índice de tablas

| | Página |
|---|--------|
| Tabla 1. Variancia genética (σ_G^2), variancia fenotípica (σ_P^2) y heredabilidad (h^2) de caracteres de mazorca de dos poblaciones de maíz | 7 |
| Tabla 2. Rendimiento (q/ha), variancia fenotípica (σ_P^2), genotípica (σ_G^2) y heredabilidad (h^2) de cuatro poblaciones | 9 |
| Tabla 3. Componentes de variancia, heredabilidad y selección del peso de mazorca de maíz morado (<i>Zea mays</i> L.) variedad A, por ciclo de selección | 11 |
| Tabla 4. Promedio de caracteres de mazorca de tres variedades de maíz morado | 11 |
| Tabla 5. Componentes de variancia, heredabilidad y selección del peso de mazorca de maíz morado (<i>Zea mays</i> L.) Compuesto B, por ciclo de selección | 12 |
| Tabla 6. Operacionalización de variables independiente, dependientes e intervinientes | 28 |
| Tabla 7. Análisis de variancia | 34 |
| Tabla 8. Cuadrados medios del análisis de variancia de nueve caracteres de la mazorca de maíz morado (<i>Zea mays</i> L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho | 42 |
| Tabla 9. Componentes de variancia de nueve caracteres de la mazorca de maíz morado (<i>Zea mays</i> L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho | 43 |
| Tabla 10. Heredabilidad y selección de nueve caracteres de la mazorca de maíz morado (<i>Zea mays</i> L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho | 45 |
| Tabla 11. Coeficientes de correlación entre caracteres de mazorca de maíz morado (<i>Zea mays</i> L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho | 47 |
| Tabla 12. Análisis de variancia de la regresión lineal múltiple con selección de variables por el método Stepwise del peso de mazorca sobre el diámetro de mazorca y longitud de mazorca en maíz morado (<i>Zea mays</i> L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho | 48 |
| Tabla 13. Análisis de variancia de los coeficientes de regresión lineal múltiple del peso de mazorca sobre el diámetro de mazorca y longitud de mazorca en maíz morado (<i>Zea mays</i> L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho | 49 |

| | |
|--|----|
| Tabla 14. Resumen de selección Stepwise con las variables diámetro de mazorca y longitud de mazorca incluidas en maíz morado (<i>Zea mays</i> L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho | 49 |
| Tabla 15. Peso de mazorca (g) de maíz morado (<i>Zea mays</i> L.) para valores diferentes de diámetro de mazorca (mm) y longitud de mazorca (mm). Canaán 2735 msnm, Ayacucho | 50 |
| Tabla 16. Distribución de frecuencias del N° de hileras de granos y diámetro de tusa de maíz morado (<i>Zea mays</i> L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho | 54 |

Índice de figuras

| | Página |
|---|--------|
| Figura 1. Esquema de la parcela experimental | 30 |
| Figura 2. Unidad de análisis | 31 |
| Figura 3. Esquema del campo de cultivo | 32 |
| Figura 4. Histograma de frecuencias del peso de 600 mazorcas de maíz morado (<i>Zea mays</i> L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho | 46 |
| Figura 5. Histograma de frecuencias del diámetro de 600 mazorcas de maíz morado (<i>Zea mays</i> L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho | 51 |
| Figura 6. Histograma de frecuencias de la longitud de 600 mazorcas de maíz morado (<i>Zea mays</i> L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho | 52 |
| Figura 7. Regresión de peso de mazorca (g) de maíz morado (<i>Zea mays</i> L.) sobre longitud de mazorca (mm) y diámetro de mazorca (mm). Canaán 2735 msnm, Ayacucho | 52 |
| Figura 8. Regresión del peso de tusa (X) sobre el N° de hileras de granos (Y) en maíz morado (<i>Zea mays</i> L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho | 54 |
| Figura 9. Progreso del peso de mazorca de maíz morado (<i>Zea mays</i> L.) por ciclo de selección. Canaán 2735 msnm, Ayacucho | 57 |

Resumen

Se estudió una población de maíz morado “Compuesto A”, de seis ciclos de selección masal, con el objetivo de evaluar componentes de variancia y heredabilidad de caracteres de productividad de mazorca, para mejorar la base genética y rendimiento de mazorca. El cultivo se estratificó en 60 parcelas, con 60 plantas por parcela, para reducir la variación ambiental, se tomó la mazorca superior de 10 plantas por parcela, fenotípicamente de mayor longitud y diámetro, de las cuales se seleccionaron 5 mazorcas de mayor peso. La heredabilidad fue significativa para longitud de mazorca (0.936), diámetro de mazorca (0.958), diámetro de tusa (0.982), hileras de granos (0.989), granos por hilera (0.952), peso de 1000 granos (0.945), peso de mazorca (0.946), peso de grano (0.956) y peso de tusa (0.964). El promedio observado del peso de mazorca se incrementó de 133.11 a 142.6 gramos / seis ciclos, atribuido a la selección de genotipos superiores. La ganancia por selección ajustada por regresión fue de 2.65 gramos / mazorca / ciclo, con un incremento esperado de 13.25 y observado de 9.44 gramos / mazorca / seis ciclos. El peso de mazorca estuvo asociado positivamente con la longitud de mazorca, diámetro de mazorca, diámetro de tusa, hileras de granos, granos por hilera, peso de 1000 granos, peso de grano por mazorca y peso de tusa. El peso de mazorca estuvo determinado por el diámetro de mazorca ($r^2 = 0.348$), seguido de la longitud de mazorca ($r^2 = 0.700$), después de incorporado el diámetro de mazorca.

Palabras clave. Selección masal, heredabilidad, ganancia por selección.

Abstract

A population of purple corn "Compound A" was studied, with six cycles of mass selection, with the objective of evaluate components of variance and heritability of ear productivity characters, to improve the genetic base and the ear yield. The crop was stratified into 60 plots, with 60 plants per plot, to reduce environmental variation, the upper ear was taken from 10 plants per plot, phenotypically larger in length and diameter, of which 5 ears were selected for having greater weight. Heritability was significative for ear length (0.936), ear diameter (0.958), cob diameter (0.982), rows per ear (0.989), kernels per row (0.952), weight of 1000 grain (0.945), weight of ear (0.946), kernel weight (0.956) and cob weight (0.964). The observed average weight of ear increased from 133.11 to 142.6 grams / six cycles, attributed to the selection of superior genotypes. The gain per selection adjusted by regression was 2.65 grams / ear / cycle, with an expected increase of 13.25 and observed of 9.44 grams / ear / six cycles. The weight of ear was positively associated with ear length, ear diameter, cob diameter, rows per ear, kernels per row, weight of 1000 grain, grain weight per ear and cob weight. The ear weight was determined by the ear diameter ($r^2 = 0.348$), followed by the ear length ($r^2 = 0.700$), after incorporating the cob diameter.

Key words. Mass selection, heritability, gain by selection.

Résumé

Une population de maïs pourpre “Composite A” a été étudiée, de six cycles de sélection massale, avec l’objectif d’évaluer les composantes de variance et d’héritabilité des facteurs de productivité de l’épi, afin d’améliorer la base génétique et le rendement de l’épi. La culture a été stratifiée en 60 parcelles, avec 60 plants par parcelle, afin de réduire la variation environnementale, l’épi supérieur a été prélevé sur 10 plants par parcelle, phénotypiquement de longueur et de diamètre supérieur, à partir desquels les 5 épis de poids supérieur furent sélectionnés. L’héritabilité a été significative pour la longueur de l’épi (0.936), le diamètre de l’épi (0.958), le diamètre du cob (0.982), les rangées par épi (0.989), les grains par rangée (0.952), le poids de 1000 grains (0.945), le poids de l’épi (0.946), le poids du grain (0.956) et le poids du cob (0.964). La moyenne observée du poids de l’épi a augmenté de 133.11 à 142.6 grammes / six cycles, attribué à la sélection de génotypes supérieurs. Le gain d’une sélection ajustée par régression fut de 2.65 grammes / épi / cycle, avec une augmentation espérée de 13.25 et observée de 9.44 grammes / épi / six cycles. Le poids de l’épi a été associé positivement à la longueur de l’épi, diamètre de l’épi, diamètre du cob, rangée par épi, grains par rangée, poids de 1000 grains, poids du grain par épi et poids du cob. Le poids de l’épi a été déterminé par le diamètre de l’épi ($r^2 = 0.348$), suivi de la longueur de l’épi ($r^2 = 0.700$), après avoir incorporé le diamètre de l’épi.

Mots-clés: Sélection massale, héritabilité, gain par sélection.

I. Introducción

La producción de mazorcas de maíz morado a nivel nacional y en la región Ayacucho se incrementó en los últimos diez años, asociado al incremento de la superficie cultivada, no obstante, en la región Ayacucho el rendimiento por hectárea continúa siendo bajo. Congruente con esta situación, existe una creciente demanda para la exportación a países como Estados Unidos, España, Ecuador, Bélgica, Chile, Japón, Italia y Canadá (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2019). Por otra parte, el maíz morado es valorado debido a que actúa como antioxidante natural y anticancerígeno, teniendo además propiedades funcionales debido a sus compuestos bioactivos (Guillén, Mori y Paucar, 2014). Los valles interandinos de la región Ayacucho presentan características favorables para el cultivo de maíz morado y ocupa el segundo lugar en superficie cultivada después de Lima, por tanto el incremento de la producción de mazorcas de maíz en esta región se daría en caso se mejore el rendimiento por hectárea. También se conoce que la base genética de la producción de maíz morado en la región Ayacucho se realiza mayormente en base a las variedades PMV 581 de la Universidad Nacional Agraria La Molina e INIA 615 del Instituto Nacional de Innovación Agraria, lo cual implica una reducida base genética. Para mejorar el rendimiento y la base genética se estudió una población de maíz morado “Compuesto A”, de seis ciclos de selección masal, con el objetivo de evaluar componentes de variancia y heredabilidad de caracteres de productividad de mazorca. En el presente texto se tratan los elementos de la investigación, destacándose el método en forma detallada en la tercera parte. Los resultados se exponen en la cuarta parte, en esta, la metodología permite analizar principalmente el carácter rendimiento de mazorcas y sus parámetros de componentes de variancia, heredabilidad y respuesta a la selección. Se presentan los resultados y se discuten, se hacen conclusiones y finalmente se realizan recomendaciones.

1.1. Planteamiento del problema

El maíz morado se produce en 10 regiones del Perú: Ancash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Huánuco, Ica, La Libertad, Lima y Moquegua. Entre los años 2007 a 2017, la producción nacional paso de 10509 a 23092 toneladas, representó 120 % de incremento. En la región Ayacucho la producción paso de 2073 toneladas en el año 2014 a 2960 en el 2017, representó 43 % de incremento. Ayacucho es el segundo en superficie cultivada, alcanzando 826 hectáreas en el año 2017, después de Lima, con 1226 hectáreas. Sin embargo en Ayacucho, se registraron los más bajos rendimientos, variaron de 3013 a 3941 kg/ha entre los años 2014 a 2017, en este periodo los mayores rendimientos se dieron en Huánuco, Moquegua y Lima con 6809 a 7109 kg/ha (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2019). Por otra parte, en los valles interandinos de Ayacucho, Apurímac, Junín y Huancavelica el cultivo de maíz morado se realiza mayormente en base a las variedades PMV 581 de la Universidad Nacional Agraria La Molina e INIA 615 del Instituto Nacional de Innovación Agraria, lo cual implica una reducida base genética.

Para la práctica de una producción agrícola sostenible se requiere mejorar la base genética del cultivo de maíz morado y mejorar el rendimiento de mazorcas.

Sobre el primer aspecto existen experiencias clásicas de como una agricultura con reducida base genética se contrapone al desarrollo sostenible en este sector agrícola, en tal sentido, Pérez y Forbes (2008), refieren que:

El tizón tardío de la papa causado por *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, es una de las enfermedades más devastadoras de la papa a nivel mundial. En 1845 causó en Irlanda la destrucción total de los campos de papa, que eran la principal fuente alimenticia de ese país, produciendo la muerte de miles de personas y la migración de muchos sobrevivientes a otros lugares de Europa y Norte América. (p. 9)

Varios especialistas opinan que uno de los factores que exacerbó la catástrofe fue el uso de una sola variedad en el cultivo de la papa en Irlanda, que de haber sido de una mayor base genética se hubiera reducido los efectos.

En otro caso Food and Agriculture Organization (FAO, 2016), cita a Zhu et al., (2000), quienes señalan:

En China, los agricultores que cultivaron cuatro diferentes combinaciones de variedades de arroz sufrieron una incidencia de enfermedades un 44 % menor y obtuvieron rendimientos un 89 % mayores en comparación con los campos de una sola variedad, y sin la necesidad de utilizar fungicidas. (p. 58)

Esta evidencia muestra uno de los beneficios de la ampliación de la base genética en la agricultura.

El segundo aspecto repercute en el incremento de la producción de mazorcas de maíz, el mismo que se puede obtener, aumentando las áreas de cultivo o el incremento de la producción por unidad de área (rendimiento), este último se consigue mediante el mejoramiento genético del rendimiento y el uso adecuado de labores agrícolas en los ambientes apropiados (Camarena, Chura, & Blas, 2012)

1.2. Descripción del problema

El maíz morado se cultiva en ecosistemas de costa y sierra del Perú, en la sierra en los valles interandinos hasta los 3200 msnm (Salhuana, 2019), estos valles pertenecen al ecosistema quechua (Pulgar, 2014). La población de estos lugares depende principalmente de la actividad agropecuaria. El clima es templado y seco, con una temperatura media mensual entre 12 °C (junio) y 25 °C (noviembre), humedad relativa media de 60 %, la precipitación media anual varía entre 450 a 650 mm y el periodo de lluvias está comprendido entre los meses de noviembre a marzo (Gobierno Regional de Ayacucho [GRA], 2012)

El cultivo de maíz morado es predominantemente estacional, depende de las precipitaciones que ocurren entre los meses de noviembre a marzo, recientemente, se vienen incorporando sistemas de riego tecnificado en menor escala. La productividad media de mazorcas de maíz morado fue de 3013 y 3584 kg/ha en los años 2016 y 2017 respectivamente, ocupando el último lugar en el ranking de rendimientos en el Perú después de Cajamarca con 3860 kg/ha en el año 2017 y muy por debajo de Lima que ocupó el primer lugar con 6991 kg/ha en el año 2017 (MINAGRI, 2019)

Considerando que todas las variedades de maíz morado se originan de la raza “Kculli” (Oscanoa & Sevilla, 2010), la adaptación de las variedades PMV 581 e INIA 615 a medios ecológicos específicos, implica una reducida base genética en los lugares de cultivo, dicha situación en una agricultura sostenible es un factor de riesgo, debido a que favorece los efectos perjudiciales de plagas, enfermedades y climas adversos, que pueden ocasionar grandes pérdidas económicas (Martínez-Rodríguez, Viguera, Donatti, Harvey, & Alpizar, 2017); en armonía con esta teoría la baja productividad de mazorcas de maíz morado en la región Ayacucho, entre otros múltiples factores se debería a la limitada diversificación del cultivo y la ausencia de selección genotípica para producir variedades de mayor rendimiento en diversos ecosistemas; otros factores asociados a la baja productividad son, calidad de la semilla, labores culturales, riego tecnificado, época de siembra y zona de cultivo. La formación de una variedad de maíz morado por selección masal, implica la estimación de parámetros genéticos de los componentes de variancia y heredabilidad de caracteres de productividad de mazorca, para el mejoramiento de la base genética y el rendimiento de mazorca, expresada como ganancia por selección (Camarena et al., 2012).

Para mejorar la productividad de mazorcas de maíz morado por selección masal y otras formas de mejoramiento de caracteres cuantitativos se requiere contar con una población genéticamente variable. Considerando que el maíz morado utilizado en el presente estudio es

una población de libre polinización, es predominantemente heterocigota, diversa y en equilibrio de Hardy-Weinberg (Poehlman & Allen, 2005), estas cualidades implican que se debe cuantificar los componentes de variancia (variancia genética, variancia ambiental y variancia fenotípica) de los caracteres de productividad de la mazorca (longitud de mazorca, diámetro de mazorca, diámetro de tusa, N° de hileras de granos, N° de granos por hilera, peso de 1000 granos, peso de mazorca, peso de grano y peso de tusa).

Conocido los componentes de variancia queda determinada la heredabilidad para los caracteres de productividad de la mazorca, se sabe que el material genético estudiado tiene una alta heredabilidad (Quispe S. , 2017), el cual se mantiene en este ciclo de selección, lo que producirá una respuesta a la selección favorable y como consecuencia el mejoramiento de la productividad de mazorcas de maíz morado.

1.3. Formulación del problema

- Problema general

¿Cómo los parámetros genéticos de componentes de variancia y heredabilidad de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos por selección masal, se traduce en el mejoramiento de la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado?

- Problemas específicos

1. ¿Cómo los parámetros genéticos de componentes de variancia de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos mediante selección masal, se traduce en el mejoramiento de la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado?

2. ¿Cómo el parámetro genético de heredabilidad de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos mediante selección masal, se traduce en el mejoramiento de la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado?

1.4. Antecedentes

- Antecedentes internacionales

Los componentes de variancia y heredabilidad en maíz de libre polinización fueron estudiados por varios investigadores, Prado (2019), refiere que, Ali y Saleh (2003):

Evaluaron componentes de variancia, heredabilidad en el sentido amplio y la respuesta a la selección en dos poblaciones de maíz tropical de libre polinización en dos ciclos de selección masal, seleccionaron el 20 % superior de longitud de mazorca en los dos ciclos. Para la longitud de mazorca la población Manis Madu resultó con promedios de 10.1, 12.5 y 14.5 cm en orden de los ciclos base, primero y segundo, heredabilidad de 30 y 80 % en orden de los ciclos base y primero, la respuesta a la selección predicha fueron 19.31 y 21.52 % en orden de los ciclos primero y segundo, haciendo un acumulado de 45.94 %. En el caso de la población Manis Madu x SSC 240 resultó con promedios de 10.9, 12.2 y 16.6 cm en orden de los ciclos base, primero y segundo, heredabilidad de 30 y 72 % en orden de los ciclos base y primero, la respuesta a la selección predicha fueron 16.79 y 23.61 % en orden de los ciclos primero y segundo, haciendo un acumulado de 43.21 %. Evaluaron componentes de variancia de caracteres de mazorca, los mismos que se resumen en la tabla 1, seleccionaron por longitud de mazorca, en el genotipo Manus Madu, no encontraron correlación significativa entre el peso de mazorca y longitud de mazorca o diámetro de mazorca, pero si con el N° de granos por hilera; en el genotipo

Manus Madu x SSC 240, el peso de mazorca estuvo correlacionado significativamente con diámetro de mazorca y no con longitud de mazorca o N° de granos por hilera. (p. 18)

Tabla 1

Variación genética (σ_G^2), variación fenotípica (σ_P^2) y heredabilidad (h^2) de caracteres de mazorca de dos poblaciones de maíz.

| Carácter | Manis Madu | | | Manis Madu x SSC 240 | | |
|-------------------------|--------------|--------------|-------|----------------------|--------------|-------|
| | σ_G^2 | σ_P^2 | h^2 | σ_G^2 | σ_P^2 | h^2 |
| Peso de mazorca | 32.82 | 272.77 | 12.0 | -56.25 | 512.34 | -11.0 |
| Longitud de mazorca | 0.07 | 0.34 | 19.4 | 0.04 | 0.10 | 39.0 |
| Diámetro de mazorca | -0.08 | 0.89 | -8.4 | -0.06 | 1.86 | -3.1 |
| N° de hileras / mazorca | -0.02 | 0.12 | -12.0 | -0.01 | 0.14 | -4.7 |
| N° de granos por hilera | 2.32 | 4.21 | 55.0 | 0.04 | 1.01 | 4.1 |

Nota. Fuente: Ali y Saleh (2003) mencionados por Prado (2019, p. 18)

Prado (2019), además refiere que, Biasutti, Peiretti, Nazar y Alemanno (2004):

Estudiaron una población de maíz de libre polinización, mediante selección masal estratificada, la población fue seleccionada por prolificidad en tres ambientes diferentes de la Provincia de Córdoba, Argentina: Campo Escuela de la F.C.A. (CE), Villa de Soto (ST) y Deán Funes (DF). Luego de cuatro ciclos de selección en cada ambiente, se evaluó la respuesta directa a la selección y la indirecta a través de los cambios en el intervalo entre anthesis y extrusión de estigmas y el rendimiento en grano. La respuesta promedio para prolificidad en CE fue de 4,21 % por ciclo. La respuesta para rendimiento fue de 7,92 % y de 3,7 % por ciclo para CE y ST, respectivamente. El intervalo de floración en CE presentó una reducción significativa de 1,63 días entre el C0 y el C4 obtenidos, lo que representó una respuesta de -21,4 % por ciclo. La selección masal por prolificidad fue efectiva para incrementar el rendimiento cuando se realizó en un ambiente favorable para la expresión del carácter. (p. 19)

Espinoza W. (2019) refiere que Ngandu-Nyindu (1981):

Evaluó la variedad de maíz de libre polinización Krug (BSK), después de completar 14 ciclos de selección masal estratificada. El progreso de la selección masal se determinó evaluando las poblaciones per se [original (CO) y los ciclos de selección (C2, C4, C14)] y dos conjuntos de cruces de prueba (Cn x CO y Cn x B73). Estos materiales se cultivaron en nueve lugares de Iowa en 1978, 1979 y 1980. Los análisis de regresión se realizaron en ciclos de selección para obtener las estimaciones del progreso genético de la selección masal. Para el rendimiento de grano, se obtuvieron respuestas lineales positivas significativas para las poblaciones per se y las poblaciones x CO, pero no para las poblaciones x B73. La falta de respuesta observada para las poblaciones x B73 se debió a los efectos amortiguadores de los alelos de la B73 por endogamia. Aunque se detectó un cambio significativo a lo largo de los ciclos para el rendimiento de grano, la respuesta fue considerablemente más baja (aproximadamente la mitad q/ha) en comparación con los informados por otros investigadores. Antes de la selección masal, se iniciaron dos programas simultáneos de selección recurrente en la variedad Krug (BSK). En 1979, se cultivaron plantas en el vivero del Centro de Investigación de Agronomía de Ames para cada una de las siguientes cuatro poblaciones: el Krug CO original, el 14° ciclo de selección de masal [BSK(M)C14], el 8° ciclo de selección de medios hermanos [BSK(HI)C8], y el octavo ciclo de evaluación de la progenie s1 [BSK(S)C8]. En la floración, aproximadamente 250 plantas se autofecundaron en cada una de estas cuatro poblaciones para producir líneas s1 no seleccionadas. Solo 100 mazorcas bien llenas de cada población fueron recubiertas individualmente para obtener semillas para la evaluación de las líneas s1. Las 400 líneas s1 (100 de cada una de las cuatro poblaciones) se evaluaron en 1980 en cuatro ubicaciones de Iowa; Ames Agronomy Research Center, Ames Hinds Farm, Ankeny y Martinsburg. Las entradas se agruparon en 10 conjuntos de 40 líneas s1, cada conjunto con 10 líneas de cada población. Cada línea se replicó dos

veces y los conjuntos con las mismas entradas se organizaron adyacentes en cada experimento. Las poblaciones se asignaron al azar dentro de cada replicación y las líneas se asignaron al azar dentro de cada población. Se utilizaron parcelas de una sola fila de 508 x 76 cm para cada experimento. Todas las parcelas fueron sobreplantadas y raleadas a 17 plantas por parcela por cada línea s1. Los resultados del análisis genético se dan en la tabla 2. (p. 14)

Tabla 2

Rendimiento (q/ha), variancia fenotípica (σ_P^2), genotípica (σ_G^2) y heredabilidad (h^2) de cuatro poblaciones.

| Población | Rendimiento | σ_P^2 | σ_G^2 | h^2 |
|--------------|-------------|--------------|--------------|-------|
| Krug C0 (P1) | 29.07 | 74.99 | 62.50 | 83 |
| Krug M (P2) | 27.08 | 77.51 | 65.50 | 84 |
| Krug HI (P3) | 47.38 | 57.83 | 52.91 | 91 |
| Krug S (P4) | 49.43 | 40.57 | 27.99 | 69 |

Nota. Fuente: Ngandu-Nyindu (1981), citado por Espinoza W. (2019, p. 14)

Espinoza W. (2019) también refiere que Márquez (1992):

Elaboró un resumen de respuesta a la selección masal en maíz de libre polinización, para rendimiento de grano, de 27 poblaciones en 27 investigaciones en siete países, entre los años 1961 a 1978, el porcentaje de respuesta a la selección por ciclo encontrado en dichas investigaciones fueron: para 1 ciclo, 2 estudios con 3.00 y 17.00 %, para 2 ciclos, 2 estudios con -6.90 y 9.64 %; para 3 ciclos, 9 estudios con 3.54 a 17.00 %; para 4 ciclos, 5 estudios con 2.85 a 12.00 %; para 5 ciclos 3 estudios con 1.66 a 5.08 %; para 6 ciclos, 1 estudio con 0.50 %; para 7 ciclos, 1 estudio con 4.80 %; para 10 ciclos, 3 estudios con 2.60 a 6.80 % y para 11 ciclos, 1 estudio con 2.67 %. (p. 15)

Rattunde (1988) citado por Espinoza W. (2019), refiere que:

La regresión múltiple ofrece una alternativa para identificar los caracteres que mejor predicen el valor genético de los genotipos seleccionables para el rendimiento de grano. Con este método, el rendimiento de grano se reduce a grupos de caracteres candidatos y el mejor grupo es el que da el coeficiente de determinación más alto. (p. 15)

Shrestha, Kunwar y Bhandari (2018), estudiaron el progreso en el rendimiento de grano de nueve genotipos de maíz de libre polinización, como efecto de cinco ciclos de selección masal. La población de maíz original y la población derivada después de cinco ciclos de selección masal se sembraron para comparación en el campo de investigación del Programa Nacional de Investigación de Maíz, Rampur, Chitwan, Nepal, durante la temporada de invierno 2011-2012. Los resultados mostraron la superioridad fenotípica de la población seleccionada sobre la población original en 8 genotipos, con incrementos entre 1.70 a 28.40 %; en un genotipo se observó reducción en el rendimiento en -17.45 %.

- **Antecedentes nacionales**

En el año 2011, en un programa de selección masal recurrente se inició el primer ciclo de selección (C1) de una población de maíz morado procedente del departamento de Arequipa, denominado “Compuesto A” (Prado, 2019), cultivándose esta en la campaña agrícola 2011-2012, completándose cinco ciclos en las campañas agrícolas 2012-2013 (C2) (Valenzuela, 2014), 2013-2014 (C3) (Quispe Y. , 2019), 2014-2015 (C4) (Apaico, 2019) y 2015-2016 (C5) (Quispe S. , 2017). Todos los ciclos de selección se realizaron utilizando la metodología de “selección masal estratificada”. Los resultados de componentes de variancia, heredabilidad y selección para cuatro ciclos se presentan en la tabla 3.

Salinas (2015), evaluó tres poblaciones de variedades de maíz morado, en la campaña agrícola 2012-2013, se obtuvieron mediciones de caracteres de mazorca (tabla 4). La variancia ambiental, genética, fenotípica y heredabilidad, para la longitud de tusa fue de 0.08, 0.22, 0.30

y 0.33 respectivamente. La respuesta a la selección fue de 1.06, 0.88 y 1.11 para las variedades PMV 581, Compuesto A y INIA 615 respectivamente, que representaron 7, 6 y 7 % de mejora en el orden de las variedades señaladas. El peso de tusa estuvo relacionado significativamente con el diámetro de tusa y longitud de tusa ($R^2 = 0.417$).

Tabla 3

Componentes de variancia, heredabilidad y selección del peso de mazorca de maíz morado (Zea mays L.) Compuesto A, por ciclo de selección.

| Componente | | Ciclo | | | |
|----------------------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| | | C1 | C2 | C3 | C5 |
| Variancia genética | σ_G^2 | 406.47 | 557.52 | 330.12 | 328.08 |
| Variancia ambiental | σ_P^2 | 101.24 | 28.90 | 100.67 | 26.09 |
| Variancia fenotípica | σ_F^2 | 507.71 | 586.43 | 430.79 | 354.16 |
| Heredabilidad | h^2 | 0.94 | 0.95 | 0.77 | 0.93 |
| Promedio población | \bar{Y}_0 | 133.11 | 126.58 | 127.58 | 139.19 |
| Ganancia por selección predicha | GS | 9.01 | 7.13 | 5.13 | 6.16 |
| Porcentaje de mejora predicha | %GS | 6.76 | 5.63 | 4.02 | 4.43 |
| Ganancia por selección observada | GSO | | -6.52 | 1.00 | 11.61 |
| Porcentaje de mejora observada | %GSO | | -0.05 | 0.79 | 9.10 |

Nota. Fuente: Prado (2019), Quispe (2019), Quispe (2017) y Valenzuela (2015)

Tabla 4

Promedio de caracteres de mazorca de tres variedades de maíz morado.

| Carácter | Variedad | | |
|-----------------------|----------|-------------|----------|
| | PMV 581 | Compuesto A | INIA 615 |
| Longitud de tusa (mm) | 179.6 | 175.3 | 173.7 |
| Diámetro de tusa (mm) | 2.1 | 2.1 | 2.0 |
| Peso de mazorca (g) | 142.0 | 148.6 | 151.8 |
| Peso de grano (g) | 123.7 | 130.3 | 134.5 |
| Peso de tusa (g) | 18.3 | 18.3 | 17.3 |

Nota. Fuente: Salinas (2014)

Paralelamente, se inició un segundo programa de selección masal recurrente en el año 2012 (Salinas, 2014), se instaló un campo con dos surcos de las variedades PMV 581, Compuesto A y INIA 615 intercalado con dos surcos de un compuesto balanceado de las tres variedades, se cosecharon mazorcas del compuesto al que se denominó “Compuesto B”. En la campaña agrícola 2013-2014 se inició el primer ciclo de selección (C1) (Mamani, 2017), completándose cuatro ciclos en las campañas agrícolas 2014-2015 (C2) (Espinoza J. , 2016), 2015-2016 (C3) (Gómez, 2017) y 2016-2017 (C4) (Espinoza W. , 2019). Todos los ciclos de selección se realizaron utilizando la metodología de “selección masal estratificada”. Los resultados de componentes de variancia, heredabilidad y selección para cuatro ciclos se presentan en la tabla 5.

Tabla 5

Componentes de variancia, heredabilidad y selección del peso de mazorca de maíz morado (Zea mays L.) Compuesto B, por ciclo de selección.

| Componentes | | Ciclo | | | | |
|----------------------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | C0 | C1 | C2 | C3 | C4 |
| Variancia genética | σ_G^2 | | 655.82 | 290.56 | 417.70 | 398.75 |
| Variancia ambiental (parcelas) | σ_P^2 | | 2.61 | 10.00 | 100.96 | 33.93 |
| Variancia fenotípica | σ_F^2 | | 658.42 | 300.55 | 518.66 | 432.68 |
| Heredabilidad | h^2 | | 1.00 | 0.97 | 0.81 | 0.92 |
| Promedio población | \bar{Y}_0 | 147.47 | 99.53 | 103.96 | 150.81 | 157.69 |
| Ganancia por selección predicha | GS | | 15.42 | 6.04 | 6.05 | 10.11 |
| Porcentaje de mejora predicha | %GS | | 15.49 | 5.81 | 4.01 | 6.41 |
| Ganancia por selección observada | GSO | | -47.94 | 4.43 | 46.85 | 6.88 |
| Porcentaje de mejora observada | %GSO | | -32.51 | 4.45 | 45.07 | 4.56 |

Nota. Fuente: Mamani (2017), Espinoza (2016), Gómez (2017) y Espinoza (2019)

1.5. Justificación de la investigación

La producción de maíz morado en el Perú se incrementó de manera importante, en el año 2007 se registró una producción de 10509 toneladas, con una tasa de incremento promedio anual de

8.2 % en los siguientes 10 años, alcanzando al año 2017 la producción de 23092 toneladas que representó un incremento total de 120 % en este periodo. En la región Ayacucho en el año 2014 se registró una producción de 2073 toneladas, en los siguientes años se presentaron caídas en la producción con 1303 y 1398 toneladas en los años 2015 y 2016 respectivamente y en el año 2017 se recuperó la producción incrementándose a 2960 toneladas, equivalente a una tasa promedio de incremento anual de 12.6 %, el incremento total de la producción de mazorcas de maíz morado en el periodo de los años 2014 a 2017 fue de 43 % (MINAGRI, 2019).

En la región Ayacucho se registraron los más bajos rendimientos de maíz morado a nivel nacional, 3941, 3013 y 3584 kg/ha en los años 2014, 2016 y 2017 respectivamente, en el año 2015 se registró 3170 kg/ha y solo supero a Apurímac que anotó 2700 kg/ha, los mayores rendimientos se dieron en las regiones de Huánuco (6809 kg/ha, año 2014), Huánuco (7018 kg/ha, año 2015), Moquegua (7109 kg/ha, año 2016) y Lima (6991 kg/ha, año 2017) (MINAGRI, 2019).

El potencial de la región Ayacucho para el incremento de la producción de maíz morado reside en los factores ambientales favorables y en la superficie cosechada, al respecto, en los años 2014, 2015 y 2017 ocupó el segundo lugar en superficie cosechada con 526, 411 y 826 hectáreas respectivamente, en el año 2016 ocupó el tercer lugar (464 hectáreas) después de Ancash (581 hectáreas) y la región Lima ocupó el primer lugar con 1416, 1695, 1429 y 1226 hectáreas en los años 2014, 2015, 2016 y 2017 respectivamente (MINAGRI, 2019). De acuerdo a las evidencias señaladas, el incremento de la producción de mazorcas de maíz morado en la región Ayacucho se daría en caso se mejore la productividad.

Por otra parte, se conoce que la exportación de mazorcas de maíz morado en el año 2000 registro un total de 186150 US\$ a precio FOB, con una tasa promedio de incremento promedio anual de 11.3 % en los siguientes 18 años, alcanzando al año 2018 un total de 1283210 US\$ a precio FOB, este incremento represento un total de 689.3 % en este periodo. La cantidad

exportada en el año 2000 fue de 156.85 toneladas, con una tasa de incremento promedio anual de 10.4 % en los siguientes 18 años, logrando en el año 2018 un total de 936.18 toneladas, que represento un 596.9 % de incremento en este periodo. Es importante anotar que la cantidad de países compradores se incrementó de 8 en su nivel más bajo (año 2007) a 26 en su nivel más alto (año 2017), siendo los mejores compradores en el año 2018 Estados Unidos, España, Ecuador, Bélgica, Chile, Japón, Italia y Canadá (MINAGRI, 2019).

Guillén, Mori y Paucar (2014) refieren que el maíz morado: “Debido a su alto contenido de antocianinas (cianin-3-glucosa C3G que es su principal colorante) y compuestos fenólicos actúa como un poderoso antioxidante natural y anticancerígeno, teniendo además propiedades funcionales debido a estos compuestos bioactivos.” (p. 211). Estas cualidades hacen al maíz morado un producto nutracéutico, cobrando mucha importancia para la industria farmacéutica.

El bajo rendimiento, la creciente demanda para la exportación y el prometedor uso nutracéutico del maíz morado, expuesto líneas arriba, ameritan el mejoramiento de la productividad de mazorcas de maíz morado adaptado a la región Ayacucho y potenciales zonas de valles interandinos de las regiones de Apurímac, Junín y Huancavelica.

1.6. Limitaciones de la investigación

El presente estudio contempla solo la evaluación de 9 características de la mazorca en un compuesto de maíz morado, con la finalidad de mejorar la productividad de mazorcas, no se incluyen caracteres de planta, hojas, raíz y fenológicos, considerando que estos forman parte del biotipo de las plantas de la población (ver ítem 3.3. – Material genético), en consecuencia, el estudio pertenece al área de investigación en mejoramiento genético de plantas. Se debe anotar que el mejoramiento de la productividad de mazorcas también puede ser abordada mediante la aplicación de tratamientos de factores del manejo agronómico del cultivo, sin embargo, para lograr respuestas en estos casos se requiere semilla certificada de una variedad

mejorada (Wassom, 2013), estos estudios son materia del área de investigación en producción agrícola. Finalmente, también es importante generar conocimientos acerca de la concentración de antocianinas en la nueva variedad de maíz morado y otras, estudiar sus propiedades antioxidante y antihipertensiva.

1.7. Objetivos

- Objetivo general

Evaluar parámetros genéticos de componentes de variancia y heredabilidad de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos por selección masal, para mejorar la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado.

- Objetivos específicos

1. Evaluar parámetros genéticos de componentes de variancia de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos por selección masal, para mejorar la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado.
2. Evaluar parámetros genéticos de heredabilidad de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos por selección masal, para mejorar la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado.

1.8. Hipótesis

- **Hipótesis general**

Si se evalúan los parámetros genéticos de componentes de variancia y heredabilidad de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos mediante selección masal, se mejoraría la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado.

- **Hipótesis específicas**

1. Si se evalúan los parámetros genéticos de componentes de variancia de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos mediante selección masal, se mejoraría la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado.
2. Si se evalúan los parámetros genéticos de heredabilidad de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos mediante selección masal, se mejoraría la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado.

II. Marco teórico

2.1. Marco conceptual

- Componentes de variancia

La variancia (σ^2) es la medida de variabilidad de los valores de un carácter, se mide como la media de las desviaciones (de los valores respecto a su media) cuadradas, considerando la población total, en su forma matemática: $\sigma^2 = E(Y - \mu)^2 = \sum(Y - \mu)^2/N$, donde: $\sum(Y - \mu)^2$, es la sumatoria de desviaciones cuadradas y N , es el tamaño de la población (Box, Hunter, & Hunter, 2008), esta definición corresponde a la variancia fenotípica o total.

Para entender la naturaleza de éstos caracteres y su variación se debe tener en cuenta que todos los genes se expresan en un entorno (fenotipo = genotipo + efecto ambiental). Sin embargo, los caracteres cuantitativos tienden a ser influenciados por el ambiente en mayor grado que los caracteres cualitativos. Los caracteres cuantitativos son controlados por múltiples genes o poligenes, estos son genes con efectos demasiado pequeños para distinguirlos individualmente. En la herencia poligénica, la segregación se produce en un gran número de loci que afectan a un carácter. La expresión fenotípica de caracteres poligénicos es susceptible de modificación significativa por la variación en los factores ambientales a los que están sometidas las plantas en la población. La variación poligénica no se puede clasificar en grupos discretos (es decir, la variación es continua). Esto se debe a la gran cantidad de loci de segregación, cada uno con efectos tan pequeños que no es posible identificar los efectos de genes individuales en la población segregada o describir de manera significativa los genotipos individuales. La genética cuantitativa se usa para describir la población en términos de medias y variancias. La variación continua es causada por la variación ambiental y la variación genética debido a la segregación simultánea de muchos genes que afectan el carácter. Estos

efectos convierten la variación intrínsecamente discreta en una continua. La genética cuantitativa se utiliza para distinguir entre los dos factores que causan la variabilidad continua (Acquaah, 2012).

Salinas (2015), refiere que Dudley & Moll (1969), interpretaron la variancia fenotípica y genotípica:

La variancia fenotípica es la variancia total entre los fenotipos que se desarrollan sobre el rango de medioambientes de mayor interés. La variancia genética total es la parte de la variancia fenotípica que puede ser atribuida a las diferencias genotípicas entre los fenotipos. La variancia de la interacción genotipo medio ambiente es aquella parte de la variancia fenotípica atribuible a la falta de diferencias entre genotipos similares en diferentes medioambientes. La variancia genética total puede ser subdividida en variancia genética aditiva, variancia genética de dominancia y variancia genética epistática. Expresan, que la variancia genética total aditiva en una población es la suma de la variancia genética aditiva contribuida por loci individuales. La variancia genética aditiva para un simple locus está determinada por la frecuencia génica y por el efecto medio de sustitución de un alelo por otro (efecto aditivo). El concepto de variancia genética aditiva no implica necesariamente acción genética aditiva. La variancia genética aditiva puede deducirse de genes con algún grado de dominancia o epistasis. Definen, a la variancia de la dominancia como la variancia intralocus que permanece después de la sustracción de la variancia aditiva del total de variancia intralocus. También definen, a la variancia genética epistática, como aquella porción de la variancia genética total que permanece después de la sustracción de la variancia total intralocus y representa la falta de aditividad de la variancia genética intralocus que está explicada por la variación total entre genotipos. Mencionan que Cockerham (1954) y Kempthorne (1955) han

subdividido la variancia epistática en los tipos representativos de variación posibles, interacción entre efectos aditivos y dominantes. (pp. 20-21)

La variancia ambiental, son variaciones producidas por el ambiente, en tamaño, forma, color, composición o desarrollo entre las plantas que responden a diferentes intensidades de un factor ambiental (Poehlman & Allen, 2005).

Salisbury y Ross (2000), citados por Espinoza W. (2019, p. 16), señalan que la ley de la tolerancia, que incluye los conceptos de factores limitantes y niveles de factor óptimos, sugiere que el potencial genético de una planta para la productividad podría lograrse si se pudiesen optimizar todos los factores del entorno.

- **Heredabilidad**

La heredabilidad en el sentido amplio es la proporción de la variancia fenotípica que corresponde a la variancia genética total, y la heredabilidad en el sentido restringido es proporción de la variancia fenotípica que corresponde a la variancia genética aditiva (Dudley & Moll, 1969, mencionado por Salinas, 2015, pp. 20-21).

Stansfield (1992) citado por Espinoza W. (2019) refiere que:

La heredabilidad de un carácter en particular puede ser cualquier número desde 0 hasta 1. No existe una definición precisa en lo que se entiende por alta o baja heredabilidad, pero por lo general se aceptan los siguientes valores: alta heredabilidad > 0.5 , heredabilidad media = $0.2 - 0.5$, baja heredabilidad < 0.2 .

La heredabilidad de un carácter solo se aplica a una población en particular que vive en un ambiente específico. Es probable que una población genéticamente diferente (quizá una variedad, raza o subespecie diferentes de la misma especie) que viva en un ambiente idéntico tenga una heredabilidad diferente para el mismo carácter. Asimismo, es probable que la muestra de la población manifieste heredabilidades diferentes para el

mismo carácter cuando se miden en ambientes diferentes debido a que un genotipo específico no siempre responde a los diferentes ambientes de la misma manera. No hay ningún genotipo que adaptativamente sea superior en todos los ambientes posibles. Esto se debe a que la selección natural tiende a crear poblaciones genéticamente diferentes dentro de una especie siendo cada población adaptada específicamente a las condiciones locales en vez de adaptarse en forma general a todos los ambientes en los cuales se encuentre la especie. (p. 16)

Las estimaciones de heredabilidad son útiles para mejorar caracteres cuantitativos. Las principales aplicaciones de la heredabilidad son: 1, para determinar si un carácter se beneficiaría del mejoramiento. Especialmente si la heredabilidad en el sentido restringido es alta, indica que el uso de métodos de fitomejoramiento probablemente tendrá éxito en mejorar el carácter de interés. 2, para determinar la estrategia de selección más efectiva a usar en un programa de mejoramiento. Los métodos de mejoramiento que utilizan la selección basada en el fenotipo son efectivos cuando la heredabilidad es alta para el carácter de interés. 3, para predecir la ganancia de la selección. La ganancia por selección depende de la heredabilidad (ver ítem 3.6.2). Una alta heredabilidad probablemente resultaría en una alta respuesta a la selección para hacer avanzar a la población en la dirección de cambio deseada (Acquaah, 2012).

2.2. Características del maíz de libre polinización

- Origen del maíz

El maíz no era conocido fuera de América antes de su descubrimiento en 1492, todavía hay discrepancias respecto a los detalles de su origen, mayoritariamente se acepta como centro primario de origen del maíz a Mesoamérica, en las zonas montañosas de México y Guatemala, de donde los tipos más avanzados emigraron hacia otros lugares de América, los Andes

Centrales se identifica como segundo centro de diversificación. Se considera unos 8000 años de evolución desde el estado silvestre al actual de planta cultivada, durante el tiempo en que el maíz fue cultivado antes de la ocupación del continente americano por los europeos, los agricultores de América lograron seleccionar todo tipo de maíces para las más diversas condiciones ecológicas a través de todo el Continente Americano, se produjeron razas de maíz de grano duro, amiláceo, reventón y dulce, su cultivo permitió el desarrollo de culturas muy avanzadas como la Maya, Azteca e Inca (Acosta, 2009; Poehlman & Allen, 2005; Tapia & Fries, 2007).

Las diferentes variedades de maíz morado se originaron de la raza “Kculli”, que aún se cultiva en los valles interandinos del Perú, esta raza en la región Ayacucho se encuentra en las provincias de Victor Fajardo, La Mar, Huanta y Huamanga, en los distritos de Colca, San Miguel, Iguain y Quinua y en la región Huancavelica en los distritos de Huando y Moya (Oscanoa & Sevilla, 2010).

- **Taxonomía**

La descripción taxonómica del maíz es la siguiente: Familia Poaceae, género *Zea*, especie *Zea mays* Linnaeus, esta especie es la forma cultivada del género (Kato, Mapes, Mera, Serratos, & Bye, 2009)

- **Tipo de reproducción**

El maíz es una especie con modo de reproducción sexual, el mecanismo específico es la monoecia, por la cual las plantas poseen dos sexos en un mismo pie, producen gametos masculino y femenino en el mismo individuo en flores diferentes (unisexuales). Poehlman y Allen (2005), refieren, que:

La planta de maíz posee estructuras florales *monoicas*; las flores *estaminadas* se

forman en la “espiga” (panoja) y las *pistiladas* en un brote a la mitad del tallo. La polinización se lleva a cabo al transferirse polen viable o fértil de las flores estaminadas de la panoja a los larguísimos estigmas, los órganos receptores de polen de las flores pistiladas. El viento es el principal agente polinizador en la *polinización libre* o no controlada de la planta de maíz. Normalmente, casi el 95% de los óvulos de un brote son fecundados mediante polinización cruzada, y el 5% restante por autofecundación. La mayor parte del polen que poliniza a una mazorca de maíz proviene de plantas más próximas, si bien el polen puede ser transportado por el viento a grandes distancias.

El tallo principal de la planta de maíz termina en una panoja (“espiga”) que posee espiguillas estaminadas conformadas por dos flores, cada una de las cuales tiene tres anteras.... Conforme las flores de la panoja se abren, unos filamentos ... que se alargan llevan al exterior de la flor a las anteras, que liberan granos de polen. Una sola panoja de una planta normal puede producir 25 millones de granos de polen, o un promedio de más de 25000 por cada grano de una mazorca de maíz.

Las inflorescencias femeninas o mazorcas jóvenes nacen como ramas a partir de nudos localizados aproximadamente a la mitad del tallo. Cada brote consta de una extremidad de la cual nacen las brácteas foliáceas y termina en el olote, en el que se disponen las flores pistiladas.... Las espiguillas aparecen en pares, y cada una posee normalmente un óvulo fértil y otro estéril, lo cual da como resultado un igual número de hileras de granos en la mazorca. La fecundación del segundo óvulo produce hileras atestadas e irregulares de granos en la mazorca. Los estigmas están unidos al ápice del ovario...; funcionan como estigma y como estilo y son capaces de recibir al polen en toda su longitud. La fecundación del óvulo ocurre por lo general dentro de las primeras 12 a 24 horas después de que los estigmas han sido polinizados. (p. 341-342)

- **Estructura genética del maíz de libre polinización**

La heterocigosidad y la variabilidad genética son características de los cultivos de polinización cruzada. Es posible pensar que cada óvulo de una mazorca de maíz de polinización libre podría ser fecundado por un diferente progenitor masculino; esto hace dudar que cualquier par de semillas de una mazorca de maíz, o cualquier par de plantas de un campo de maíz de polinización libre, tengan exactamente el mismo genotipo. Cada planta de maíz es un genotipo híbrido distinto, y un campo de maíz de polinización abierta es una mezcla de plantas híbridas complejas que poseen variación tanto fenotípica como genotípica. Con cada nueva generación, hay recombinación de los genes, lo que conserva la alta heterocigosidad del maíz de polinización libre y mantiene su variabilidad genética (Poehlman & Allen, 2005).

El número de cromosomas del maíz es $2n = 2x = 20$, esta especie ha sido objeto del estudio genético y citogenético más minucioso que cualquier otra especie cultivada, principalmente como resultado de: la importancia económica, la facilidad con la que puede modificarse genéticamente por autogamia o hibridación, el gran número de semillas que se obtienen de una sola polinización y los caracteres fácilmente observables de la planta, mazorca y semilla. Los estudios genéticos en el maíz han contribuido considerablemente a entender los genes y sus efectos, el proceso de mutación, la heterosis y la teoría genética cuantitativa (Poehlman & Allen, 2005). En el mejoramiento genético del maíz, la genética cuantitativa desempeña una función más importante que en el mejoramiento genético de las especies autóгамas (Acquaah, 2012; Camarena et al. 2012).

2.3. Selección masal

La selección masal para el mejoramiento de la población tiene como objetivo mejorar el rendimiento general de la población mediante la selección y el agrupamiento de genotipos superiores que ya existen en la población, la eficiencia de esta se lleva a cabo en un sistema de

apareamiento al azar con selección; y depende principalmente del número de genes y de la heredabilidad. La selección masal ha sido efectiva para aumentar las frecuencias genéticas en caracteres que se pueden ver o medir fácilmente. Los cambios ocurridos en el maíz sirven para ilustrar un gran número de efectos de la selección masal sobre las poblaciones, incluyendo el efecto de la selección en el aspecto morfológico, en la adaptación y en el rendimiento, así como la influencia de la hibridación intervarietal y de la reducción en el tamaño de las poblaciones. La selección masal puede modificar el tipo de planta, maduración, características del grano y otros caracteres que se pueden reconocer fácilmente. Además, se sabe que la hibridación entre variedades tuvo su importancia para conseguir la variabilidad a partir del cual se seleccionaron nuevas variedades (Acquaah, 2012). Las unidades de selección son plantas individuales. La selección es únicamente sobre el rendimiento fenotípico. Las semillas de plantas seleccionadas (polinizadas por la población en general) se agrupan para comenzar la próxima generación. No se hacen cruces, pero se realiza prueba de progenie. El proceso se repite hasta que se observa un nivel de mejora deseable (Acquaah, 2012; Poehlman & Allen, 2005).

En el maíz, de polinización libre, fue posible obtener variedades con diferente precocidad, altura de planta, tamaño de la mazorca, tipo de los granos, porcentaje de aceites, y características similares por medio de una continuada selección masal. Es desde luego necesario que, para que la selección masal sea eficaz, los genes para esas diferencias existan en la población mezclada. Dando por hecho que estén presentes las variaciones hereditarias necesarias, el grado de progreso dependerá en mayor o menor grado de la habilidad del fitogenetista para escoger plantas diferentes, tanto genotípicamente como fenotípicamente (Poehlman & Allen, 2005).

En relación el método de selección masal estratificada Prado (2019) refiere que Gardner (1961):

Luego de emplear la selección masal en investigaciones anteriores con maíz, continuando con los estudios, en el año 1956 los campos se estratificaron en áreas pequeñas de 40 plantas cada una, y se guardaron semillas del 10 % de las plantas en cada estrato para producir la siguiente generación. Indica que la razón de la estratificación fue reducir la variación ambiental entre las plantas en comparación para que la selección sea más efectiva. (p. 15)

A partir de tal innovación en la selección masal se iniciaron más investigaciones empleando la metodología denominada “selección masal estratificada”, en maíz y otras especies (Agwanda, 1988, mencionado por Prado, 2019, p. 16; Biasutti et al., 2004, mencionados por Prado, 2019, p. 19; Rodrigues et al., 2011).

Respecto a esta metodología Bos y Caligari (2008), señalan, que el efecto perjudicial de la variación sobre la eficiencia de la selección masal en la calidad de las condiciones de crecimiento puede eliminarse (en parte) dividiendo el campo de selección en partes, de manera que las condiciones de crecimiento sean más uniformes dentro de cada una de estas llamadas cuadrículas que a través del campo entero. El mejorador puede seleccionar las plantas sobresalientes dentro de cada cuadrícula. La mejora de la eficiencia de la selección se desprende del incremento de la heredabilidad.

III. Método

3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es experimental (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018), en la cual se manipula de manera intencional la variable tratamiento para analizar el efecto. Con este propósito se aplica la técnica de “selección masal estratificada” de 10 mazorcas de igual número de plantas en 60 parcelas y el análisis estadístico y genético de acuerdo al diseño experimental completamente al azar, para estudiar componentes de variancia genotípica y variancia ambiental, para caracteres de productividad de las mazorcas en una población de maíz morado “Compuesto A”.

3.2. Población y muestra

- Población

La población es la colección completa de unidades, en las cuales se observan las características a ser estudiadas (Ñaupas, Valdivia, Palacios, & Romero, 2018; Johnson, Miller, & Freund, 2012). En el presente estudio la población estuvo formada de 3600 plantas de maíz morado, distribuyéndose en 60 parcelas y 60 plantas por parcela, el número de plantas de la población corresponde a la distribución de éstas de acuerdo a la figura 1 (parcela experimental) y figura 3 (campo de cultivo).

- Muestra

La muestra es el subconjunto de unidades seleccionadas de una población, con observaciones de las características que realmente se tienen en una investigación (Ñaupas et al., 2018; Johnson et al., 2012). La muestra se determinó en base a la metodología de “selección

masal estratificada” propuesta por Gardner (1961), mencionado por Prado (2019, p. 15), por lo que para la selección de mazorcas se tomaron fenotípicamente las 10 mejores plantas de cada parcela, haciendo un total de 600 mazorcas seleccionadas en 60 parcelas. Se tomó la mazorca más alta de cada planta de un grupo de plantas igualmente competitivas, fenotípicamente sobresalientes por su sanidad, tamaño de mazorca y porte de planta típica.

3.3. Operacionalización de variables

El resumen de la operacionalización de las variables se presenta en la tabla 6 y a continuación se describen.

- Tratamiento

Es el conjunto particular de condiciones ambientales que se impone a cada parcela experimental dentro del diseño completamente al azar, estas condiciones ambientales en el presente estudio están representados por 60 parcelas (figura 3)

- Productividad de mazorca

La productividad de mazorca se expresa en indicadores de dimensión, cantidad y peso de mazorca fisiológicamente madura en la posición más alta de una planta seleccionada. Las dimensiones que se tomaron fueron: longitud de mazorca (mm), diámetro de mazorca (mm) y diámetro de tusa (mm). Las cantidades que se tomaron fueron: N° de hileras de granos y N° de granos por hilera. Los pesos que se consideraron fueron: Peso de 1000 granos (g), peso de mazorca (g), peso de grano (g/mazorca) y peso de tusa (g/mazorca)

Tabla 6

Operacionalización de variables independiente, dependientes e intervinientes.

| VARIABLES | INDICADORES | UNIDAD DE MEDIDA |
|----------------------------|------------------------------|------------------|
| Independiente: | | |
| - Tratamiento | - Parcela experimental | unidad |
| Dependiente: | | |
| - Productividad de mazorca | - Longitud de mazorca | mm |
| | - Diámetro de mazorca | mm |
| | - Diámetro de tusa | mm |
| | - N° de hileras de granos | unidad |
| | - N° de granos por hilera | unidad |
| | - Peso de 1000 granos | g |
| | - Peso de mazorca | g |
| | - Peso de grano | g / mazorca |
| | - Peso de tusa | g / mazorca |
| Intervinientes: | | |
| - Ambiente - Ayacucho | - Centro Experimental Canaán | |
| - Material genético | - Maíz morado (Compuesto A) | |

Nota. Fuente: Elaboración propia, los indicadores de mazorca: longitud de mazorca, diámetro de mazorca, diámetro de tusa, N° de hileras de granos, N° de granos por hilera y peso de 1000 granos, se tomaron de International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR, 1991)

- **Ambiente**

La investigación se condujo en los terrenos del Centro Experimental Canaán de la Escuela Profesional de Agronomía - Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, se ubica a 13° 08' 00" latitud sur, 74° 13' 00" longitud oeste y a una altura de 2735 msnm, en el distrito de Andrés Avelino Cáceres, provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho. La temperatura media anual en el periodo 2010 a 2012 fue de 18 °C, con mínima de 9 °C y máxima de 27 °C. La precipitación total promedio en el periodo señalado fue de 563 mm y en el periodo de cultivo (octubre 2018 a febrero 2019) fue de 375 mm (GRA, 2012). El requerimiento de agua se complementó con riego por goteo en los periodos de escases.

El pH del suelo fue de 7.5 que se califica como ligeramente alcalino; el contenido de materia orgánica fue de 2.0 % y se califica como medio; el nitrógeno total fue de 0.1 % calificándose como pobre; el contenido de fósforo disponible fue de 18.1 ppm que se califica como alto; el contenido de potasio disponible fue de 62.3 ppm calificándose como bajo y la clase textural del suelo resultó franco arcilloso. Las características de pH, materia orgánica y textura del suelo descritas son adecuadas para el cultivo del maíz morado y puede expresar su potencial genético. Los requerimientos de nitrógeno, fósforo y potasio fueron suministrados en la fórmula de abonamiento 100 – 100 – 40 kg/ha de nitrógeno, fosforo y potasio respectivamente, aplicándose a la siembra 50 – 100 – 40 de la fórmula y en el primer aporque completándose 50 de nitrógeno.

- **Material genético**

Se utilizó una población de maíz morado de libre polinización denominado “Compuesto A”, obtenida mediante seis ciclos de selección recurrente por peso de mazorca en base a una colección de maíz de libre polinización procedente de Arequipa, con una gran variabilidad morfológica y productiva, las principales características son: periodo vegetativo de 150 a 160 días a la madurez fisiológica, altura de planta (280 +- 30 cm), altura de mazorca (176 +- 18 cm), color de grano negro, color de la tusa morado oscuro, tipo de grano amiláceo, color de la hoja verde oscuro, color del tallo verde claro con jaspes purpura, color de estigma amarillo, color de panoja purpura claro, número de mazorcas por planta 1 - 2 mazorcas, porcentaje de desgrane 80% (Quispe S. , 2017).

3.4. Instrumentos

- Unidad experimental

La unidad experimental estuvo formada de una parcela con plantas de maíz morado, se sembraron plantas en 3 surcos de 5 m de largo, 0.80 m de distancia entre surcos, 0.50 m de distancia entre golpes y una densidad de siembra de 3 semillas por golpe, en el desahíje se dejaron 2 plantas por golpe (figura 1). Las características de la parcela fueron:

| | |
|-------------------------|-------------------|
| Nº de golpes / surco | 10 |
| Nº de plantas / golpe | 2 |
| Nº de surcos / parcela | 3 |
| Nº de plantas / parcela | 60 |
| Distancia entre surcos | 0.8 m |
| Largo de surco | 5.0 m |
| Área de parcela | 12 m ² |

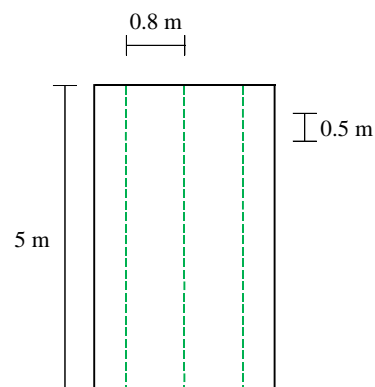


Figura 1. Esquema de la parcela experimental.

- **Unidad de análisis**

La unidad de análisis para la “selección masal estratificada” fue una mazorca de maíz morado, ubicada en la parte más alta de la planta (figura 2), dicha planta fue igualmente competitiva en el campo de cultivo, es decir se encontró en una densidad de 2 plantas por golpe e igual que cualquier golpe vecino, con madurez de cosecha completa y sana. Se tomaron las 10 mejores mazorcas de plantas igualmente competitivas en cada parcela, el criterio de selección fue fenotípico visual.

Mazorca más alta



Figura 2. Unidad de análisis.

- **Campo de cultivo**

En la figura 3 se aprecia el esquema del campo de cultivo, cada cuadrícula es una parcela numerada de 1 a 60. Las características fueron:

| | |
|-----------------|----------------------|
| Nº de plantas | 3600 |
| Largo del campo | 30.0 m |
| Ancho del campo | 24.0 m |
| Área del campo | 720.0 m ² |

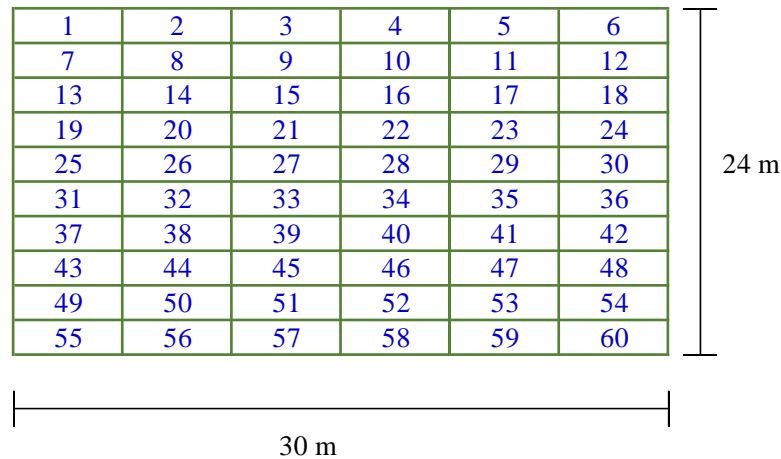


Figura 3. Esquema del campo de cultivo.

- **Diseño experimental**

El estudio se condujo considerando el diseño experimental completamente al azar, el modelo aditivo lineal es el siguiente (Kuehl, 2001):

$$Y_{ij} = \mu + P_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} es una observación de la variable dependiente, de la i -ésima parcela y j -ésima mazorca.

μ es el promedio de todas las parcelas.

P_i es el efecto de la i -ésima parcela.

ε_{ij} es el error experimental en la i -ésima parcela y j -ésima mazorca.

$i = 1, 2, 3, \dots, p$: $p = 60$, es el número de parcelas

$j = 1, 2, 3, \dots, k$: $k = 10$, es el número de mazorca en cada parcela

3.5. Procedimientos

- Registro de datos de las variables

El registro de los datos se realizó mediante una ficha de observación, que consiste de las siguientes entradas: N° de mazorca (1 a 10), N° de parcela (1 a 60), longitud de mazorca (cm), diámetro de mazorca (cm), diámetro de tusa (cm), N° de hileras de granos, N° de granos por hilera, peso de 1000 granos (g), peso de mazorca (g), peso de grano (g) y peso de tusa (g), (anexo 7.3 y 7.4)

- Conducción del experimento

El experimento se condujo con las labores agrícolas para el cultivo de maíz morado, en base a las siguientes labores: Preparación del terreno, tratamiento de semilla, siembra, fertilización (100 – 100 – 40 kg/ha de N P K), riego por goteo, control de malezas, desahíje o entresaque, aporque, control de plagas y enfermedades y cosecha.

3.6. Análisis de datos

Los métodos de compendio, análisis e interpretación de la información están basadas en la técnica de “selección masal estratificada”, propuesta por Gardner (1961) mencionado por Prado (2019, p. 15)

- Análisis de variancia

En base al diseño experimental y a los datos señalados en el ítem 3.6, se realizaron los cálculos del análisis de la variancia considerando el modelo de componentes de variancia, para cada una de las nueve variables. El análisis de variancia se calcula como si se tratara de un modelo de efectos fijos, y los cuadrados medios se obtienen con la suposición del modelo de

efectos aleatorios. Los cuadrados medios observados son estimaciones de los cuadrados medios esperados (Kuehl, 2001). Un resumen del protocolo seguido se muestra en la tabla 7:

$$TC = \frac{Y_{..}^2}{pk}$$

$$SC \text{ total} = \sum \sum Y_{ij}^2 - \frac{TC^2}{pk}$$

$$SC \text{ entre parcelas} = \frac{\sum Y_{i.}^2}{k} - \frac{TC^2}{pk}$$

$$SC \text{ dentro de parcelas} = SC_{total} - SC \text{ entre parcelas}$$

$$CM \text{ entre parcelas} = \frac{SC \text{ entre parcelas}}{p}$$

$$CM \text{ dentro de parcelas} = \frac{SC \text{ dentro de parcelas}}{p(k-1)}$$

$$CM \text{ total} = \frac{SC \text{ total}}{pk}$$

Tabla 7

Análisis de variancia.

| Fuente | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | Cuadrados medios esperados |
|---------------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| <i>Entre parcelas</i> | p | <i>SC entre parcelas</i> | <i>CM entre parcelas</i> | $\sigma_G^2 + k\sigma_P^2$ |
| <i>Dentro de parcelas</i> | $p(k-1)$ | <i>SC dentro de parcelas</i> | <i>CM dentro de parcelas</i> | σ_G^2 |
| <i>Total</i> | pk | <i>SC total</i> | <i>CM total</i> | $\sigma_G^2 + \sigma_P^2$ |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis genético**

Con este procedimiento se calcularon la variancia genética (σ_G^2), variancia ambiental (σ_P^2), variancia fenotípica (σ_F^2), heredabilidad (h^2), diferencial de selección (DS) y ganancia por selección (GS).

$$\sigma_G^2 = CM \text{ dentro de parcelas}$$

$$CM \text{ entre parcelas} = \sigma_G^2 + k\sigma_P^2$$

$$\sigma_P^2 = \frac{CM \text{ entre parcelas} - CM \text{ dentro de parcelas}}{k}$$

$$\sigma_F^2 = \sigma_G^2 + \sigma_P^2$$

$$h^2 = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_F^2}$$

$DS = \text{Promedio de } \mathbf{sp} \text{ mazorcas seleccionadas en almacen}$

$\quad - \text{Promedio de } \mathbf{kp} \text{ mazorcas seleccionadas en campo}$

$$GS = \frac{DS}{2} * h^2$$

Donde:

σ_G^2 es la variancia genética

σ_P^2 es la variancia ambiental

σ_F^2 es la variancia fenotípica

h^2 es la heredabilidad

DS es el diferencial de selección

GS es la ganancia por selección

k es el número de mazorcas seleccionadas en campo ($k = 10$)

s es el número de mazorcas seleccionadas en colca ($s = 5$)

p es el número de parcelas ($p = 60$)

- **Prueba de hipótesis**

a. Prueba sobre la variancia genética

Hipótesis

$$H_0: \sigma_G^2 = 0$$

$$H_1: \sigma_G^2 > 0$$

Estadístico de prueba

$$F_{c_G} = \frac{CM_{total}}{\frac{CM_{entre parcelas} + CM_{dentro de parcelas}}{k}}$$

Decisión a un nivel de significación $\alpha = 0.05$

$$F_t(\alpha = 0.05, pk = 600, p = 60) = 1.41$$

Se rechaza la H_0 si $F_{c_G} > F_t = 1.41$ ó $P(F > F_{c_G}) = P_{valor} < 0.05$

b. Prueba sobre la variancia ambiental

Hipótesis

$$H_0: \sigma_p^2 = 0$$

$$H_1: \sigma_p^2 > 0$$

Estadístico de prueba

$$F_{C_p} = \frac{CM_{entre\ parcelas}}{CM_{dentro\ de\ parcelas}}$$

Decisión a un nivel de significación $\alpha = 0.05$

$$F_{t}(\alpha = 0.05, p = 60, p(k - 1) = 540) = 1.34$$

Se rechaza la H_0 si $F_{C_p} > F_t = 1.34$ ó $P(F > F_{C_p}) = P_{valor} < 0.05$

- **Análisis de la asociación y relación entre variables**

La asociación entre cada uno de los 36 pares de los nueve caracteres cuantitativos de productividad de mazorca, se probó mediante el coeficiente de correlación lineal simple de Pearson. Este coeficiente cuantifica la relación lineal entre un par de variables, en una distribución normal bivariada. Una estimación obtenida a partir de n valores muestrales de las dos variables de interés, $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$, es el coeficiente de correlación momento producto de Pearson, dado por:

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Everitt y Skrondal (2010), refieren que:

El coeficiente toma valores entre -1 y 1, con el signo que indica la dirección de la relación y la magnitud numérica de su intensidad. Los valores de -1 o 1 indican que los valores de la muestra caen en una línea recta. (p. 107)

La relación entre el carácter peso de mazorca (variable dependiente) y los restantes ocho caracteres (ocho variables independientes) se evaluó aplicando la metodología de selección de

variables “Stepwise”. El peso de mazorca se regresa primero con cada variable independiente, y se selecciona la variable independiente con el valor más alto de r^2 (coeficiente de determinación). En el segundo paso, el peso de mazorca se regresa contra la variable independiente seleccionada junto con cada una de las variables rechazadas, dando una serie de ecuaciones de tres variables. La combinación que da el valor más alto r^2 se selecciona y el proceso se repite con cada una de las variables independientes restantes, más las dos variables seleccionadas. El proceso continúa dentro de los límites de la cantidad de datos experimentales disponibles, y el valor de cada predictor adicional se puede juzgar a partir de la mejora en r^2 (Armstrong, 2006).

IV. Resultados

4.1. Contrastación de hipótesis

- Primera hipótesis específica

La hipótesis expresa “Si se evalúan los parámetros genéticos de componentes de variancia de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos mediante selección masal, se mejoraría la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado”. Esta hipótesis científica, equivale a probar la hipótesis nula: la variancia ambiental es igual a cero, con la alternante: la variancia ambiental es mayor a cero, y la hipótesis nula: la variancia genética es igual a cero, con la alternante: la variancia genética es mayor a cero. Estas pruebas se realizaron mediante el análisis de variancia considerando el modelo aleatorio del diseño experimental completamente al azar (Kuehl, 2001), el procedimiento se especifica en el ítem 3.7 (análisis de datos), los resultados de la prueba para la primera hipótesis con los nueve caracteres considerados se presentan en las tablas 8 y 9.

- Segunda hipótesis específica

Expresa “Si se evalúan los parámetros genéticos de heredabilidad de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos mediante selección masal, se mejoraría la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado”. Dado que la heredabilidad es la proporción de la variancia total debida a los genes (Dudley & Moll, 1969 mencionados por Salinas, 2015, pp. 20-21), es decir $h^2 = \sigma_G^2 / \sigma_F^2$, se probó si $h^2 > 0$, esta situación equivale a probar $\sigma_G^2 > 0$, pero en términos de heredabilidad, en consecuencia los resultados de la prueba para la segunda hipótesis con los nueve caracteres considerados se presentan en la tabla 10, en esta tabla además se acompaña resultados de

componentes de selección (promedio población, promedio selección, diferencial de selección, ganancia por selección, porcentaje de mejora y promedio población mejorada), basados en los procedimientos del análisis genético que se especifican en el ítem 3.7.

Adicionalmente, se consideró importante evaluar la asociación y relación entre las nueve variables de la mazorca de maíz morado, para recomendar cuales de las variables deben ser tomadas en cuenta en el proceso de selección y medir su impacto en el mejoramiento del rendimiento del maíz morado, la cual se traduce como la finalidad del presente estudio. La asociación entre las variables cuantitativas se probó mediante el coeficiente de correlación lineal simple de Pearson (Everitt & Skrondal, 2010), los resultados se presentan en la tabla 11. La relación entre dichas variables se probó aplicando la metodología de selección de variables mediante regresión lineal múltiple Stepwise (Armstrong, 2006), los resultados se tienen en las tablas 12, 13, 14 y 15.

4.2. Análisis e interpretación

- Componentes de variancia

Para probar si los componentes de variancia (variancia genética y variancia ambiental) para los nueve caracteres estudiados son iguales a cero (hipótesis nula) o si estos son mayores a cero (hipótesis alterna), se procedió a realizar el análisis de variancia, los mismos que se observan en resumen de cuadrados medios en la tabla 8.

La prueba de hipótesis de la variancia ambiental se evaluó en la fuente de variación entre parcelas, el resultado es que se rechazó la hipótesis nula en los casos de los caracteres: longitud de mazorca (**), diámetro de mazorca (*), N° de granos por hilera (**), peso de 1000 granos (**), peso total de mazorca (**), peso de grano por mazorca (*) y peso de tusa (*), esto también se interpreta como que la variancia ambiental fue altamente significativa (**) o significativa

(*); por otra parte se aceptó la hipótesis nula de la variancia ambiental de los caracteres: diámetro de tusa y N° de hileras de granos.

La prueba de hipótesis de la variancia genética se evaluó en la fuente de variación dentro de parcelas, el resultado es que se rechazó la hipótesis nula en las nueve características evaluadas con alta significación estadística.

Los valores de los componentes de variancia se observan en la tabla 9, los mismos que fueron obtenidos mediante análisis genético que se detalla en el ítem 3.7. La variancia genética es más importante que la variancia ambiental.

Tabla 8

Cuadrados medios del análisis de variancia de nueve caracteres de la mazorca de maíz morado (Zea mays L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho.

| Fuente | GL | Cuadrados medios esperados | Cuadrados medios | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----|----------------------------|---------------------|----|---------------------|----|------------------|----|-------------------------|----|-------------------------|----|---------------------|----|-----------------|----|---------------|----|--------------|----|
| | | | Longitud de mazorca | | Diámetro de mazorca | | Diámetro de tusa | | N° de hileras de granos | | N° de granos por hilera | | Peso de 1000 granos | | Peso de mazorca | | Peso de grano | | Peso de tusa | |
| Entre parcelas | 60 | $\sigma_G^2 + k\sigma_P^2$ | 555.19 | ** | 16.85 | * | 8.87 | NS | 2.88 | NS | 21.29 | ** | 5577.25 | ** | 956.76 | ** | 717.07 | * | 39.00 | * |
| Dentro parcelas | 540 | σ_G^2 | 330.46 | ** | 11.67 | ** | 7.50 | ** | 2.59 | ** | 14.18 | ** | 3533.10 | ** | 609.16 | ** | 492.26 | ** | 28.41 | ** |
| Total | 600 | $\sigma_G^2 + \sigma_P^2$ | 352.93 | | 12.19 | | 7.63 | | 2.62 | | 14.89 | | 3728.22 | | 643.92 | | 514.74 | | 29.47 | |
| Promedio | | | 158.83 | | 45.39 | | 24.75 | | 10.68 | | 28.78 | | 415.82 | | 142.55 | | 121.47 | | 21.08 | |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

*: Significativo ($0.01 < P\text{-valor} < 0.05$). **: Altamente significativo ($P\text{-valor} < 0.01$). NS: No significativo ($P\text{-valor} > 0.05$)

Tabla 9

Componentes de variancia de nueve caracteres de la mazorca de maíz morado (Zea mays L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho.

| Componentes de variancia | | Longitud de mazorca | Diámetro de mazorca | Diámetro de tusa | Nº de hilera de granos | Nº de granos por hilera | Peso de 1000 granos | Peso de mazorca | Peso de grano | Peso de tusa |
|--------------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------|------------------|-----------------|
| | | mm ² | mm ² | mm ² | | | g ² | g ² | g ² | g ² |
| | | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 | Y6 | Y7 | Y8 | Y9 |
| Variancia genética | σ_G^2 | 330.455 | 11.675 | 7.498 | 2.586 | 14.181 | 3533.100 | 609.165 | 492.258 | 28.413 |
| Variancia ambiental | σ_P^2 | 22.473 | 0.517 | 0.137 | 0.030 | 0.710 | 204.415 | 34.760 | 22.481 | 1.058 |
| Variancia fenotípica | σ_F^2 | 352.928 | 12.192 | 7.635 | 2.615 | 14.892 | 3737.515 | 643.924 | 514.740 | 29.472 |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

- Heredabilidad

La importancia de la variancia genética se expresa en el valor de la heredabilidad y los valores de los componentes de selección (tabla 10). Por definición la heredabilidad es una expresión de la variancia genética respecto a la variancia fenotípica en proporción o porcentaje, en consecuencia, se deduce que siendo la variancia genética altamente significativa los componentes de selección: ganancia por selección, porcentaje de mejora y promedio de la población mejorada también son altamente significativos, es decir los parámetros de los componentes de variación se diferencian de cero, por lo tanto cuando se ejerce selección se obtendrá resultados favorables. Considerando que la unidad de análisis fue la mazorca más alta de una planta de maíz morado (ítem 3.5) los resultados del promedio población (\bar{Y}_0), promedio selección (\bar{Y}_S), diferencial de selección (DS), ganancia por selección (GS), porcentaje de mejora ($\%GS$) y promedio población mejorada (\bar{Y}_1), se refieren a estimados de la población de mazorcas seleccionadas en dos procesos, primero la selección de 10 mazorcas de una parcela de 60 mazorcas y segundo la selección de 5 mazorcas de 60 mazorcas en almacén.

Tabla 10

Heredabilidad y selección de nueve caracteres de la mazorca de maíz morado (Zea mays L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho.

| Heredabilidad y selección | | Longitud de mazorca | Diámetro de mazorca | Diámetro de tusa | Nº de hilera de granos | Nº de granos por hilera | Peso de 1000 granos | Peso de mazorca | Peso de grano | Peso de tusa |
|-----------------------------|-------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------|------------------|-----------------|
| | | mm | mm | mm | | | g | g | g | g |
| | | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 | Y6 | Y7 | Y8 | Y9 |
| Heredabilidad | h^2 | 0.936 | 0.958 | 0.982 | 0.989 | 0.952 | 0.945 | 0.946 | 0.956 | 0.964 |
| Promedio población | \bar{Y}_0 | 158.833 | 45.394 | 24.751 | 10.677 | 28.780 | 415.818 | 142.547 | 121.470 | 21.077 |
| Promedio selección | \bar{Y}_S | 166.132 | 46.877 | 25.589 | 11.113 | 29.940 | 434.260 | 160.989 | 137.772 | 23.217 |
| Diferencial de selección | DS | 7.300 | 1.482 | 0.839 | 0.437 | 1.160 | 18.442 | 18.441 | 16.301 | 2.140 |
| Ganancia por selección | GS | 3.418 | 0.710 | 0.412 | 0.216 | 0.552 | 8.717 | 8.723 | 7.795 | 1.032 |
| Porcentaje de mejora | %GS | 2.152 | 1.564 | 1.664 | 2.022 | 1.919 | 2.096 | 6.119 | 6.417 | 4.894 |
| Promedio población mejorada | \bar{Y}_1 | 162.250 | 46.104 | 25.162 | 10.893 | 29.332 | 424.535 | 151.270 | 129.265 | 21.109 |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

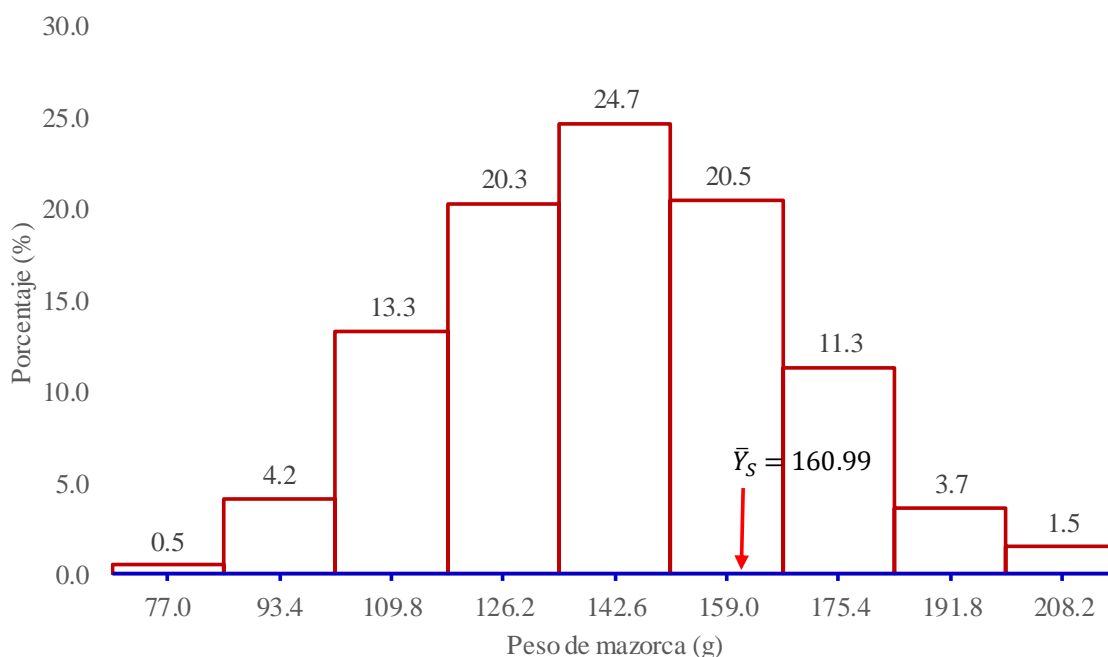


Figura 4. Histograma de frecuencias del peso de 600 mazorcas de maíz morado (*Zea mays* L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Los datos del estudio de parámetros genéticos y respuesta a la selección en un compuesto de maíz morado comprenden nueve caracteres, la selección se realizó en base al peso de mazorca en gramos, quedando ocho caracteres como observaciones multivariadas. El histograma de frecuencias de la figura 4 representa la dispersión de los datos del peso de 600 mazorcas de maíz morado seleccionados en campo (10 mazorcas por parcela) con promedio de 142.55 gramos (\bar{Y}_0), también se observan el promedio de 300 mazorcas seleccionadas (5 mazorcas por parcela) con 160.99 gramos (\bar{Y}_S) y el promedio de la población mejorada con 151.27 gramos (\bar{Y}_1). La distribución de frecuencias del peso de mazorca se inicia en el valor mínimo de 68.8 gramos, se incrementa a intervalos de clase iguales de 16.4 gramos, haciendo 9 clases con un valor máximo de 216.4 gramos, el mayor porcentaje de pesos se dio en la quinta clase con 24.7 % entre los valores de 134.4 y 150.8 gramos en el que está contenido el promedio de la población original.

- **Asociación y relación entre caracteres de mazorca**

Tabla 11

*Coefficientes de correlación entre caracteres de mazorca de maíz morado (Zea mays L.).
Canaán 2735 msnm, Ayacucho.*

| | Longitud de mazorca | Diámetro de mazorca | Diámetro de tusa | Nº de hileras de granos | Nº de granos por hilera | Peso de 1000 granos | Peso de mazorca | Peso de grano | Peso de tusa |
|-----------|---------------------------|---------------------------|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------|------------------|-----------------|
| | mm Y1 | mm Y2 | mm Y3 | Y4 | Y5 | g Y6 | g Y7 | g Y8 | g Y9 |
| Y1 | | -0.068 0.095 | 0.085 * | -0.117 ** | 0.643 ** | 0.199 ** | 0.551 ** | 0.497 ** | 0.501 ** |
| Y2 | | | 0.670 ** | 0.551 ** | -0.055 0.178 | 0.225 ** | 0.590 ** | 0.566 ** | 0.392 ** |
| Y3 | | | | 0.480 ** | -0.050 | 0.031 | 0.442 ** | 0.328 ** | 0.695 ** |
| Y4 | | | | | -0.167 ** | -0.267 ** | 0.335 ** | 0.335 ** | 0.163 ** |
| Y5 | | | | | | -0.125 ** | 0.421 ** | 0.408 ** | 0.263 ** |
| Y6 | | | | | | | 0.445 ** | 0.465 ** | 0.138 ** |
| Y7 | | | | | | | | 0.981 ** | 0.576 ** |
| Y8 | | | | | | | | | 0.405 ** |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

** : Altamente significativo (P-valor < 0.01). NS: No significativo (P-valor > 0.05)

La correlación entre las características de productividad de mazorca del maíz morado se mide mediante el coeficiente de correlación lineal simple de Pearson (tabla 11), considerando que la variable de selección fue el peso de mazorca es importante observar la asociación de este carácter con los ocho caracteres restantes, los ocho coeficientes de correlación se observan en la tabla indicada resaltado con cuadrículas cerradas, se observa que el peso de mazorca está asociada positivamente con alta significación estadística (**) con los caracteres longitud de

mazorca, diámetro de mazorca, diámetro de tusa, N° de hileras de granos, N° de granos por hilera, peso de 1000 granos, peso de grano por mazorca y peso de tusa, significa que a mayores valores del carácter asociado corresponde un mayor peso de mazorca. La asociación entre N° de hileras de granos y la longitud de mazorca es altamente significativa pero negativa, significa que a mayor N° de hileras de granos corresponde menor longitud de mazorca, otras asociaciones negativas que son altamente significativas se dan entre los caracteres N° de granos por hilera con diámetro de mazorca o diámetro de tusa, también el peso de 1000 granos con N° de hileras de granos y N° de granos por hilera. El peso de grano y peso de tusa se asocian con alta significación estadística con sus pares de caracteres que se observan en la tabla 11.

Tabla 12

Análisis de variancia de la regresión lineal múltiple con selección de variables por el método Stepwise del peso de mazorca sobre el diámetro de mazorca y longitud de mazorca en maíz morado (Zea mays L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho.

| Fuente | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F-Valor | Pr > F |
|--------|--------------------|-------------------|------------------|---------|--------|
| Modelo | 2 | 270380.0 | 135190.0 | 695.91 | <.0001 |
| Error | 597 | 115975.0 | 194.3 | | |
| Total | 599 | 386355.0 | | | |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Se consideró realizar la regresión lineal múltiple entre el peso de mazorca (Y) y los caracteres longitud de mazorca (X₁), diámetro de mazorca (X₂), diámetro de tusa (X₃), N° de hileras de granos (X₄), N° de granos por hilera (X₅), peso de 1000 granos (X₆), peso de grano por mazorca (X₇) y peso de tusa (X₈) mediante la técnica Stepwise, este método se caracteriza por seleccionar las variables más importantes para incorporarlos en el modelo lineal múltiple (Armstrong, 2006). El análisis de variancia de la tabla 12 presenta el resultado donde se tiene

que el peso de mazorca está relacionado con alta significación estadística con el diámetro de mazorca (X_2) y longitud de mazorca (X_1).

Tabla 13

Análisis de variancia de los coeficientes de regresión lineal múltiple del peso de mazorca sobre el diámetro de mazorca y longitud de mazorca en maíz morado (Zea mays L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho.

| Variable | Coficiente de regresión | Error estándar | Cuadrados medios | F-Valor | Pr > F |
|-----------------------|-------------------------|----------------|------------------|---------|--------|
| Término independiente | -193.007 | 9.134 | 86744.0 | 446.53 | <.0001 |
| Longitud de mazorca | 0.803 | 0.030 | 135796.0 | 699.03 | <.0001 |
| Diámetro de mazorca | 4.584 | 0.163 | 152971.0 | 787.45 | <.0001 |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Los coeficientes de regresión del modelo lineal múltiple son altamente significativos según el análisis de variancia para este caso (tabla 13), el modelo queda representado de la siguiente manera:

$$\text{Peso de mazorca} = -193.007 + 0.803\text{Longitud de mazorca} + 4.584\text{Diámetro de mazorca}$$

Tabla 14

Resumen de selección Stepwise con las variables diámetro de mazorca y longitud de mazorca incluidas en maíz morado (Zea mays L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho.

| Variable introducida | Nº de variables | R ² parcial | R ² modelo | F-Valor | Pr > F |
|----------------------|-----------------|------------------------|-----------------------|---------|--------|
| Diámetro de mazorca | 1 | 0.348 | 0.348 | 319.66 | <.0001 |
| Longitud de mazorca | 2 | 0.352 | 0.700 | 699.03 | <.0001 |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

El método Stepwise incorpora al modelo el diámetro de mazorca como carácter más importante, con un coeficiente de determinación de 0.348, seguido del carácter longitud de mazorca con un coeficiente de determinación de 0.700 dado que se ha incorporado previamente el diámetro de mazorca, significa que el 34.8 % de la variación del peso de mazorca esta explicado por la variación del diámetro de mazorca y el 70.0 % esta explicado por la variación de la longitud de mazorca dado la incorporación del diámetro de mazorca, se puede señalar que el 30.0 % de la variación del peso de mazorca está determinado por otros caracteres los cuales incluyen a los seis caracteres no incorporados en el modelo y otros factores aleatorios (tabla 14).

Tabla 15

Peso de mazorca (g) de maíz morado (Zea mays L.) para valores diferentes de diámetro de mazorca (mm) y longitud de mazorca (mm). Canaán 2735 msnm, Ayacucho.

| Longitud de mazorca (mm) | Diámetro de mazorca (mm) | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
| 106 | 29.6 | 52.5 | 75.4 | 98.3 | 121.3 | 144.2 |
| 130 | 48.8 | 71.8 | 94.7 | 117.6 | 140.5 | 163.4 |
| 154 | 68.1 | 91.0 | 113.9 | 136.9 | 159.8 | 182.7 |
| 178 | 87.4 | 110.3 | 133.2 | 156.1 | 179.0 | 202.0 |
| 202 | 106.6 | 129.6 | 152.5 | 175.4 | 198.3 | 221.2 |
| 226 | 125.9 | 148.8 | 171.7 | 194.7 | 217.6 | 240.5 |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

El peso de mazorca del maíz morado en el presente estudio está relacionado con alta significación estadística con la longitud de mazorca y el diámetro de mazorca, siendo este último carácter el más importante, la relación se mide mediante los coeficientes de regresión para cada carácter independiente (X_1 y X_2), el primer coeficiente de regresión significa que por el incremento de un milímetro de longitud de mazorca se espera que el peso de mazorca se

incremento en 0.803 gramos, el segundo coeficiente de regresión significa que por el incremento de un milímetro en el diámetro de mazorca se espera que el peso de mazorca se incremente en 4.584 gramos. En la tabla 15 se tienen valores de la variación del peso de mazorca para valores de los rangos observados de diámetro de mazorca (30 a 55 mm) y longitud de mazorca (106 a 226 mm), esta relación se puede apreciar en la figura 5.

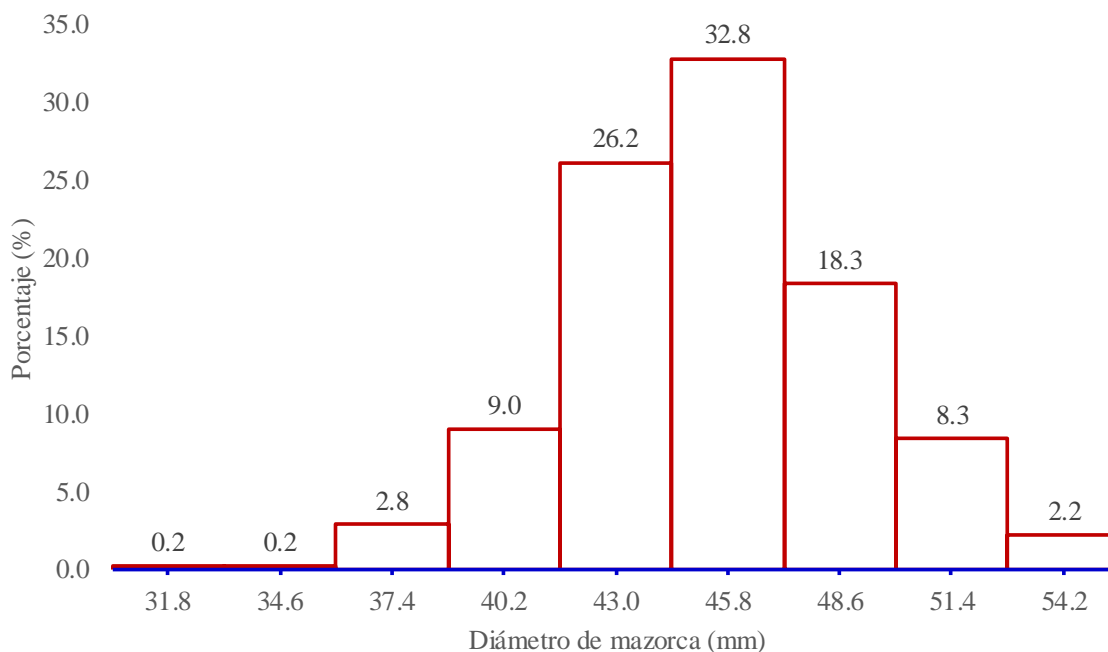


Figura 5. Histograma de frecuencias del diámetro de 600 mazorcas de maíz morado (*Zea mays* L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho.

Se debe tener en cuenta que las distribuciones del peso de mazorca, longitud de mazorca y diámetro de mazorca tienen una distribución aproximadamente normal como se puede apreciar en las figuras 4, 5 y 6, esto significa que la mayor proporción de mazorcas seleccionadas están alrededor del promedio del peso de mazorca, longitud de mazorca y diámetro de mazorca.

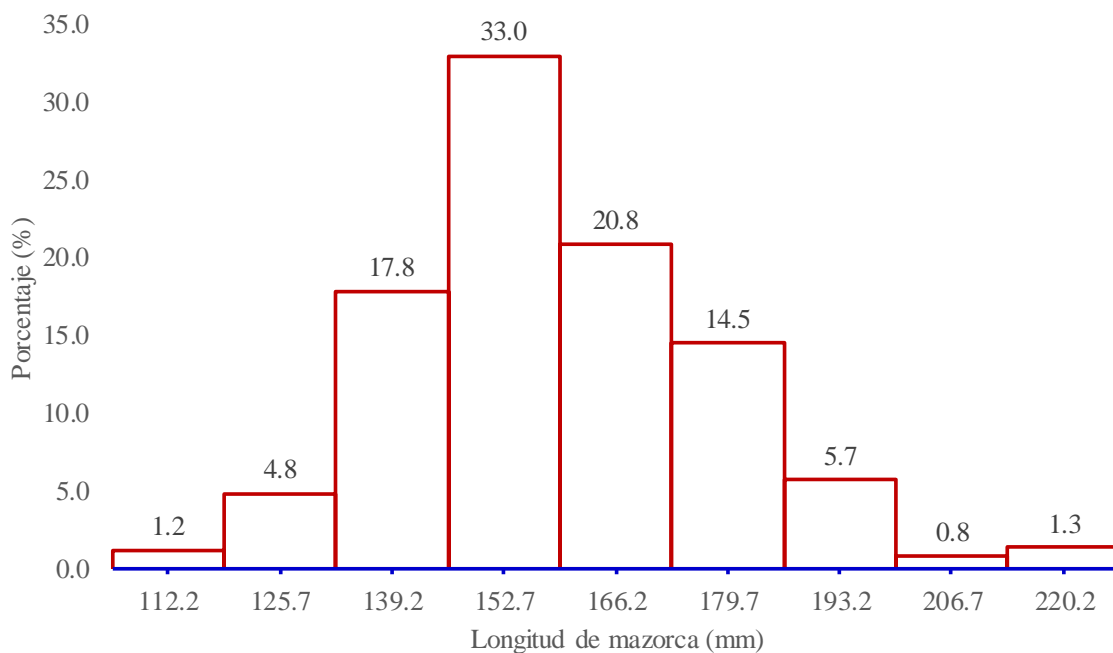


Figura 6. Histograma de frecuencias de la longitud de 600 mazorcas de maíz morado (*Zea mays* L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho

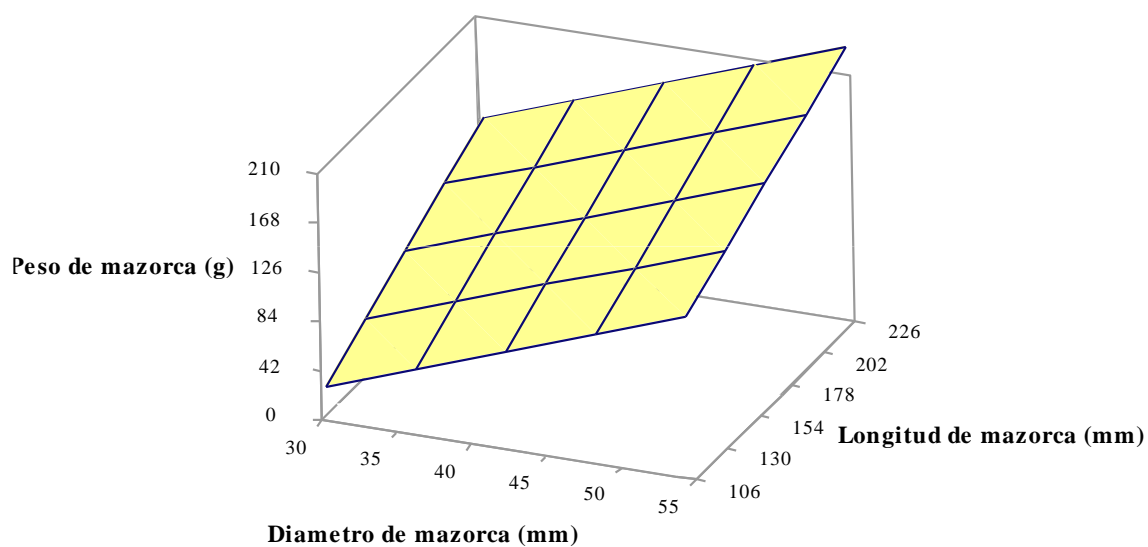


Figura 7. Regresión de peso de mazorca (g) de maíz morado (*Zea mays* L.) sobre longitud de mazorca (mm) y diámetro de mazorca (mm). Canaán 2735 msnm, Ayacucho

V. Discusión de resultados

5.1. Discusión

- Componentes de variancia

De acuerdo a los resultados de la tabla 8, los caracteres diámetro de tusa y N° de hileras de granos no son afectados por el ambiente, es decir la variancia ambiental no es significativa, además, ambos caracteres están correlacionados con alta significación estadística ($r = 0.480^{**}$, tabla 11), según la teoría genética generalmente esto ocurre con caracteres cualitativos (Acquaah, 2012; Poelhman & Allen, 2003; Stansfield, 1992, mencionado por Espinoza W. , 2019, p. 16), en la presente investigación se puede considerar que el crecimiento en diámetro de tusa está determinado por el N° de hileras de granos, donde para cada valor de número de mazorca existen valores aleatorios de diámetro de tusa (tabla 16 y figura 8). Por otra parte, la longitud de mazorca, diámetro de mazorca, N° de granos por hilera, peso de 1000 granos, peso total de mazorca, peso de grano por mazorca y peso de tusa, fueron afectados significativamente por el ambiente, de acuerdo a la teoría genética esto ocurre con los caracteres cuantitativos como es el presente caso (Acquaah, 2012; Poelhman & Allen, 2003; Stansfield, 1992, mencionado por Espinoza W. , 2019, p. 16). En producción agrícola es importante el aprovechamiento del efecto ambiental favorable para el mejoramiento del rendimiento de los cultivos, especialmente los efectos climáticos (Salisbury & Ross, 2000, mencionado por Espinoza W. , 2019, p. 16).

Tabla 16

Distribución de frecuencias del N° de hileras de granos y diámetro de tusa de maíz morado (Zea mays L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho.

| Clase | N° de hileras de granos | Diámetro de tusa (promedio) mm | Frecuencia | Porcentaje |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|------------|------------|
| 1 | 8 | 22.5 | 76 | 12.7 |
| 2 | 10 | 24.2 | 294 | 49.0 |
| 3 | 12 | 25.9 | 185 | 30.8 |
| 4 | 14 | 27.2 | 41 | 6.8 |
| 5 | 16 | 29.6 | 4 | 0.7 |
| | | | 600 | 100.0 |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

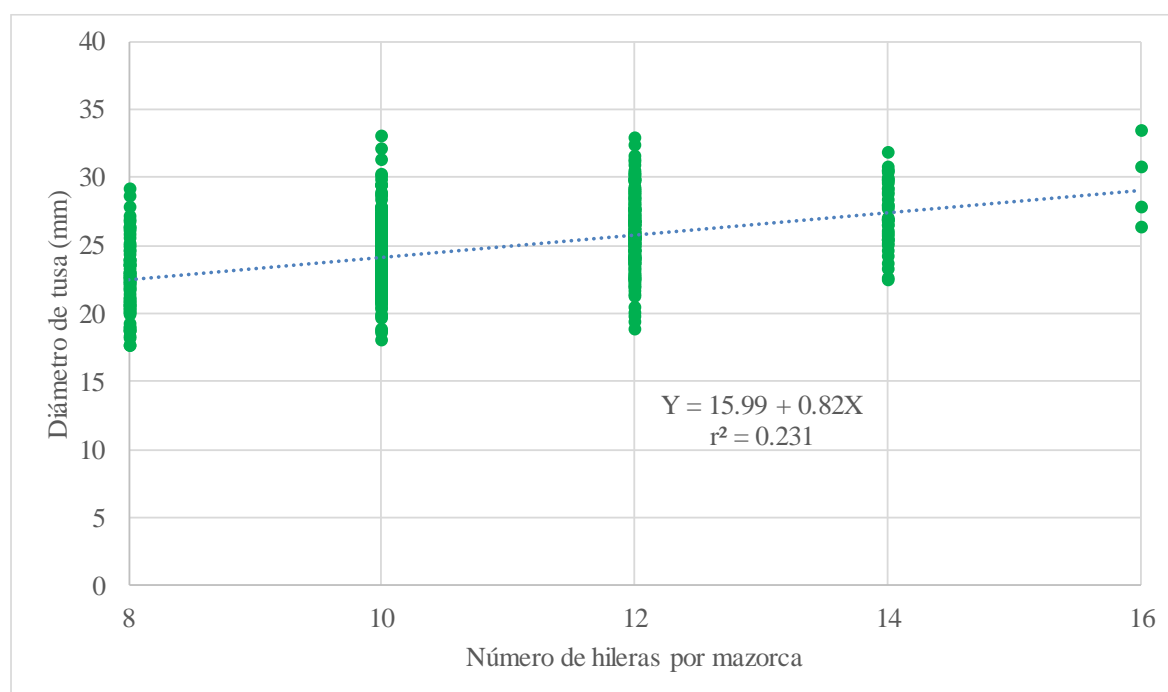


Figura 8. Regresión del peso de tusa (X) sobre el N° de hileras de granos (Y) en maíz morado (*Zea mays L.*). Canaán 2735 msnm, Ayacucho.

La variancia genética fue significativa en los nueve caracteres, lo cual es favorable para la selección (Camarena et al., 2012; Poelhman & Allen, 2003), sin embargo, la selección en el presente estudio se realizó por el carácter peso de mazorca, porque se considera el rasgo más

importante para mejorar el rendimiento de mazorcas (Espinoza J. , 2016; Gómez, 2017; Prado, 2019; Quispe S. , 2017).

Ali & Saleh (2003), citados por Prado (2019, p. 18), en la población Manis Madu, encontraron valores nulos de variancia genética en los caracteres diámetro de mazorca y N° de hileras de granos y valores mayores a cero en los caracteres peso de mazorca, longitud de mazorca y N° de granos por hilera; mientras que la población híbrida intervarietal Manus Manu x SSC 240 se obtuvo variancia genética positiva solo en los caracteres longitud de mazorca y N° de granos por hilera. Por otra parte, Ngandu-Nyindu (1981), mencionado por Espinoza W. (2019, p. 14), evaluaron la selección masal por peso de grano en cuatro poblaciones de libre polinización, encontraron en todas las poblaciones valores altos de variancia genética. En la presente investigación la variancia genética fue alta en los nueve caracteres evaluados, los resultados concuerdan con los obtenidos por Prado (2019), Valenzuela (2015), Quispe Y. (2019) y Quispe S. (2017) en el mismo material genético en los ciclos de selección primero, segundo, tercero y quinto respectivamente.

- **Heredabilidad**

La importancia de la variancia genética se mide mediante la heredabilidad, en la presente investigación los valores de heredabilidad según Stansfield (1992), mencionado por Espinoza W. (2019, p. 16), fueron altos en los nueve caracteres evaluados, esto favorece a la respuesta a la selección. El menor valor de heredabilidad fue de 0.936 para el carácter longitud de mazorca y el mayor valor fue para el carácter N° de hileras de granos, mientras que para el peso de mazorca fue de 0.946, estos resultados se deben a que el factor ambiental no influyó en la variación de manera importante. Ali & Saleh (2003), mencionados por Prado (2019, p. 18), para el carácter longitud de mazorca en la población Manis Madu de polinización libre, encontraron una heredabilidad de 30 y 80 % en el primer y segundo de selección, mientras que

en la población Manis Madu x SSC 240 encontraron una heredabilidad de 30 y 72 % en los ciclos primero y segundo; en el peso de mazorca obtuvieron una heredabilidad de 12 % en la población Manis Madu y una heredabilidad nula en la población Manis Madu x SSC 240, este resultado atribuye a que en esta última población el ambiente influyo considerablemente en la variación. Ngandu-Nyindu (1981), mencionado por Espinoza W. (2019, p. 14), seleccionó por peso de grano en cuatro poblaciones de maíz de libre polinización, encontró valores de heredabilidad entre 69 y 91 %, estos valores altos están de acuerdo con resultados del presente estudio. Los resultados de heredabilidad en la variedad “Compuesto A”, que es el mismo material genético usado en este estudio fue evaluado en cinco ciclos, obteniéndose valores de heredabilidad altos que variaron de 0.77 (ciclo 3) a 0.95 (ciclo 2) (Prado, 2019; Quispe S. , 2017; Quispe Y. , 2019; Valenzuela, 2014), de la misma manera otro material genético fue el “Compuesto B” que se evaluó en cuatro ciclos, obteniéndose valores de heredabilidad altos que variaron de 0.81 (ciclo 3) a 0.99 (ciclo 1) (Mamani, 2017; Espinoza J. , 2016; Gómez, 2017; Espinoza W. , 2019); las poblaciones “Compuesto A” y “Compuesto B” fueron evaluados localmente en un terreno con pendiente menor a 0.5 % y bastante homogéneo en caracteres de suelo, por lo que la variación ambiental no fue muy importante, estos resultados concuerdan con los obtenidos en el presente estudio.

La selección masal del maíz de libre polinización, variedad “Compuesto A”, se realizó en 6 ciclos, incluido el presente estudio, en la figura 9, se puede apreciar el progreso del peso de mazorca en los seis ciclos de selección, en el primer ciclo se tiene un peso promedio de 133.11 gramos, en el siguiente ciclo se tiene 126.58 gramos, la disminución del rendimiento entre el primer ciclo y el segundo ciclo, se atribuye a la selección de individuos genéticamente parecidos y consecuente efecto de endogamia, luego del segundo ciclo se inicia un incremento del rendimiento hasta lograr en el sexto ciclo un rendimiento de 142.6 gramos por mazorca, este resultado se atribuye a la recombinación, segregación y selección de genotipos superiores,

la respuesta a la selección promedio de los seis ciclos está representado por el coeficiente de regresión, en este caso es de 2.65 gramos por ciclo, este incremento fue significativo a una probabilidad poco usual ($p < 0.12$). El incremento del rendimiento fue de mayor significación si se considera entre los ciclos segundo al sexto ($p < 0.05$), en este caso el incremento por ciclo está representado por el coeficiente de regresión, que fue de 4.36 gramos / ciclo. El incremento total del primero al sexto ciclo fue de 9.44 gramos y si se considera del segundo al sexto ciclo, el incremento fue de 15.97 gramos. Ngandu-Nyindu (1981), mencionado por Espinoza W. (2019, p. 14), en maíces de libre polinización, hallaron que, para el rendimiento de grano, se obtuvieron respuestas lineales positivas significativas para las poblaciones per se y las poblaciones x CO, pero no para las poblaciones x B73. La falta de respuesta observada para las poblaciones x B73 se debió a los efectos amortiguadores de los alelos de la B73 por endogamia. Aunque se detectó un cambio significativo a lo largo de los ciclos para el rendimiento de grano, la respuesta fue considerablemente más baja (aproximadamente la mitad q/ha) en comparación con los informados por otros investigadores.

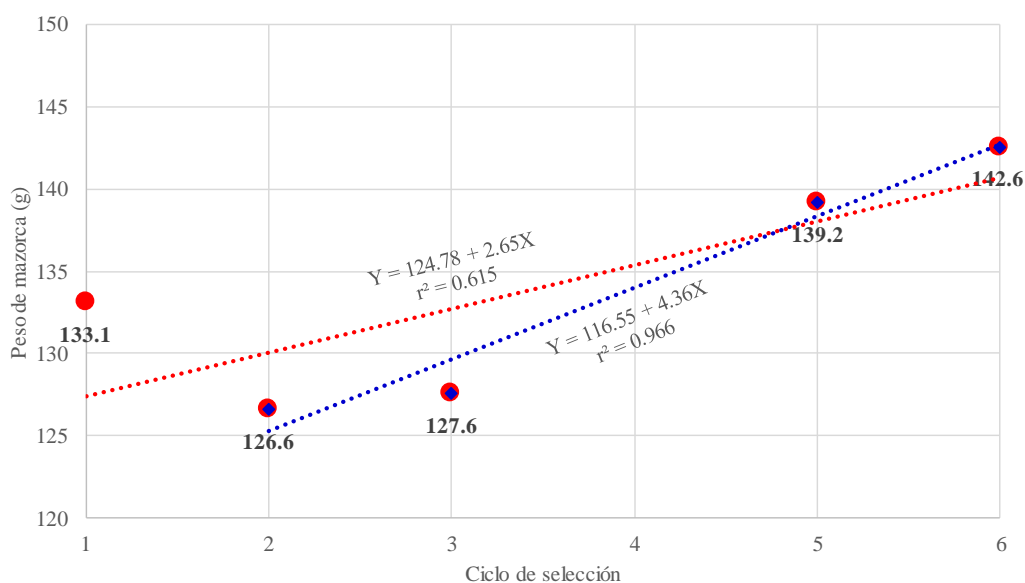


Figura 9. Progreso del peso de mazorca de maíz morado (*Zea mays* L.) por ciclo de selección. Canaán 2735 msnm, Ayacucho

La distribución de frecuencias del carácter peso de mazorca es aproximadamente normal (figura 4), por lo que los individuos superiores seleccionados conforman la cola de la distribución, y son más parecidos genéticamente que al resto de la población, esto produce un efecto endogámico inicial en la siguiente generación, que se traduce en disminución del rendimiento, en posteriores segregaciones se corrige restituyéndose el carácter heterocigota de la población, según el principio de equilibrio de Hardy-Weinberg (Poehlman & Allen, 2005).

- **Asociación y relación entre variables**

El criterio de selección practicado en el presente estudios fue por peso de mazorca en almacén, este carácter esta correlacionado positivamente con alta significación estadística los caracteres longitud de mazorca, diámetro de mazorca, diámetro de tusa, N° de hileras de granos, N° de granos por hilera, peso de 1000 granos, peso de grano y peso de tusa, sin embargo, en condiciones de campo no es posible determinar el valor de este importante carácter, por lo que se recurre al criterio visual fenotípico en la que los únicos caracteres visibles son la longitud y diámetro de mazorca, este hecho amerita que el peso de mazorca debe estar correlacionado con este par de caracteres, y es lo que sucede en este caso, siendo $r = 0.551$ (correlación peso de mazorca y longitud de mazorca) y $r = 0.590$ (correlación peso de mazorca y diámetro de mazorca) (tabla 11). Además, la longitud y peso de mazorcas tienen un valor predictivo del peso de mazorca, este hecho se verifica porque la regresión del peso de mazorca sobre estos caracteres fue seleccionada por su importancia mediante el método Stepwise (Armstrong, 2006), altamente significativa y un coeficiente de determinación de 0.700 (tabla 14). En otras investigaciones la selección se realizó por longitud de mazorca (Ali & Saleh, 2003, mencionados por Prado, 2019, p. 18)), prolificidad (Biasutti et al., 2004, mencionados por Prado, 2019, p. 19) y peso de grano por mazorca (Ngandu-Nyindu, 1981; Shrestha et al., 2018), para mejorar el rendimiento de grano, en el presente estudio se justifica que el peso de mazorca

se considere como criterio de selección para mejorar la productividad de mazorcas por planta, sin embargo no se descarta que en el futuro se pueda seleccionar por otro carácter, por ejemplo prolificidad. Biasutti et al. (2004), citados por Prado (2019, p. 19), en maíces de libre polinización, encontró que la selección masal por prolificidad fue efectiva para incrementar el rendimiento cuando se realizó en un ambiente favorable para la expresión del carácter.

El diámetro de mazorca fue la variable más importante y el segundo fue la longitud de mazorca, luego de incluida el diámetro de mazorca en el modelo de regresión del peso de mazorca sobre estas variables (tabla 14), en el campo la variable fácilmente apreciable es la longitud de mazorca y luego el diámetro de mazorca, por lo que el mejorador debe equilibrar su apreciación fenotípica para estas dos variables y seleccionar mazorcas “largas” y “anchas”, por lo que es importante la inspección visual y manual de los candidatos dentro de la parcela de selección, sobre esta apreciación, Poelhman & Allen (2003), considerando que estén presentes las variaciones genéticas, consideran, que el grado de progreso dependerá en mayor o menor grado de la habilidad del mejorador de plantas para escoger plantas diferentes, tanto genotípicamente como fenotípicamente. El modelo de regresión que se aprecia en las tablas 13 y 15 y figura 7, expresa que a mayor diámetro de mazorca y mayor longitud de mazorca el peso de grano se incrementa, y las distribuciones de frecuencias de las figuras 5 y 6, indican que la probabilidad de seleccionar individuos superiores (mazorcas “largas” y “anchas”) es reducida, es decir que existen pocos individuos con estos caracteres. El modelo de regresión múltiple encontrado, en el presente estudio sirvió como una alternativa para identificar al diámetro de mazorca y longitud de mazorca como los que mejor predicen el valor genético de los genotipos seleccionables para el rendimiento de mazorcas (Rattunde, 1988, mencionado por Espinoza W., 2019, p. 15). Ali & Saleh (2003), mencionados por Prado (2019, p. 18), en el genotipo Manus Madu, no encontraron correlación significativa entre el peso de mazorca y longitud de mazorca o diámetro de mazorca, pero si con el N° de granos por hilera; en el genotipo Manus

Madu x SSC 240, el peso de mazorca estuvo correlacionado significativamente con diámetro de mazorca y no con longitud de mazorca o N° de granos por hilera. Se puede inferir que las correlaciones entre caracteres de mazorca no son similares entre los genotipos.

VI. Conclusiones

1. La variancia ambiental fue significativa ($p < 0.05$) para los caracteres longitud de mazorca, diámetro de mazorca, N° de granos por hilera, peso de 1000 granos, peso de mazorca, peso de grano por mazorca y peso de tusa, y no significativa para los caracteres diámetro de tusa y N° de hileras de granos. La variancia genética fue significativa ($p < 0.05$) en los caracteres longitud de mazorca, diámetro de mazorca, diámetro de tusa, N° de hileras de granos, N° de granos por hilera, peso de 1000 granos, peso de mazorca, peso de grano y peso de tusa. La variancia genética significativa fue favorable para mejorar la base genética y la selección por peso de mazorca para el incremento de la productividad de mazorca.
2. La heredabilidad fue alta y significativa en los caracteres longitud de mazorca (0.936), diámetro de mazorca (0.958), diámetro de tusa (0.982), N° de hileras de granos (0.989), N° de granos por hilera (0.952), peso de 1000 granos (0.945), peso de mazorca (0.946), peso de grano (0.956) y peso de tusa (0.964), fue favorable para mejorar la base genética y la selección por peso de mazorca para el incremento de la productividad de mazorca.
3. El promedio observado del peso de mazorca se incrementó de 133.11 a 142.6 gramos / mazorca en seis ciclos de selección, atribuido a la recombinación, segregación y selección de genotipos superiores. La respuesta a la selección promedio esperado fue de 2.65 gramos / mazorca / ciclo, con un incremento esperado de 13.25 gramos / mazorca y un incremento observado de 9.44 gramos / mazorca en seis ciclos.
4. El peso de mazorca estuvo asociado positivamente con significación estadística ($p < 0.05$) con los caracteres longitud de mazorca, diámetro de mazorca, diámetro de tusa, N° de hileras de granos, N° de granos por hilera, peso de 1000 granos, peso de grano por mazorca y peso de tusa. El peso de mazorca estuvo relacionado significativamente

con el diámetro de mazorca y longitud de mazorca, para la selección de mazorcas de mayor peso en campo, el diámetro de mazorca fue el carácter más importante, con un coeficiente de determinación de 0.348, seguido del carácter longitud de mazorca con un coeficiente de determinación de 0.700 dado que se ha incorporado previamente el diámetro de mazorca.

VII. Recomendaciones

1. Para el incremento del peso de mazorca de maíz morado “Compuesto A” mediante “selección masal estratificada” se recomienda seleccionar en campo mazorcas de mayor diámetro y longitud de mazorca, la respuesta a la selección dependerá de la habilidad del mejorador de plantas para escoger plantas en campo.
2. Continuar con los ciclos de “selección masal estratificada” en maíz morado “Compuesto A” y otros materiales genéticos de maíz morado para mejorar la base genética y el incremento de la productividad de mazorca.
3. Efectuar pruebas de rendimiento intervarietales de maíz morado en localidades y años, con información de distinción, homogeneidad y estabilidad del maíz morado “Compuesto A”, para las condiciones agroecológicas de la Sierra: Ayacucho, Junín, Apurímac y Huancavelica.

VIII. Referencias

- Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en cuba. *Cultivos Tropicales*, 30(2), 113-120.
- Acquaah, G. (2012). *Principles of plant genetics and breeding* (Second ed.). Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Apaico, A. (2019). *Cuarto ciclo de selección masal estratificada en maíz morado (Zea mays L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho*. Ayacucho, Perú: Apaico, A. 2019. Cuarto ciclo de selección masal estratificada en maíz morado (Zea mays L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho. Proyecto de tesis para Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Armstrong, A. N. (2006). *Pharmaceutical experimental design and interpretation* (Second ed.). London: CRC Press Taylor & Francis group.
- Bos, I., & Caligari, P. (2008). *Selection methods in plant breeding* (2nd ed.). Dordrecht: Springer.
- Box, G., Hunter, J., & Hunter, W. (2008). *Estadística para investigadores: diseño, innovación y descubrimiento* (Segunda ed.). Madrid, España: Reverte.
- Camarena, F., Chura, J., & Blas, R. (2012). *Mejoramiento genético y biotecnológico de plantas*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. AGROBANCO.
- Cañon, J., & Fernández, J. (27 de Abril de 2019). *Universidad Complutense*. Obtenido de Universidad Complutense: https://www.ucm.es/data/cont/docs/345-2013-11-11-Capitulo_IV_GLOSARIO.pdf
- Espinoza, J. (2016). *Segundo ciclo de selección masal estratificada de un compuesto de maíz morado (Zea mays L.). Canaán a 2735 msnm, Ayacucho*. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

- Espinoza, W. (2019). *Cuarto ciclo de selección masal estratificada de un compuesto de maíz morado (Zea mays L.). Canaán a 2735 msnm, Ayacucho*. Ayacucho, Perú: Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Everitt, B., & Skrondal, A. (2010). *The Cambridge dictionary of statistics* (Fourth ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2016). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación: Cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Gobierno Regional de Ayacucho [GRA]. (2012). *Informe temático Climatología*. Ayacucho, Perú: Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente.
- Gómez, M. (2017). *Tercer ciclo de selección masal estratificada de un compuesto de maíz morado (Zea Mays L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho*. Ayacucho, Perú: Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Guillén, J., Mori, S., & Paucar, L. M. (2014). Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays L.*) var. subnigroviolaceo. *Scientia Agropecuaria*(5), 211-217.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: McGraw-Hill.
- International Board for Plant Genetic Resources. (1991). *Descriptor for Maize*. Rome: International Maize and Wheat Improvement Center.
- Johnson, R., Miller, I., & Freund, J. (2012). *Probabilidad y estadística para ingenieros* (Octava ed.). México: Pearson Educación.
- Kato, T. A., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A., & Bye, R. A. (2009). *Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

- Kuehl, R. (2001). *Diseño de experimentos: Principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones* (Segunda ed.). México, México: Thomson Learning.
- Mamani, D. (2017). *Segundo ciclo de mejoramiento poblacional de un compuesto de maíz morado (Zea Mays L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho*. Ayacucho, Perú: Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Martínez-Rodríguez, M. R., Viguera, B., Donatti, C., Harvey, C., & Alpizar, F. (2017). *Cómo enfrentar el cambio climático desde la agricultura: Prácticas de Adaptación basadas en Ecosistemas (AbE)*. 40 páginas. Turrialba, Costa Rica.: Materiales de fortalecimiento de capacidades técnicas del proyecto CASCADA (Conservación Internacional - CATIE).
- Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]. (7 de Marzo de 2019). *Ministerio de Agricultura y Riego - Minagri*. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Riego - Minagri:
[https://www.google.com/search?q=Ministerio+de+Agricultura+y+Riego+%E2%80%93+Per%C3%BA+\(MINAGRI\).+2019.+Series+Hist%C3%B3ricas+de+Producci%C3%B3n+Agr%C3%ADcola+%E2%80%93+Compendio+Estad%C3%ADstico.+www.minagri.gob.pe%2Fportal%2Fsistemas-de-informacion.&dq=](https://www.google.com/search?q=Ministerio+de+Agricultura+y+Riego+%E2%80%93+Per%C3%BA+(MINAGRI).+2019.+Series+Hist%C3%B3ricas+de+Producci%C3%B3n+Agr%C3%ADcola+%E2%80%93+Compendio+Estad%C3%ADstico.+www.minagri.gob.pe%2Fportal%2Fsistemas-de-informacion.&dq=)
- Ñaupas, H., Valdivia, M. R., Palacios, J. J., & Romero, H. E. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis* (Quinta ed.). Bogotá: Ediciones de la U.
- Oscanoa, C., & Sevilla, R. (2010). *Razas de maíz en la Sierra Central del Perú*. Huancayo, Perú: Instituto Nacional de Investigación Agraria - Estación Experimental Agraria Santa Ana.
- Pérez, W., & Forbes, G. (2008). *El tizon tardío de la papa*. (C. I. Papa, Ed.) Lima, Perú: Comercial Gráfica Sucre.

- Poelhman, J. M., & Allen, D. (2005). *Mejoramiento genético de las cosechas* (Segunda ed.). México: Limusa Wiley.
- Prado, J. (2019). *Selección masal estratificada en maíz morado (Zea mays L.), en Canaán a 2735 msnm, Ayacucho*. Ayacucho, Perú: Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Pulgar, J. (2014). *Geografía del Perú. Las ocho regiones naturales*. Lima, Perú: PUCP - Fondo Editorial.
- Quispe, S. (2017). *Quinto ciclo de selección masal estratificada en maíz morado (Zea mays L.). Canaán 2735 msnm, Ayacucho*. Ayacucho, Perú: Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Quispe, Y. (2019). *Selección masal estratificada en maíz morado (Zea mays L) fase III. Canaán 2735 msnm, Ayacucho*. Ayacucho, Perú: Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Rodrigues, J. A., Ferreira, F., Ferreira, R., Celis, A., Gomes, M., & Soares, B. (2011). Stratified mass selection of promising Spondias mombin clones in a commercial crop. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*(11), 141-148.
- Salhuana, W. (7 de Marzo de 2019). *Diversidad y razas de maíz en Perú*. Obtenido de https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/50301000/Races_of_Maize/Diversidad%20y%20razas%20de%20maiz%20en%20Peru.pdf: <https://www.ars.usda.gov>
- Salinas, R. (2015). *Mejoramiento poblacional de un compuesto de maíz morado (Zea mays L.). Canaan 2735 msnm, Ayacucho*. Ayacucho, Perú: Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Shrestha, J., Kunwar, C. B., & Bhandari, B. (2018). Response of mass selection in maize (Zea mays L.). *Our Nature*, 16(1), 35-42. doi:<http://dx.doi.org/10.3126/on.v16i1.22119>

Tapia, M. E., & Fries, A. M. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos*. Lima: FAO y ANPE.

Valenzuela, Y. (2014). *Selección masal estratificada en maíz morado (Zea mays L.) II etapa. Canaán 2735 msnm, Ayacucho*. Ayacucho, Perú: Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Wassom, J. (2013). Quantitative trait loci for leaf angle, leaf width, leaf length, and plant height in IBM-94. *Maize genetics cooperations newsletter vol 87*, 1-5.

IX. Anexos

9.1. Matriz de consistencia

PARÁMETROS GENÉTICOS Y RESPUESTA A LA SELECCIÓN EN UN COMPUESTO DE MAIZ MORADO (*Zea mays* L.) CANAÁN 2735 msnm, AYACUCHO

| Problema | Objetivos | Hipótesis | Variables | Método |
|--|---|---|--|--|
| PROBLEMA GENERAL | OBJETIVO GENERAL | HIPÓTESIS GENERAL | Independiente: | Tipo de investigación: |
| ¿Cómo los parámetros genéticos de componentes de variancia y heredabilidad de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos por selección masal, se traduce en el mejoramiento de la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado? | Evaluar parámetros genéticos de componentes de variancia y heredabilidad de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos por selección masal, para mejorar la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado. | Si se evalúan los parámetros genéticos de componentes de variancia y heredabilidad de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos mediante selección masal, se mejoraría la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado. | - Tratamiento Indicador: - 60 parcelas de maíz Dependiente: - Productividad de mazorca (g/mazorca) | Experimental Nivel de investigación: Aplicada Material genético: Maíz morado: Compuesto A |
| PROBLEMAS ESPECÍFICOS | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | HIPÓTESIS ESPECÍFICAS | Indicadores: | Unidad experimental: |
| Problema específico 1 ¿Cómo los parámetros genéticos de componentes de variancia de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos mediante selección masal, se traduce en el mejoramiento de la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado? | Objetivo específico 1 Evaluar parámetros genéticos de componentes de variancia de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos por selección masal, para mejorar la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado. | Hipótesis específica 1 Si se evalúan los parámetros genéticos de componentes de variancia de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos mediante selección masal, se mejoraría la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado. | - Longitud de mazorca (cm) - Diámetro de mazorca (cm) - Diámetro de tusa (cm) - Hileras de granos - Granos por hilera - Peso de 1000 granos (g) - Peso de mazorca (g) - Peso de grano por mazorca (g) - Peso de tusa por mazorca (g) | Una planta de maíz morado, sembradas en parcela de 3 surcos, 5 m de largo, 0.80 m de distancia entre surcos |
| Problema específico 2 ¿Cómo el parámetro genético de heredabilidad de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos mediante selección masal, se traduce en el mejoramiento de la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado? | Objetivo específico 2 Evaluar parámetros genéticos de heredabilidad de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos por selección masal, para mejorar la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado. | Hipótesis específica 2 Si se evalúan los parámetros genéticos de heredabilidad de caracteres cuantitativos de productividad de la mazorca de maíz morado, obtenidos mediante selección masal, se mejoraría la base genética y el rendimiento de mazorca en una población de maíz morado. | Parámetros a medir: Variancia ambiental, variancia genética, variancia fenotípica y heredabilidad Variable interviniente: Centro Experimental Canaán, 2735 msnm | Universo y muestra: Población de 3600 plantas y muestra de 600 plantas Técnica: Observación del método de selección masal estratificada. Análisis e interpretación de datos: Análisis de variancia y análisis genético |

9.2. Definición de términos

Diferencial de selección. Es el valor fenotípico medio de los individuos seleccionados como padres, expresado como una desviación de la media poblacional (es decir, del valor fenotípico medio de todos los individuos en la generación parental antes de la selección) (Acquaah, 2012)

Fenotipo. Constituye la expresión o manifestación del genotipo. El fenotipo puede referirse a una característica morfológica productiva, fisiológica, etc. y siempre será el resultado de la expresión de los genes de que es portador un individuo moldeada por multitud de factores ambientales (Cañon & Fernández, 2019)

Ganancia por selección. Es la diferencia entre el valor fenotípico medio de la descendencia de los padres seleccionados y la totalidad de la generación parental antes de la selección. La ganancia por selección es el cambio de la media de la población entre las generaciones posteriores a la selección. La ganancia por selección en el caso de la selección masal estratificada está relacionada con la heredabilidad mediante la siguiente ecuación:

$$GS = \frac{DS}{2} * h^2$$

Donde:

h^2 es la heredabilidad

DS es el diferencial de selección

GS es la ganancia por selección

El avance genético logrado mediante la selección depende de tres factores:

1. La variación total (fenotípica) en la población en la que se realizará la selección.
2. Heredabilidad del rasgo objetivo.

3. Presión de selección que debe imponer el fitomejorador (es decir, la proporción de la población que se selecciona para la próxima generación) (Acquaah, 2012)

Genotipo. Es la constitución genética de un individuo o el conjunto de los genes existentes en cada uno de los núcleos celulares (Cañon & Fernández, 2019).

Heredabilidad. La heredabilidad en el sentido amplio es la relación de la variancia genética total sobre la variancia fenotípica; y la heredabilidad en el sentido restringido es la relación de la variancia genética aditiva sobre la variancia fenotípica (Dudley & Moll, 1969, mencionado por Salinas, 2015, pp. 20-21).

Heterocigota. Se dice que una planta es heterocigota para un determinado gen cuando en los dos cromosomas de sus células diploides están presentes dos variantes diferentes de ese gen. Si un determinado gen presenta dos variantes A y a, una planta heterocigota sería el que muestra el genotipo Aa. En este caso la planta puede transmitir a su descendencia tanto la variante A como la a con igual probabilidad. Al porcentaje de genes que encontramos en una planta o en una población en estado heterocigota se denomina heterocigosis (Cañon & Fernández, 2019)

Homocigota. Una planta es homocigota para un determinado gen cuando en los dos cromosomas de sus células diploides está presente la misma variante de ese gen. Si un determinado gen presenta dos variantes A y a, una planta será homocigota para ese gen si su genotipo es AA ó si es aa. En el primer caso la planta solo puede transmitir a su descendencia la variante A del gen y en el segundo solo la variante a. El porcentaje de genes que encontramos en una planta o en una población en estado homocigota se denomina homocigosis (Cañon & Fernández, 2019)

Selección masal. “Es la selección de una población biológicamente variable en la que las diferencias son de origen genético.... Este método de selección es aplicable tanto a las especies autopolinizadas como a las de polinización cruzada, siempre que haya una variación genética”. (Acquaah, 2012, p. 307)

Selección recurrente. Es una técnica cíclica y sistemática en la que los individuos deseables se seleccionan de una población y se aparean para formar una nueva población, luego se repite el ciclo. El propósito es mejorar el rendimiento de una población con respecto a uno o más rasgos de interés, de modo que la nueva población sea superior a la población original en el rendimiento promedio y en el rendimiento de los mejores individuos dentro de ella (Acquaah, 2012).

Variación ambiental (σ_P^2). Es la parte de la variación fenotípica debido a las variaciones producidas por el ambiente, en tamaño, forma, color, composición o desarrollo entre las plantas que responden a diferentes intensidades de un factor ambiental (Poehlman & Allen, 2005)

Variación de la interacción genotipo medio ambiente (σ_{GP}^2). Es aquella parte de la variación fenotípica atribuible a la falta de diferencias entre genotipos similares en diferentes medioambientes (Dudley & Moll, 1969, mencionado por Salinas, 2015, p. 20-21)

Variación fenotípica (σ_F^2). Es la variación total de un carácter, medido como el valor medio de los cuadrados de las desviaciones respecto a la media considerando la población total, en su forma matemática: $\sigma^2 = E(Y - \mu)^2 = \sum(Y - \mu)^2 / N$, donde: $\sum(Y - \mu)^2$, es la sumatoria de desviaciones cuadradas y N , es el tamaño de la población (Dudley & Moll, 1969, mencionado por Salinas, 2015, p. 20-21) .

Variación genética (σ_G^2). Es la parte de la variación fenotípica que puede ser atribuida a las diferencias genotípicas entre los fenotipos. La variación genética puede ser subdividida en variación genética aditiva, variación genética de dominancia y variación genética epistática (Dudley & Moll, 1969, mencionado por Salinas, 2015, p. 20-21)

9.3. Ficha técnica de observación

Ficha técnica de observaciones (filas), con entradas de N° de mazorca, N° de parcela y caracteres de productividad de mazorca (columnas).

| Mazorca | Parcela | Longitud de la mazorca | Diámetro de mazorca | Diámetro de tusa | Número de hileras de granos | Número de granos por hilera | Peso de 1000 granos | Peso de mazorca | Peso de grano | Peso de tusa |
|---------|---------|------------------------|---------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------|---------------|--------------|
| U | P | mm Y1 | mm Y2 | mm Y3 | Y4 | Y5 | g Y6 | g Y7 | g Y8 | g Y9 |
| 1 | P01 | Y11 | | | | | | | | |
| 2 | P01 | Y12 | | | | | | | | |
| 3 | P01 | Y13 | | | | | | | | |
| 4 | P01 | . | | | | | | | | |
| 5 | P01 | . | | | | | | | | |
| 6 | P01 | . | | | | | | | | |
| 7 | P01 | | | | | | | | | |
| 8 | P01 | | | | | | | | | |
| 9 | P01 | | | | | | | | | |
| 10 | P01 | | | | | | | | | |
| <hr/> | | | | | | | | | | |
| 1 | P02 | Y21 | | | | | | | | |
| . | . | . | | | | | | | | |
| . | . | . | | | | | | | | |
| . | . | . | | | | | | | | |
| <hr/> | | | | | | | | | | |
| 1 | P60 | | | | | | | | | |
| 2 | P60 | | | | | | | | | |
| 3 | P60 | | | | | | | | | |
| 4 | P60 | | | | | | | | | |
| 5 | P60 | | | | | | | | | |
| 6 | P60 | | | | | | | | | |
| 7 | P60 | | | | | | | | | |
| 8 | P60 | | | | | | | | | |
| 9 | P60 | | | | | | | | | |
| 10 | P60 | Y6010 | | | | | | | | |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Y_{ij} es una observación de la i-ésima parcela y j-ésima mazorca (i = 1, 2, 3, ..., 60 y j = 1, 2, 3, ..., 10), para cada carácter.

9.4. Descripción de observaciones

1. **Nº de mazorca.** Es el número de 1 a 10 asignado a cada una de las mazorcas seleccionadas en cada parcela, las que también se constituyen en unidades de análisis.
2. **Nº de parcela.** Es el número de 1 a 60 asignado a cada una de las parcelas en el campo de cultivo, las que también se constituyen en tratamientos.
3. **Longitud de mazorca (mm).** Es la distancia entre el extremo basal y el extremo distal de la mazorca de maíz, expresada en milímetros.
4. **Diámetro de mazorca (mm).** Es la distancia perpendicular a la longitud de mazorca, tomada en la parte central de la mazorca, expresada en milímetros.
5. **Diámetro de tusa (mm).** Es la distancia perpendicular a la longitud de mazorca, tomada en la parte central de la tusa luego de desgranada, expresada en milímetros.
6. **Nº de hileras de granos.** Es el número de hileras bien conformadas que se distinguen en la parte central de la mazorca, el mismo que es un número par.
7. **Nº de granos por hilera.** Es el número de granos en una hilera completa y representativa que se distingue en una mazorca.
8. **Peso de 1000 granos.** Se tomó el peso de 100 granos del tercio central de la mazorca, sanos y bien conformadas, en gramos, luego se expresaron como peso de 1000 granos.
9. **Peso de mazorca.** Se registró el peso de mazorca a humedad constante (14 % de humedad), en una balanza de precisión con 1 dígito decimal, expresado en gramos.
10. **Peso de grano.** Se registró el peso de grano a humedad constante, en una balanza de precisión con 1 dígito decimal, expresado en gramos.
11. **Peso de tusa.** Se registró el peso de tusa a humedad constante, este registro es igual a la diferencia del peso de mazorca menos el peso de grano, despreciando el peso de capotillo, expresado en gramos.